

Aznalcóllar, hoy.

La contaminación de los suelos a los doce años del vertido

Carlos Dorronsoro. Departamento de Edafología y Q. A. Universidad de Granada

con la colaboración de: J. Aguilar, M. Díez, E. Fernández, J. Fernández, I. García,
A. Iriarte, F. Martín, F. J. Martínez, I. Ortiz, A. Roca, M. Simón



Bien el vertido pirítico de Aznalcóllar constituye un caso insólito en España; un caso insólito por varios motivos:

- 1º por la extensión de la contaminación (fueron varios miles las ha afectadas directamente, más de 4000)
- 2º por su localización (cercanías a Doñana; se afectó el Parque Natural y quedó a las puertas del Parque Nacional), y
- 3º por la sensibilidad que tuvo la sociedad que arrastró a los políticos y hubo una reacción inmediata de la comunidad científica para analizar la gravedad del problema.

En este contexto, no es de extrañar la gran cantidad de equipos que han trabajado en las consecuencias de este vertido bajo muy diversos aspectos, como la hidrología, la botánica, la zoología, toxicología, ecología, etc. En el capítulo de suelos, han trabajado varios grupos, por ejemplo a destacar la labor realizada por un equipo gallego dirigido por los Drs Macías y Calvo, también han contribuido de una manera importante diversos investigadores del CSIC y también ha contribuido de manera importante el profesorado de varias universidades andaluzas. Exponer todos estos resultados se sale de los límites de esta charla, por lo que yo hoy les voy a presentar sólo algunos de los resultados obtenidos por el Dpto Edafología de la Universidad de Granada, en el seguimiento que hemos realizado sobre los suelos desde los primeros días del vertido hasta la actualidad, y comprobaremos con nuestros resultados la eficacia de las distintas medidas remediadoras que adoptó la Junta de A en base a los resultados que iban obteniendo de todos estos equipos. Intentaré mostrarles finalmente como está la situación al día de hoy, ya que dispone de muestras tomadas hace apenas 2 meses.

Aznalcóllar, hoy.

La contaminación de los suelos a los doce años del vertido

Carlos Dorronsoro. Departamento de Edafología y Q. A. Universidad de Granada

**con la colaboración de: J. Aguilar, M. Díez, E. Fernández, J. Fernández, I. García,
A. Iriarte, F. Martín, F. J. Martínez, I. Ortiz, A. Roca, M. Simón**

Aznalcóllar, hoy.

La contaminación de los suelos a los doce años del vertido

Carlos Dorronsoro. Departamento de Edafología y Q. A. Universidad de Granada

con la colaboración de: J. Aguilar, M. Díez, E. Fernández, J. Fernández, I. García,
A. Iriarte, F. Martín, F. J. Martínez, I. Ortiz, A. Roca, M. Simón

1. El accidente

Aznalcóllar, hoy.

La contaminación de los suelos a los doce años del vertido

Carlos Dorronsoro. Departamento de Edafología y Q. A. Universidad de Granada

con la colaboración de: J. Aguilar, M. Díez, E. Fernández, J. Fernández, I. García,
A. Iriarte, F. Martín, F. J. Martínez, I. Ortiz, A. Roca, M. Simón

2. La contaminación de los suelos

Aznalcóllar, hoy.

La contaminación de los suelos a los doce años del vertido

Carlos Dorronsoro. Departamento de Edafología y Q. A. Universidad de Granada

con la colaboración de: J. Aguilar, M. Díez, E. Fernández, J. Fernández, I. García,
A. Iriarte, F. Martín, F. J. Martínez, I. Ortiz, A. Roca, M. Simón

3. Las medidas de rehabilitación

Aznalcóllar, hoy.

La contaminación de los suelos a los doce años del vertido

Carlos Dorronsoro. Departamento de Edafología y Q. A. Universidad de Granada

con la colaboración de: J. Aguilar, M. Díez, E. Fernández, J. Fernández, I. García,
A. Iriarte, F. Martín, F. J. Martínez, I. Ortiz, A. Roca, M. Simón

4. La evolución sin intervención

Aznalcóllar, hoy.

La contaminación de los suelos a los doce años del vertido

Carlos Dorronsoro. Departamento de Edafología y Q. A. Universidad de Granada

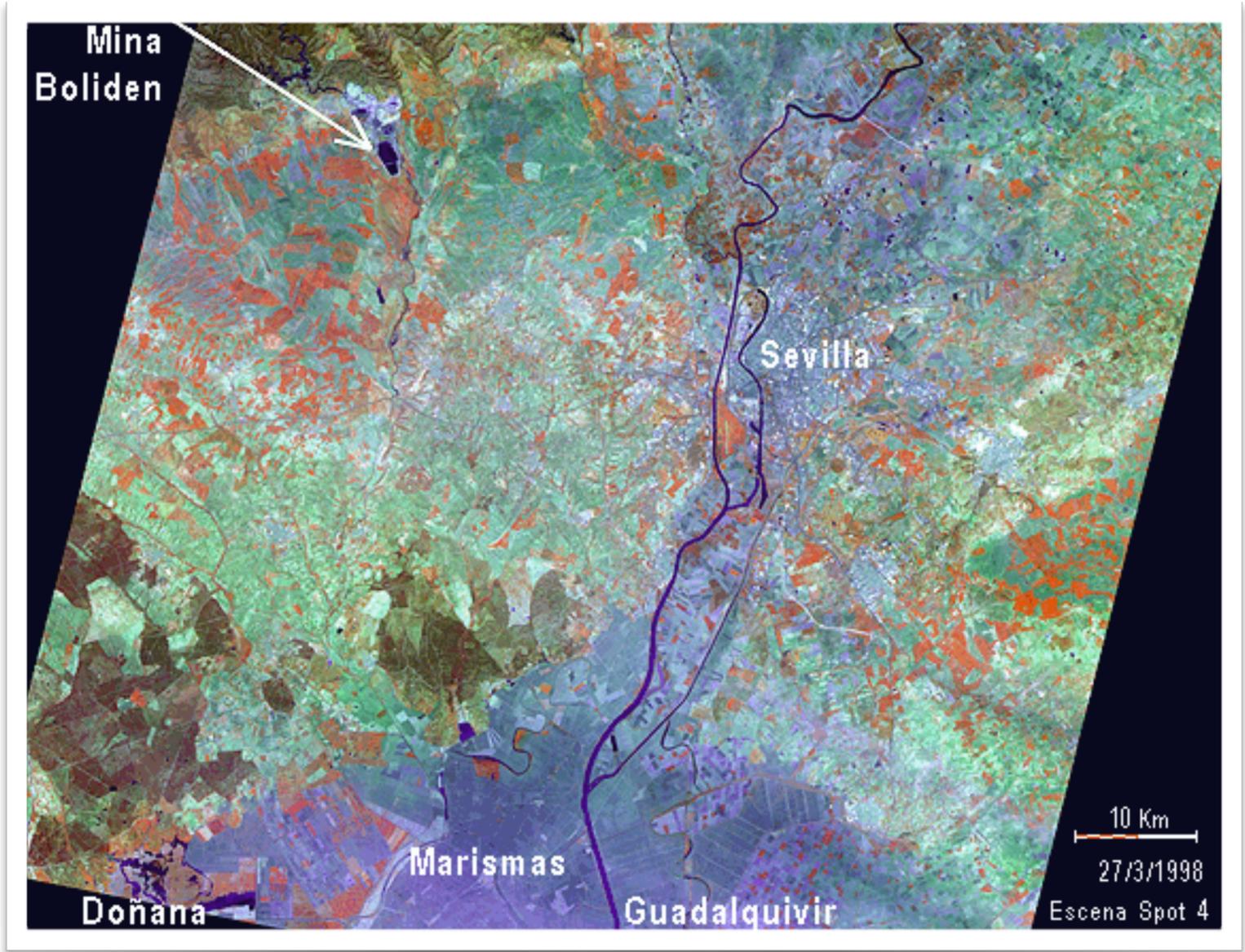
con la colaboración de: J. Aguilar, M. Díez, E. Fernández, J. Fernández, I. García,
A. Iriarte, F. Martín, F. J. Martínez, I. Ortiz, A. Roca, M. Simón

5. Una mirada al futuro

•1 El accidente

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

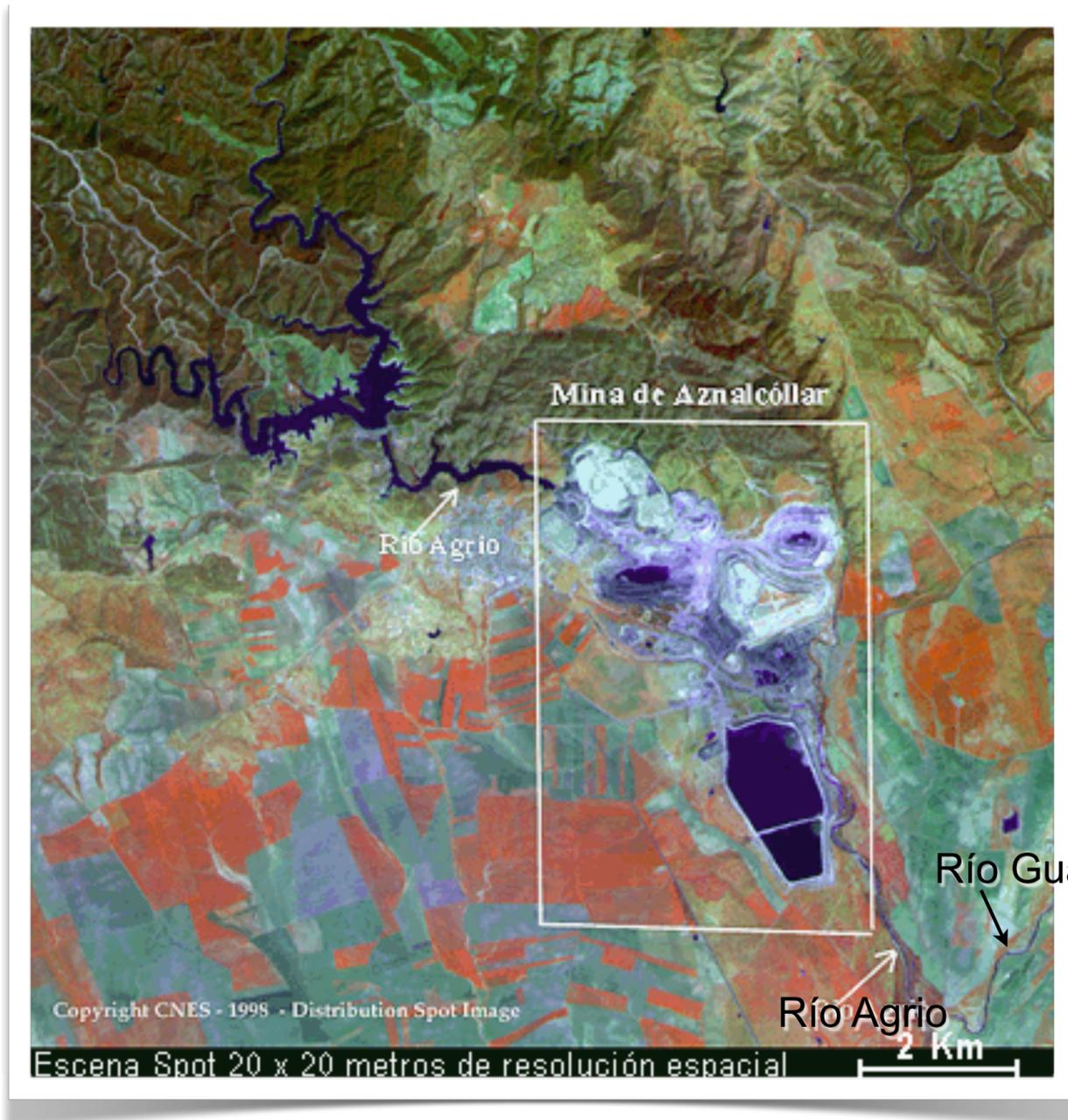


Con respecto al primer punto. El accidente.

Como es conocido, la causa del vertido es la mina de pirita que Boliden que venía explotando en Aznalcóllar, se encuentra situada a unos 30 km al oeste de Sevilla, a unos 40 al norte de las Marismas del Guadalquivir y a unos 50 km del Parque Nacional de Doñana.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Pertenece a la Faja Pirítica Ibérica que recorre en dirección este-oeste el sur de la Península Ibérica y se encuentra situada justo en el contacto entre el macizo de Sierra Morena y la Depresión del Guadalquivir.

En la imagen se observa, en azul intenso, las balsas de almacenamiento de estériles. Junto a la balsa principal, que fue la causante del vertido, el río Agrío, que es afluente del río Guadiamar.

Aznalcóllar, hoy.

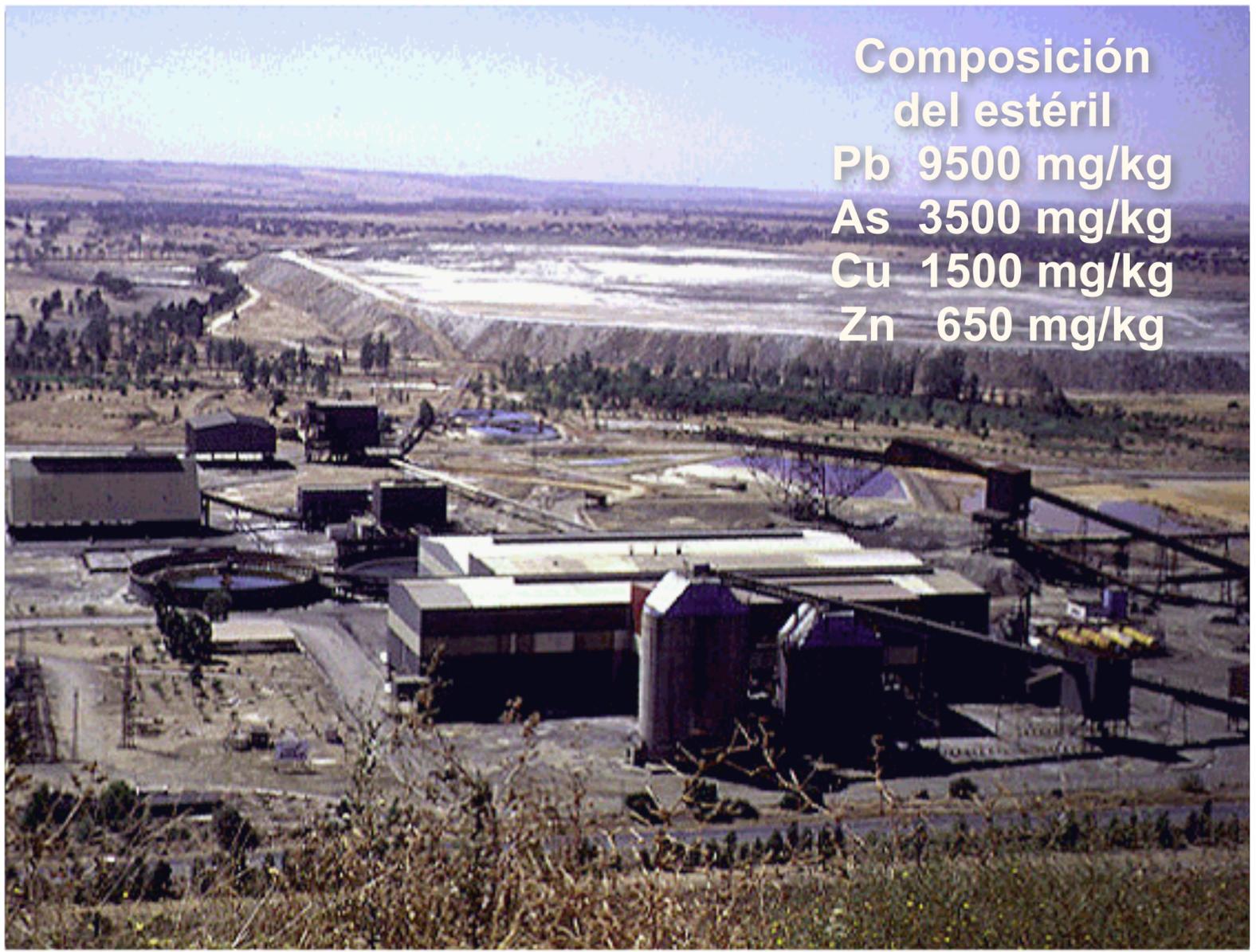
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



En primer término, tenemos una vista de una parte de las instalaciones mineras, al fondo la balsa de estériles; estos presentaban unas altas concentraciones de As y de metales pesados (del orden de hasta algunos gramos por kg). Como es sabido, en la noche del 25/abril/1998, en esta zona se produce la rotura de una de las paredes de la balsa.

Aznalcóllar, hoy.

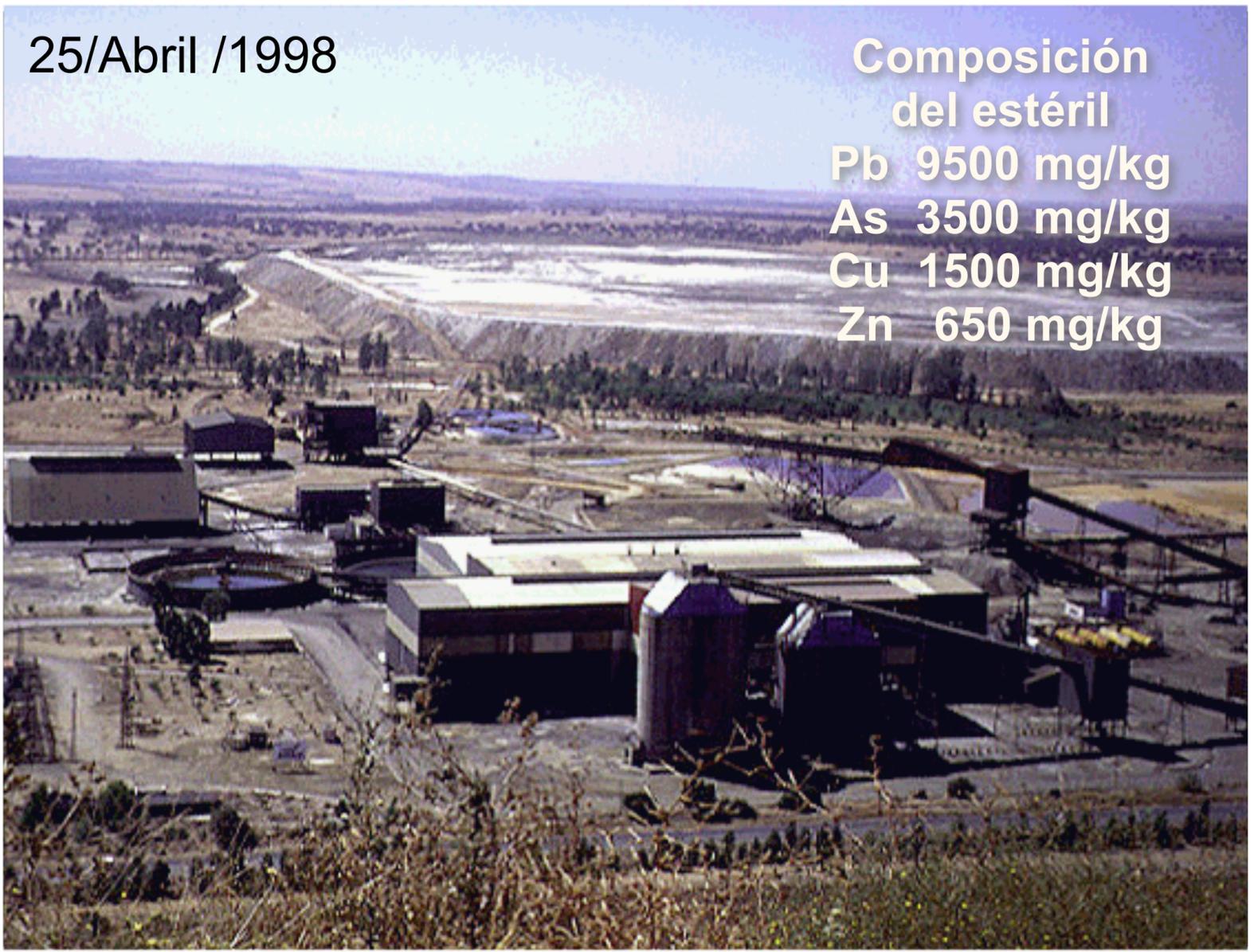
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



En primer término, tenemos una vista de una parte de las instalaciones mineras, al fondo la balsa de estériles; estos presentaban unas altas concentraciones de As y de metales pesados (del orden de hasta algunos gramos por kg).

Como es sabido, en la noche del 25/abril/1998, en esta zona se produce la rotura de una de las paredes de la balsa.

25/Abril /1998



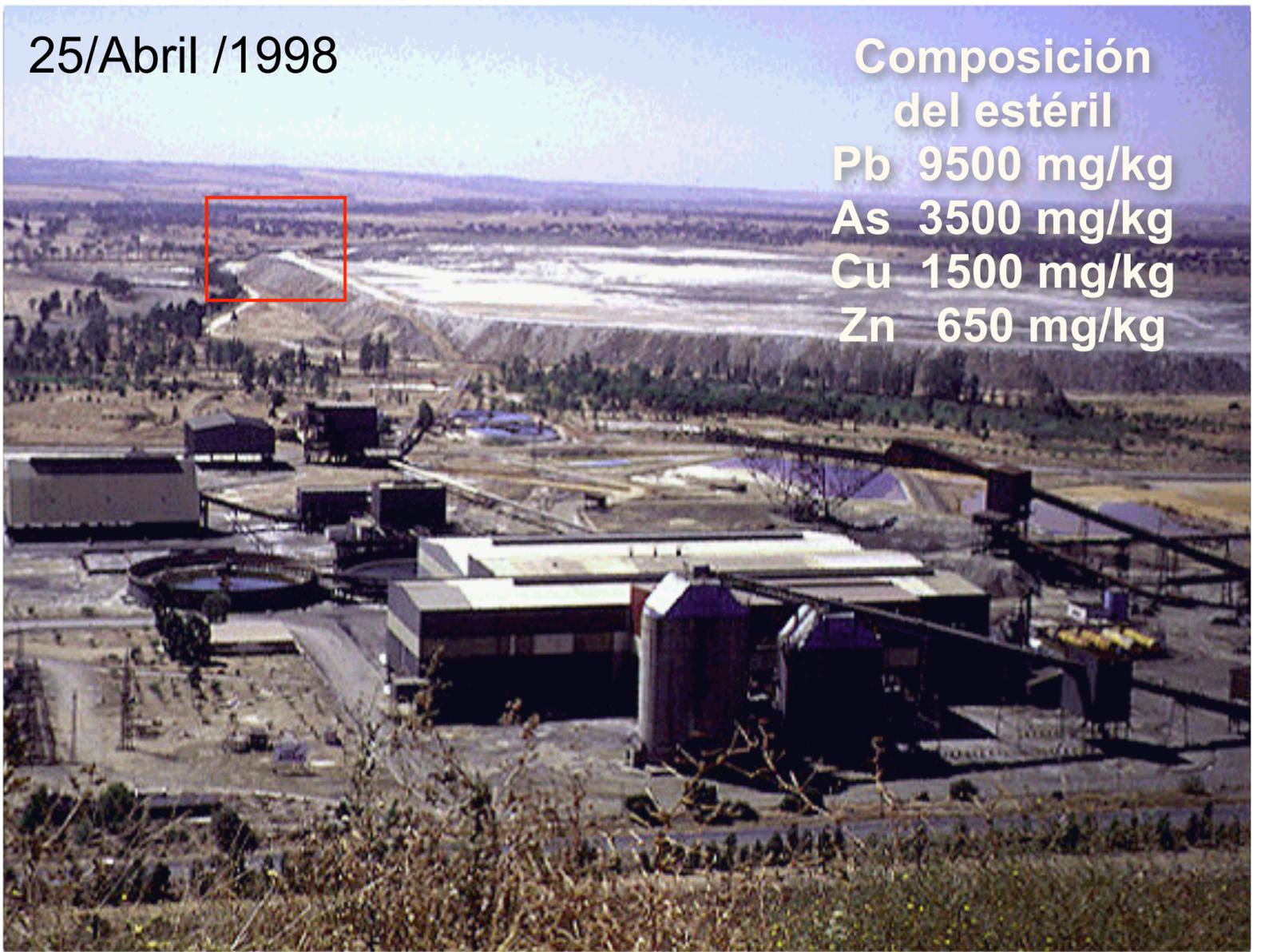
Composición
del estéril

Pb 9500 mg/kg
As 3500 mg/kg
Cu 1500 mg/kg
Zn 650 mg/kg

En primer término, tenemos una vista de una parte de las instalaciones mineras, al fondo la balsa de estériles; estos presentaban unas altas concentraciones de As y de metales pesados (del orden de hasta algunos gramos por kg).

Como es sabido, en la noche del 25/abril/1998, en esta zona se produce la rotura de una de las paredes de la balsa.

25/Abril /1998



Composición
del estéril

Pb 9500 mg/kg
As 3500 mg/kg
Cu 1500 mg/kg
Zn 650 mg/kg

En primer término, tenemos una vista de una parte de las instalaciones mineras, al fondo la balsa de estériles; estos presentaban unas altas concentraciones de As y de metales pesados (del orden de hasta algunos gramos por kg).

Como es sabido, en la noche del 25/abril/1998, en esta zona se produce la rotura de una de las paredes de la balsa.



Aznalcóllar, hoy.

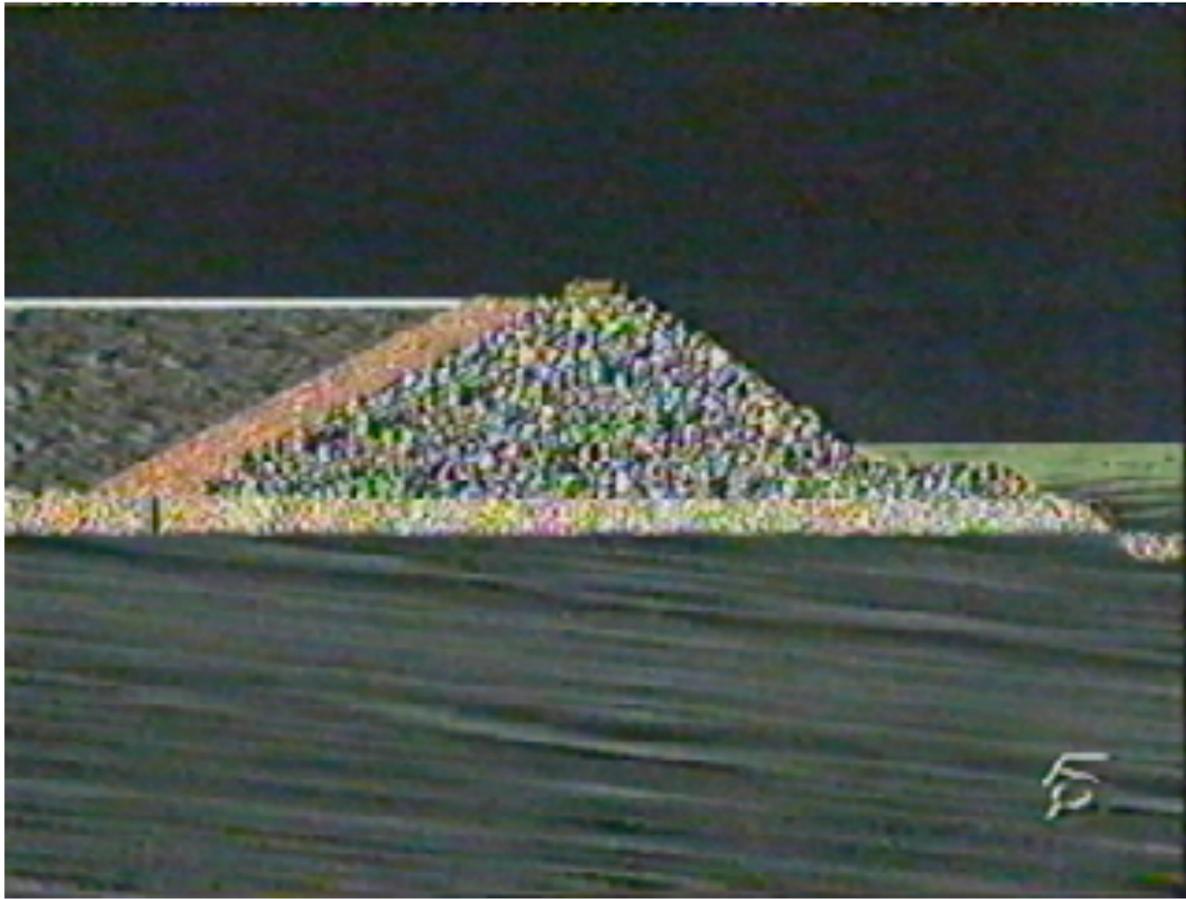
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



En esta reconstrucción se nos muestra como se produce la rotura de la balsa, se rompe justo junto al muro que separa los dos vasos, primero lo hace el de menor capacidad y luego el mayor.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



En esta reconstrucción se nos muestra como se produce la rotura de la balsa, se rompe justo junto al muro que separa los dos vasos, primero lo hace el de menor capacidad y luego el mayor.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Aznalcóllar, hoy.

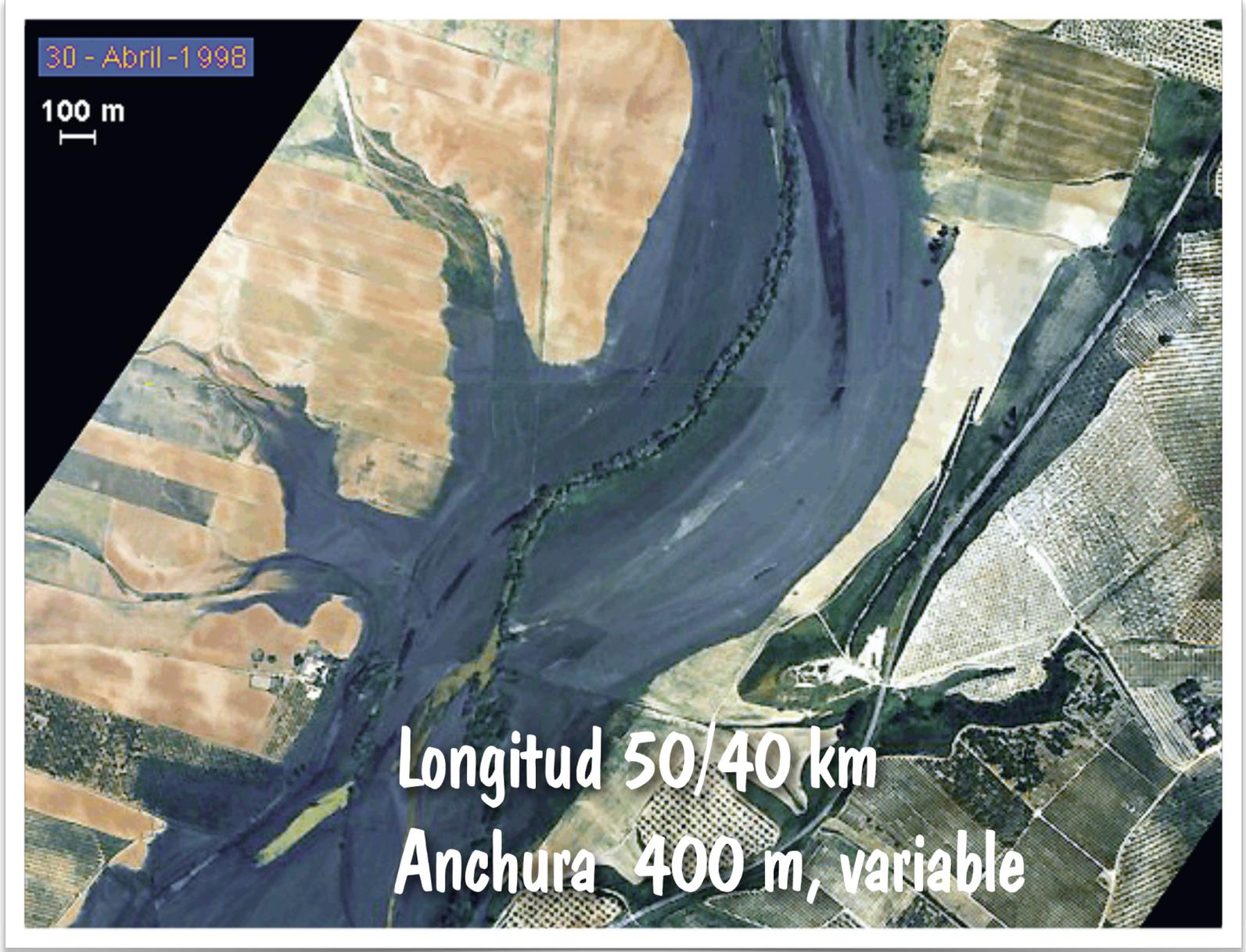
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



La superficie afectada se cifra en unas 4.400 ha, principalmente de terrenos agrícolas.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



El vertido se distribuye por el cauce y la ribera del río Agrio primero, y luego del Guadiamar, alcanzando las aguas una longitud de unos 50 km y los lodos 40. Con una anchura media de unos 400 metros, pero muy variable, dependiendo de la microtopografía.

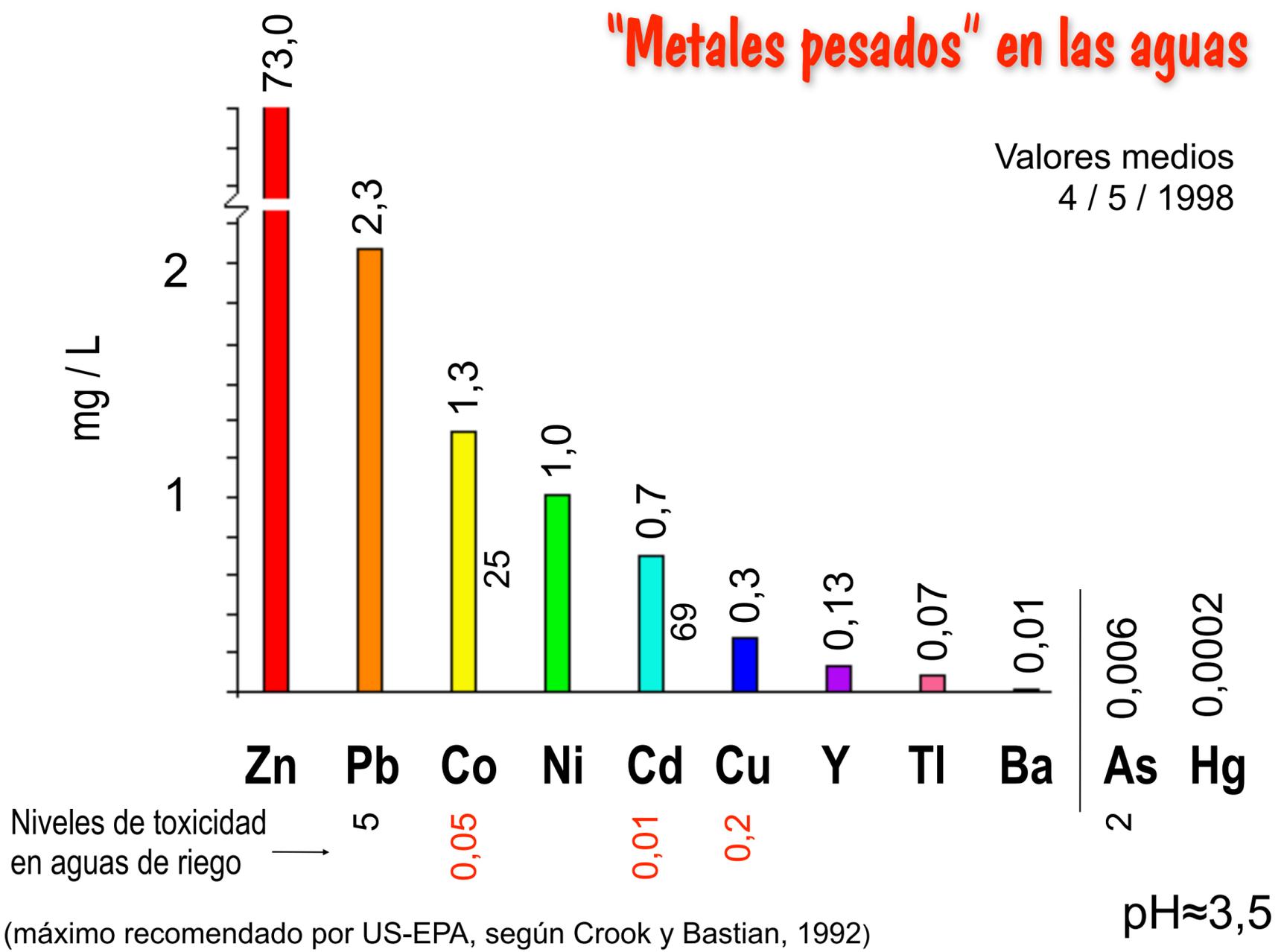


Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

"Metales pesados" en las aguas

Valores medios
4 / 5 / 1998



En cuanto a la composición del vertido, las aguas llevaban importantes cantidades de metales disueltos, fundamentalmente Zn, con 73 mg/L.

A destacar la concentración de un metal tan tóxico como es el Cd que se encontraba en una concentración que rebasaba en casi 70 veces los límites permitidos para el agua de riego.

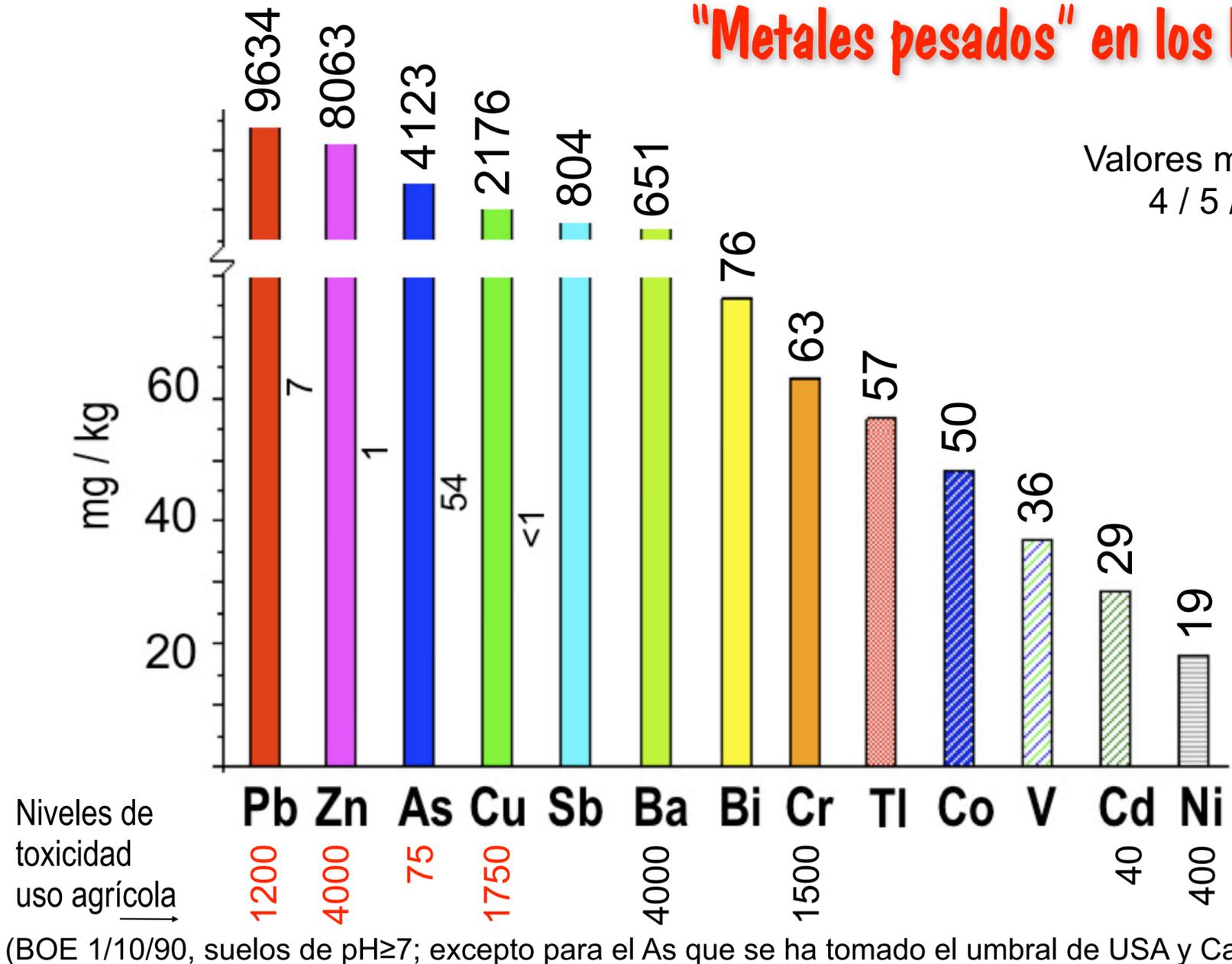
Importante también señalar el pH, fuertemente ácido, alrededor de 3,5.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

"Metales pesados" en los lodos

Valores medios
4 / 5 / 1998



Niveles de toxicidad uso agrícola
(BOE 1/10/90, suelos de pH≥7; excepto para el As que se ha tomado el umbral de USA y Canadá)

Las concentraciones de los lodos, como es lógico, eran mucho más altas. Especialmente para el Pb, Zn (con más de 9 mil y 8 mil mg/kg), concentraciones también muy importantes para As y Cu (4 mil y 2 mil) y menores concentraciones para Sb, Ba, y menores aún para otros metales como Bi, Cr, Tl, Co, V, Cd y Ni.

Algunos de estos metales superaban el nivel máximo permitido para la utilización de un lodo para fines agrícolas, concretamente el As lo superaba en 54 veces.

• 2 Contaminación del suelo



Bien, esas aguas y esos lodos cayeron sobre los suelos y los contaminaron. Este es el aspecto que presentaba la zona a los 10 días del vertido, los suelos se encontraban recubiertos de una capa de lodos como si tuviesen una coraza metálica con un espesor muy variable, con un valor medio de unos 8 cm.

Para evaluar el impacto se muestrearon los suelos en distintas fechas.

En un principio se seleccionaron 7 puntos representativos, a los 10, 25 y 40 días del vertido, que después se amplió a una red de muestreo con 100 puntos repartidos aleatoriamente por la toda la zona contaminada, al final del año 1998, en 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010. A tres profundidades. Como era de esperar el hor superficial, de 0-10 cm, fue donde se presentaron las mayores concentraciones y es por ello por lo que nos vamos a referir exclusivamente a estas muestras de 0-10 cm en esta charla.

En la contaminación de los suelos diferenciamos dos fases: la contaminación inicial y la contaminación secundaria.

La contaminación inicial se produce en el preciso momento de la llegada del vertido.

• 2 Contaminación del suelo

fechas de muestreo:
7 perfiles: a los 10, 25 y 40 días



Bien, esas aguas y esos lodos cayeron sobre los suelos y los contaminaron. Este es el aspecto que presentaba la zona a los 10 días del vertido, los suelos se encontraban recubiertos de una capa de lodos como si tuviesen una coraza metálica con un espesor muy variable, con un valor medio de unos 8 cm.

Para evaluar el impacto se muestrearon los suelos en distintas fechas.

En un principio se seleccionaron 7 puntos representativos, a los 10, 25 y 40 días del vertido, que después se amplió a una red de muestreo con 100 puntos repartidos aleatoriamente por la toda la zona contaminada, al final del año 1998, en 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010. A tres profundidades. Como era de esperar el hor superficial, de 0-10 cm, fue donde se presentaron las mayores concentraciones y es por ello por lo que nos vamos a referir exclusivamente a estas muestras de 0-10 cm en esta charla.

En la contaminación de los suelos diferenciamos dos fases: la contaminación inicial y la contaminación secundaria.

La contaminación inicial se produce en el preciso momento de la llegada del vertido.

• 2 Contaminación del suelo

fechas de muestreo:

7 perfiles: a los 10, 25 y 40 días

100 puntos: 1998, 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010

a tres prof.: 0-10, 10-30, 30-50 cm



Bien, esas aguas y esos lodos cayeron sobre los suelos y los contaminaron. Este es el aspecto que presentaba la zona a los 10 días del vertido, los suelos se encontraban recubiertos de una capa de lodos como si tuviesen una coraza metálica con un espesor muy variable, con un valor medio de unos 8 cm.

Para evaluar el impacto se muestrearon los suelos en distintas fechas.

En un principio se seleccionaron 7 puntos representativos, a los 10, 25 y 40 días del vertido, que después se amplió a una red de muestreo con 100 puntos repartidos aleatoriamente por la toda la zona contaminada, al final del año 1998, en 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010. A tres profundidades. Como era de esperar el hor superficial, de 0-10 cm, fue donde se presentaron las mayores concentraciones y es por ello por lo que nos vamos a referir exclusivamente a estas muestras de 0-10 cm en esta charla.

En la contaminación de los suelos diferenciamos dos fases: la contaminación inicial y la contaminación secundaria.

La contaminación inicial se produce en el preciso momento de la llegada del vertido.

• 2 Contaminación del suelo

fechas de muestreo:

7 perfiles: a los 10, 25 y 40 días

100 puntos: 1998, 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010

a tres prof.: 0-10, 10-30, 30-50 cm

Contaminación inicial



Bien, esas aguas y esos lodos cayeron sobre los suelos y los contaminaron. Este es el aspecto que presentaba la zona a los 10 días del vertido, los suelos se encontraban recubiertos de una capa de lodos como si tuviesen una coraza metálica con un espesor muy variable, con un valor medio de unos 8 cm.

Para evaluar el impacto se muestrearon los suelos en distintas fechas.

En un principio se seleccionaron 7 puntos representativos, a los 10, 25 y 40 días del vertido, que después se amplió a una red de muestreo con 100 puntos repartidos aleatoriamente por la toda la zona contaminada, al final del año 1998, en 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010. A tres profundidades. Como era de esperar el hor superficial, de 0-10 cm, fue donde se presentaron las mayores concentraciones y es por ello por lo que nos vamos a referir exclusivamente a estas muestras de 0-10 cm en esta charla.

En la contaminación de los suelos diferenciamos dos fases: la contaminación inicial y la contaminación secundaria.

La contaminación inicial se produce en el preciso momento de la llegada del vertido.

• 2 Contaminación del suelo

fechas de muestreo:

7 perfiles: a los 10, 25 y 40 días

100 puntos: 1998, 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010

a tres prof.: 0-10, 10-30, 30-50 cm

Contaminación inicial

Llegada de las aguas y de los lodos



Bien, esas aguas y esos lodos cayeron sobre los suelos y los contaminaron. Este es el aspecto que presentaba la zona a los 10 días del vertido, los suelos se encontraban recubiertos de una capa de lodos como si tuviesen una coraza metálica con un espesor muy variable, con un valor medio de unos 8 cm.

Para evaluar el impacto se muestrearon los suelos en distintas fechas.

En un principio se seleccionaron 7 puntos representativos, a los 10, 25 y 40 días del vertido, que después se amplió a una red de muestreo con 100 puntos repartidos aleatoriamente por la toda la zona contaminada, al final del año 1998, en 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010. A tres profundidades. Como era de esperar el hor superficial, de 0-10 cm, fue donde se presentaron las mayores concentraciones y es por ello por lo que nos vamos a referir exclusivamente a estas muestras de 0-10 cm en esta charla.

En la contaminación de los suelos diferenciamos dos fases: la contaminación inicial y la contaminación secundaria.

La contaminación inicial se produce en el preciso momento de la llegada del vertido.

Contaminación inicial

Vías de contaminación

aguas y lodos

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



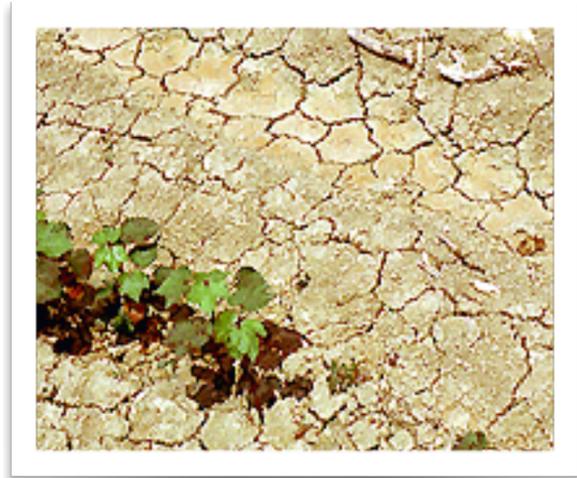
En el momento del vertido, los suelos se encontraban secos y por tanto agrietados. Al llegar la riada los elementos contaminantes se van a comportar de distinta manera según lleguen solubles en el agua o insolubles en los lodos.

Para los metales solubles en las aguas, la contaminación del suelo se realizará a través de los microporos, por tanto será masiva y homogénea; estos metales serán muy móviles y presentarán comportamiento tóxico, se encuentran en situación bioasimilable. Por el contrario los metales de los lodos sólo penetrarán en el suelo a través de las grietas, la mayor parte quedarán depositados sobre la superficie, la contaminación de los suelos será de manera muy local y por tanto su contaminación muy desigual, por otra parte, los elementos contaminantes se encontrarán inmóviles, por el momento no serán tóxicos pero si potencialmente tóxicos en el futuro.

Contaminación inicial

Vías de contaminación

aguas y lodos



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

En el momento del vertido, los suelos se encontraban secos y por tanto agrietados. Al llegar la riada los elementos contaminantes se van a comportar de distinta manera según lleguen solubles en el agua o insolubles en los lodos.

Para los metales solubles en las aguas, la contaminación del suelo se realizará a través de los microporos, por tanto será masiva y homogénea; estos metales serán muy móviles y presentarán comportamiento tóxico, se encuentran en situación bioasimilable. Por el contrario los metales de los lodos sólo penetrarán en el suelo a través de las grietas, la mayor parte quedarán depositados sobre la superficie, la contaminación de los suelos será de manera muy local y por tanto su contaminación muy desigual, por otra parte, los elementos contaminantes se encontrarán inmóviles, por el momento no serán tóxicos pero si potencialmente tóxicos en el futuro.

Contaminación inicial

Vías de contaminación

aguas y lodos



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

En el momento del vertido, los suelos se encontraban secos y por tanto agrietados. Al llegar la riada los elementos contaminantes se van a comportar de distinta manera según lleguen solubles en el agua o insolubles en los lodos.

Para los metales solubles en las aguas, la contaminación del suelo se realizará a través de los microporos, por tanto será masiva y homogénea; estos metales serán muy móviles y presentarán comportamiento tóxico, se encuentran en situación bioasimilable. Por el contrario los metales de los lodos sólo penetrarán en el suelo a través de las grietas, la mayor parte quedarán depositados sobre la superficie, la contaminación de los suelos será de manera muy local y por tanto su contaminación muy desigual, por otra parte, los elementos contaminantes se encontrarán inmóviles, por el momento no serán tóxicos pero si potencialmente tóxicos en el futuro.

Características de los suelos

Textura, variable: de francoarenosa a arcillolimososa

Estructura, muy variable: de fuerte (bloques) a masiva

Materia orgánica: 0,9 - 2,9%

Gravas, muy variable: 0 - 43%

pH: 7,2 - 8,1

CaCO₃: 0 - 20 %

Capacidad cambio cationes: 8-31 cmol_c kg⁻¹

Fe: 3-6%

Fluvisoles y Regosoles, calcáricos y eútricos (FAO,2006)

Xerofluvents y Xerorthents, típicos (Soil Taxonomy, 2007)

El impacto sobre los suelos va a depender en gran medida de las características de estos, ya que según sean estas los suelos van a poseer un poder de autodepuración muy variable.

Frente a este vertido, los suelos de la cuenca presentaban muy buenas características en lo referente al pH (siempre neutro o básico, nunca ácido) y al contenido en CO₃ para gran número de ellos; y moderadas a bajas prestaciones para los contenidos en materia orgánica, CCC y para el Fe. En cuanto a la textura y estructura eran muy variables.

Se trataba de suelos muy poco evolucionados en todos los casos: Fluvisoles y Regosoles.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Suelos sin carbonatos, arenosos

Suelos con carbonatos, arenosos

Suelos con carbonatos, acillosos-limosos

En líneas generales, en la distribución de estos suelos se pueden diferenciar en tres zonas:

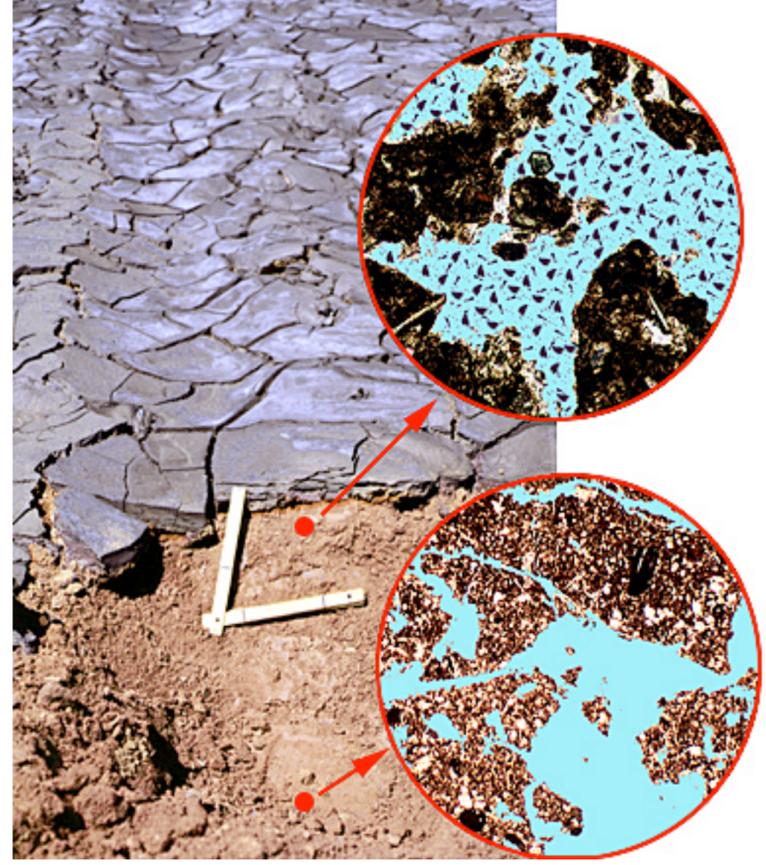
- en la parte alta de la cuenca, junto a la mina, predominan los suelos sin CO_3 y de textura arenosa, por tanto son los suelos más sensibles a la contaminación, es pues la zona más frágil,
- en la zona media, están ya presentes los CO_3 , pero siguen presentando una textura desfavorable,
- finalmente, en la parte baja de la cuenca, se encuentran los suelos con mayor poder de autodepuración: con CO_3 y con arcillas y limos.

Frente a la contaminación, los suelos actuaron protegiendo al medio ambiente bajo dos procesos distintos.

Efecto filtrante de los suelos

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

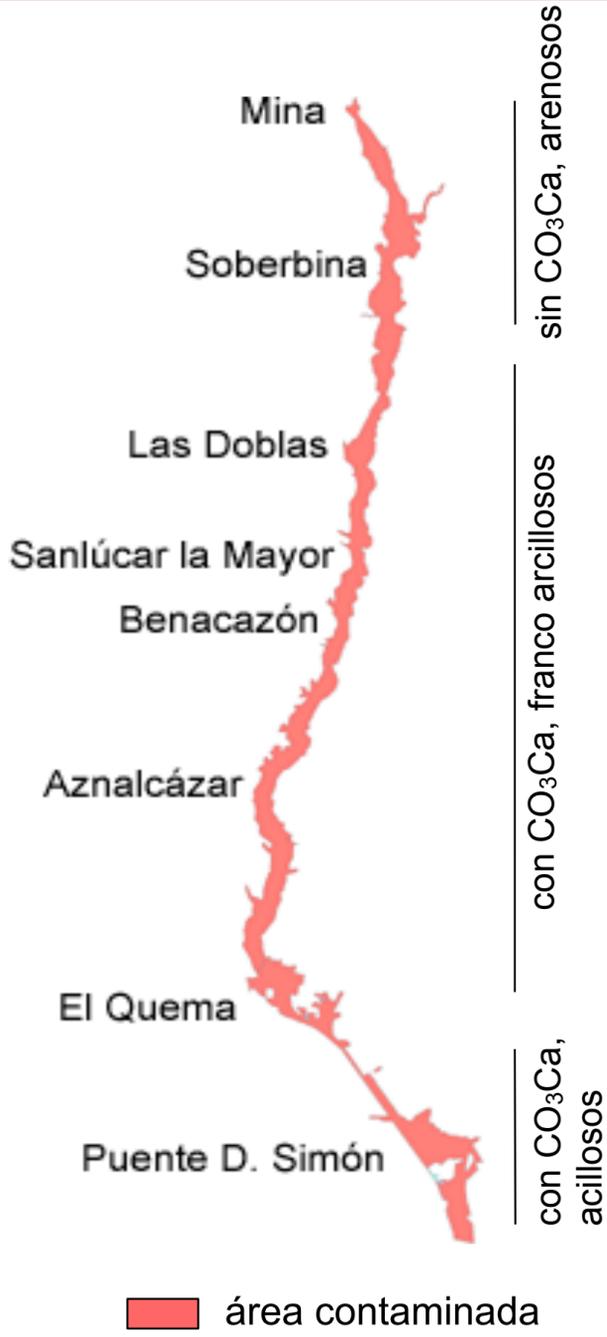


En primer lugar, los suelos actuaron como un sistema filtrante que retuvieron las partículas minerales, de tamaño limo, de los lodos. La retención fue muy desigual, dependiendo fundamentalmente de dos propiedades físicas de los suelos: textura y estructura.

Efecto filtrante de los suelos

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



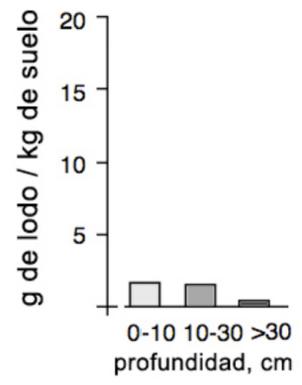
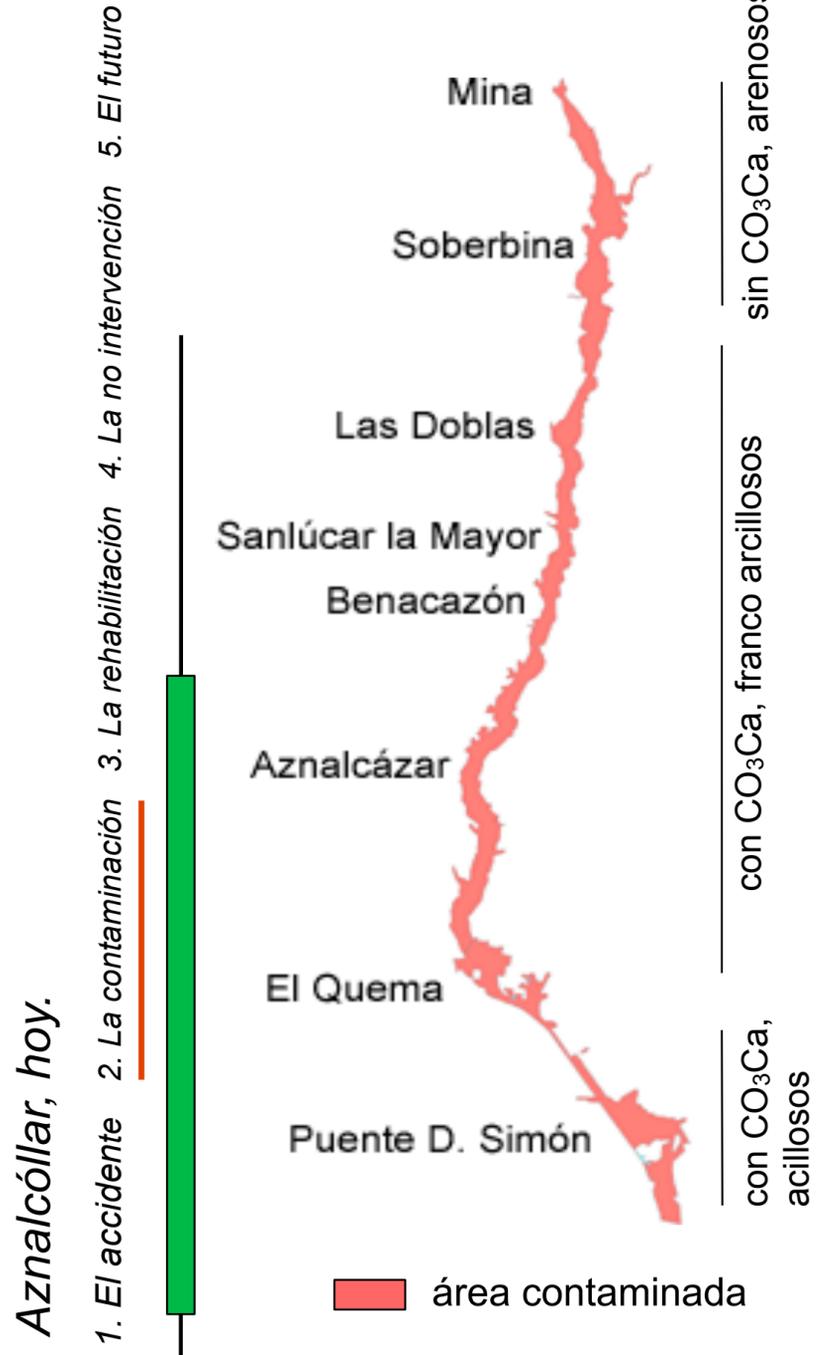
En la parte alta de la cuenca, los suelos arenosos, con muy bajo grado de desarrollo de la estructura, los lodos apenas penetraron en los suelos y quedaron en gran medida depositados sobre la superficie.

En los suelos de la cuenca media, estaban ya presentes suelos moderadamente arcillosos y con un moderado grado de desarrollo estructural, la penetración de los lodos se hizo a través de las grietas que separaban a los agregados estructurales.

En los suelos arcillosos, con un fuerte desarrollo de la estructura (especialmente los de la parte baja de la cuenca), los lodos penetraron con facilidad a través de las abundantes grietas estructurales y gran parte de ellos quedaron retenidos dentro del suelo hasta los 50 cm de profundidad.

En definitiva la entrada de lodos fue muy desigual (desde sólo unos gramos de lodo por kg, en los suelos mas arenosos, hasta más de 150 g/kg, en los más arcillosos).

Efecto filtrante de los suelos



TEXTURA
 arena 68,0 %
 arcilla 12,7 %

ESTRUCTURA
 granos sueltos
 sin tamaño
 sin desarrollo



En la parte alta de la cuenca, los suelos arenosos, con muy bajo grado de desarrollo de la estructura, los lodos apenas penetraron en los suelos y quedaron en gran medida depositados sobre la superficie.

En los suelos de la cuenca media, estaban ya presentes suelos moderadamente arcillosos y con un moderado grado de desarrollo estructural, la penetración de los lodos se hizo a través de las grietas que separaban a los agregados estructurales.

En los suelos arcillosos, con un fuerte desarrollo de la estructura (especialmente los de la parte baja de la cuenca), los lodos penetraron con facilidad a través de las abundantes grietas estructurales y gran parte de ellos quedaron retenidos dentro del suelo hasta los 50 cm de profundidad.

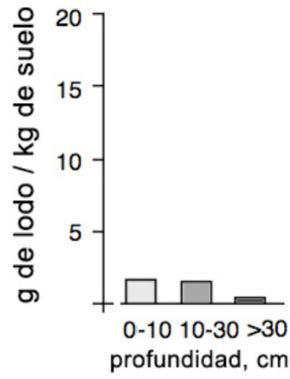
En definitiva la entrada de lodos fue muy desigual (desde sólo unos gramos de lodo por kg, en los suelos mas arenosos, hasta más de 150 g/kg, en los más arcillosos).

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

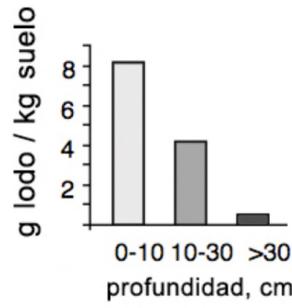


Efecto filtrante de los suelos



TEXTURA
arena 68,0 %
arcilla 12,7 %

ESTRUCTURA
granos sueltos
sin tamaño
sin desarrollo



TEXTURA
arena 21,9 %
arcilla 40,4 %

ESTRUCTURA
bloques
tamaño medio
grado moderado



En la parte alta de la cuenca, los suelos arenosos, con muy bajo grado de desarrollo de la estructura, los lodos apenas penetraron en los suelos y quedaron en gran medida depositados sobre la superficie.

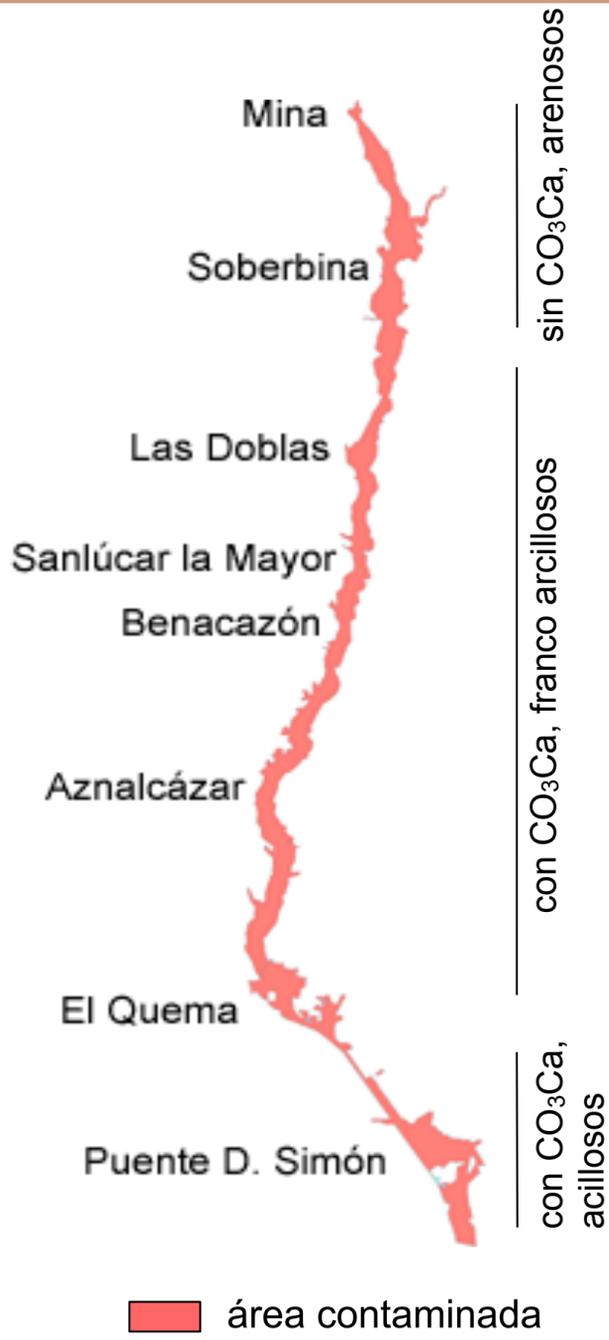
En los suelos de la cuenca media, estaban ya presentes suelos moderadamente arcillosos y con un moderado grado de desarrollo estructural, la penetración de los lodos se hizo a través de las grietas que separaban a los agregados estructurales.

En los suelos arcillosos, con un fuerte desarrollo de la estructura (especialmente los de la parte baja de la cuenca), los lodos penetraron con facilidad a través de las abundantes grietas estructurales y gran parte de ellos quedaron retenidos dentro del suelo hasta los 50 cm de profundidad.

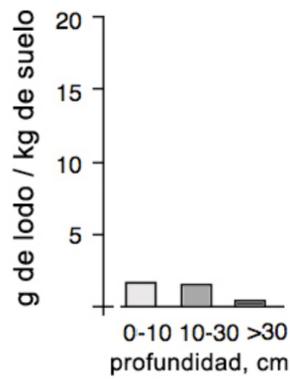
En definitiva la entrada de lodos fue muy desigual (desde sólo unos gramos de lodo por kg, en los suelos mas arenosos, hasta más de 150 g/kg, en los más arcillosos).

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

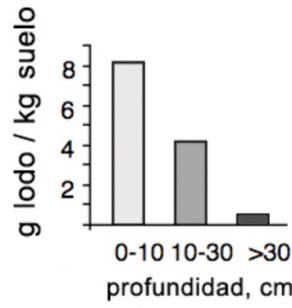


Efecto filtrante de los suelos



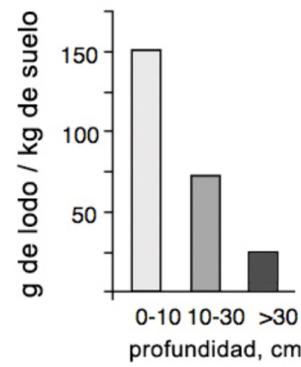
TEXTURA
arena 68,0 %
arcilla 12,7 %

ESTRUCTURA
granos sueltos
sin tamaño
sin desarrollo



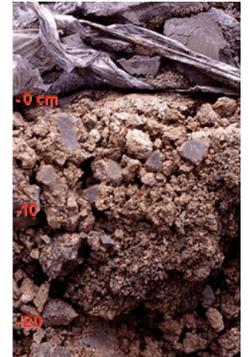
TEXTURA
arena 21,9 %
arcilla 40,4 %

ESTRUCTURA
bloques
tamaño medio
grado moderado



TEXTURA
arena 7,7 %
arcilla 63,1 %

ESTRUCTURA
bloques
tamaño fino
grado fuerte



En la parte alta de la cuenca, los suelos arenosos, con muy bajo grado de desarrollo de la estructura, los lodos apenas penetraron en los suelos y quedaron en gran medida depositados sobre la superficie.

En los suelos de la cuenca media, estaban ya presentes suelos moderadamente arcillosos y con un moderado grado de desarrollo estructural, la penetración de los lodos se hizo a través de las grietas que separaban a los agregados estructurales.

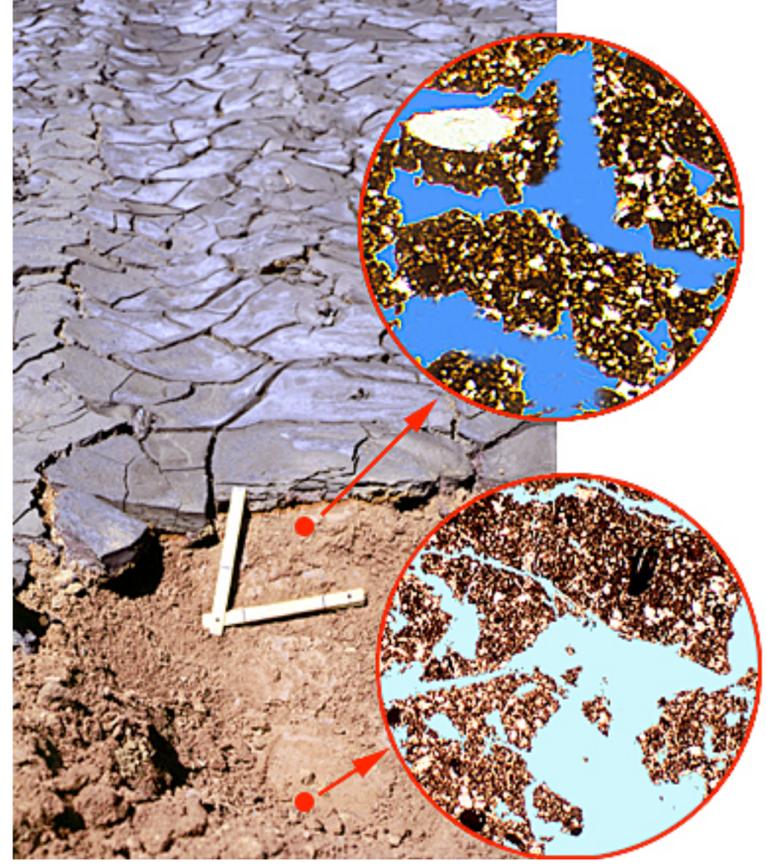
En los suelos arcillosos, con un fuerte desarrollo de la estructura (especialmente los de la parte baja de la cuenca), los lodos penetraron con facilidad a través de las abundantes grietas estructurales y gran parte de ellos quedaron retenidos dentro del suelo hasta los 50 cm de profundidad.

En definitiva la entrada de lodos fue muy desigual (desde sólo unos gramos de lodo por kg, en los suelos mas arenosos, hasta más de 150 g/kg, en los más arcillosos).

Efecto depurador de los suelos

Aznalcóllar, hoy.

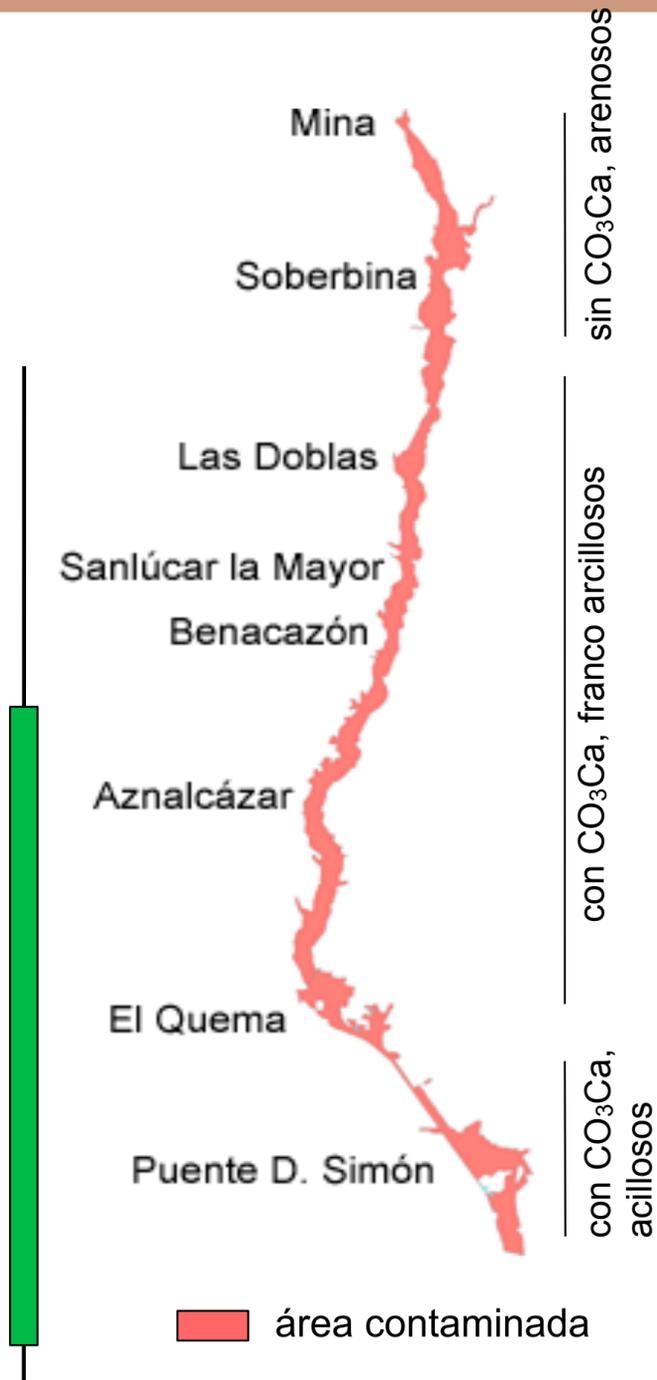
1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



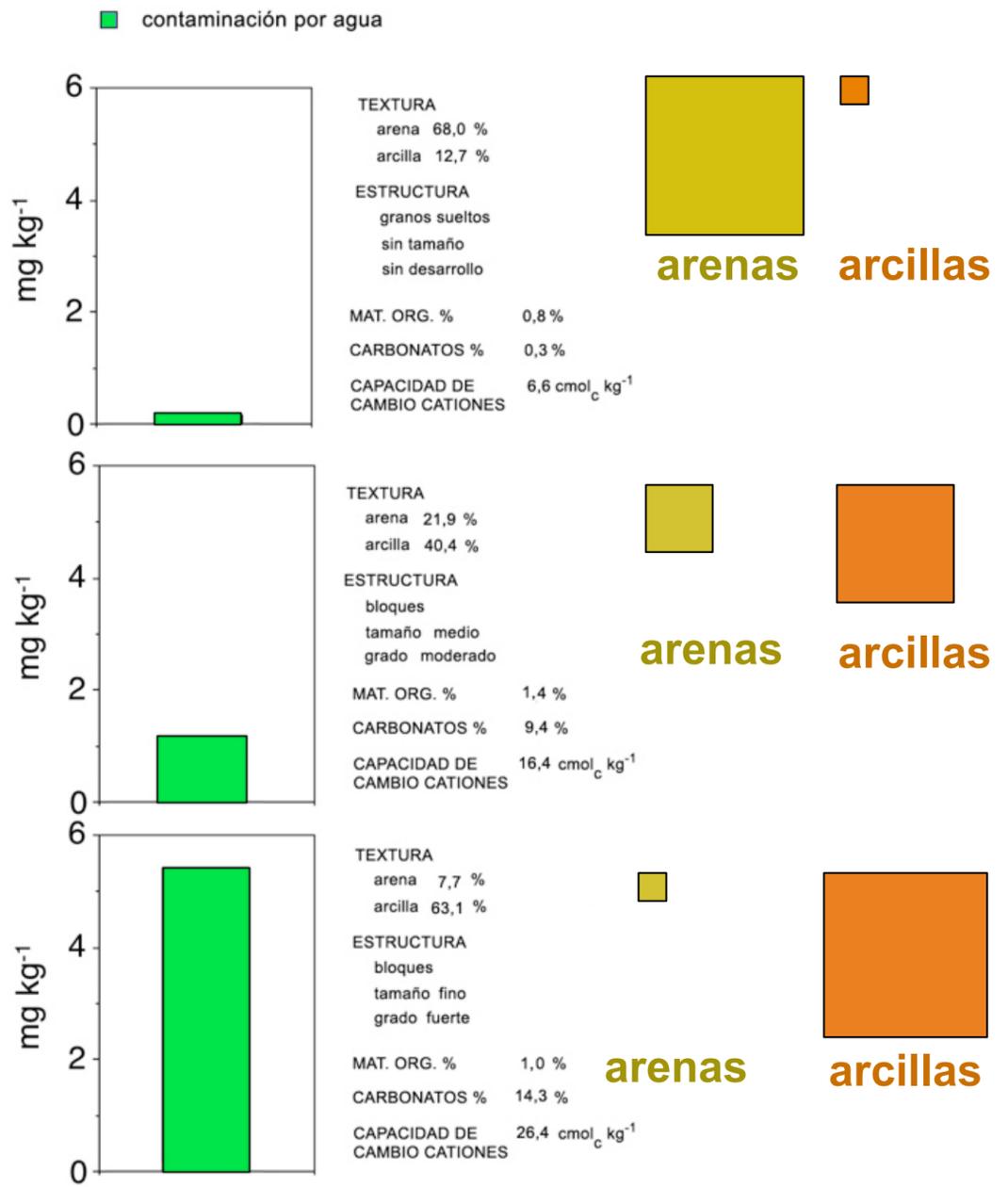
Los suelos actuaron también como un sistema depurador que retuvieron gran parte de los metales pesados disueltos en las aguas. El poder de autodepuración fue también muy desigual, dependiendo de las propiedades físicas y químicas de cada suelo.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Efecto depurador de los suelos

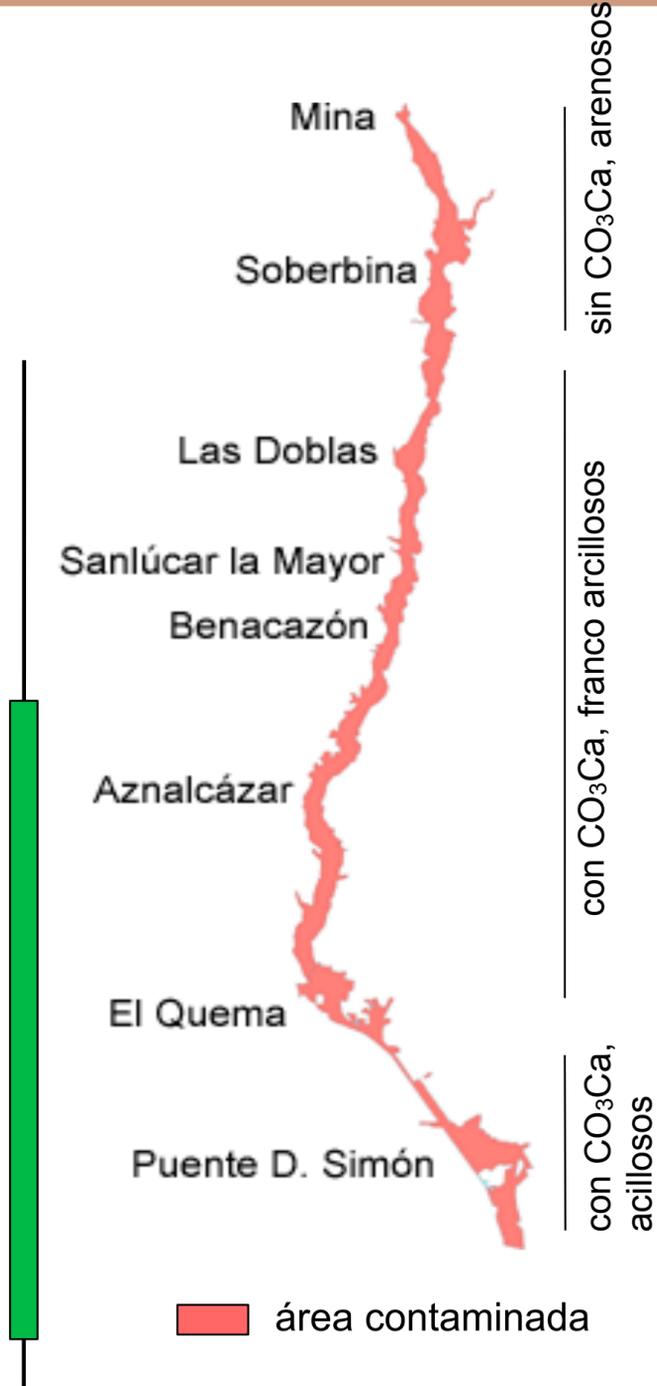


En esta figura representamos la contaminación aportada por las aguas para uno de los metales pesados, por ejemplo, el Cd, en tres suelos representativos.

El efecto depurador fue muy bajo en los arenosos, moderado en los francos y muy alto en los arcillosos.

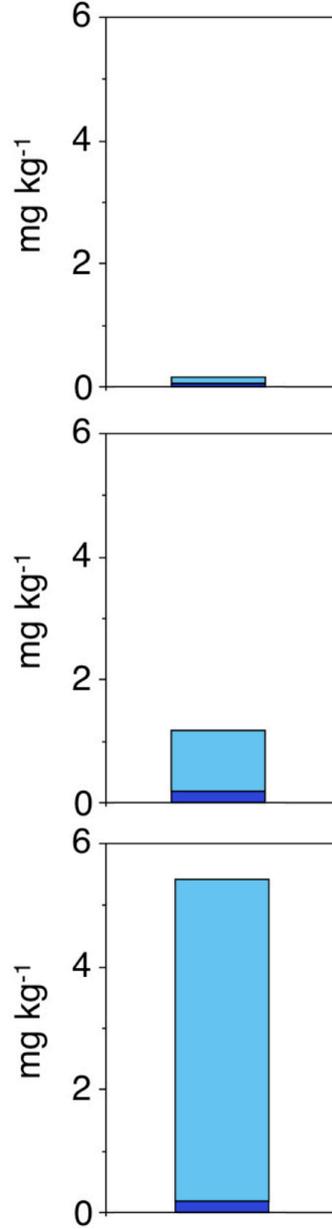
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Efecto depurador de los suelos

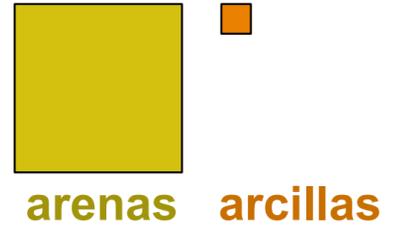
■ contaminación por agua de gravedad
■ contaminación por agua de retención



TEXTURA
arena 21,9 %
arcilla 40,4 %

ESTRUCTURA
bloques
tamaño medio
grado moderado

MAT. ORG. % 0,8 %
CARBONATOS % 0,3 %
CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONES 6,6 cmol_c kg⁻¹



TEXTURA
arena 68,0 %
arcilla 12,7 %

ESTRUCTURA
granos sueltos
sin tamaño
sin desarrollo

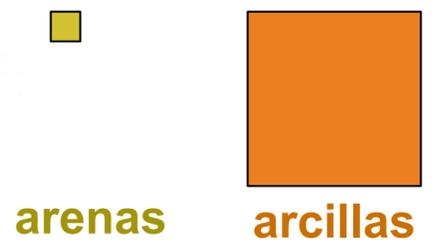
MAT. ORG. % 1,4 %
CARBONATOS % 9,4 %
CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONES 16,4 cmol_c kg⁻¹



TEXTURA
arena 7,7 %
arcilla 63,1 %

ESTRUCTURA
bloques
tamaño fino
grado fuerte

MAT. ORG. % 1,0 %
CARBONATOS % 14,3 %
CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONES 26,4 cmol_c kg⁻¹

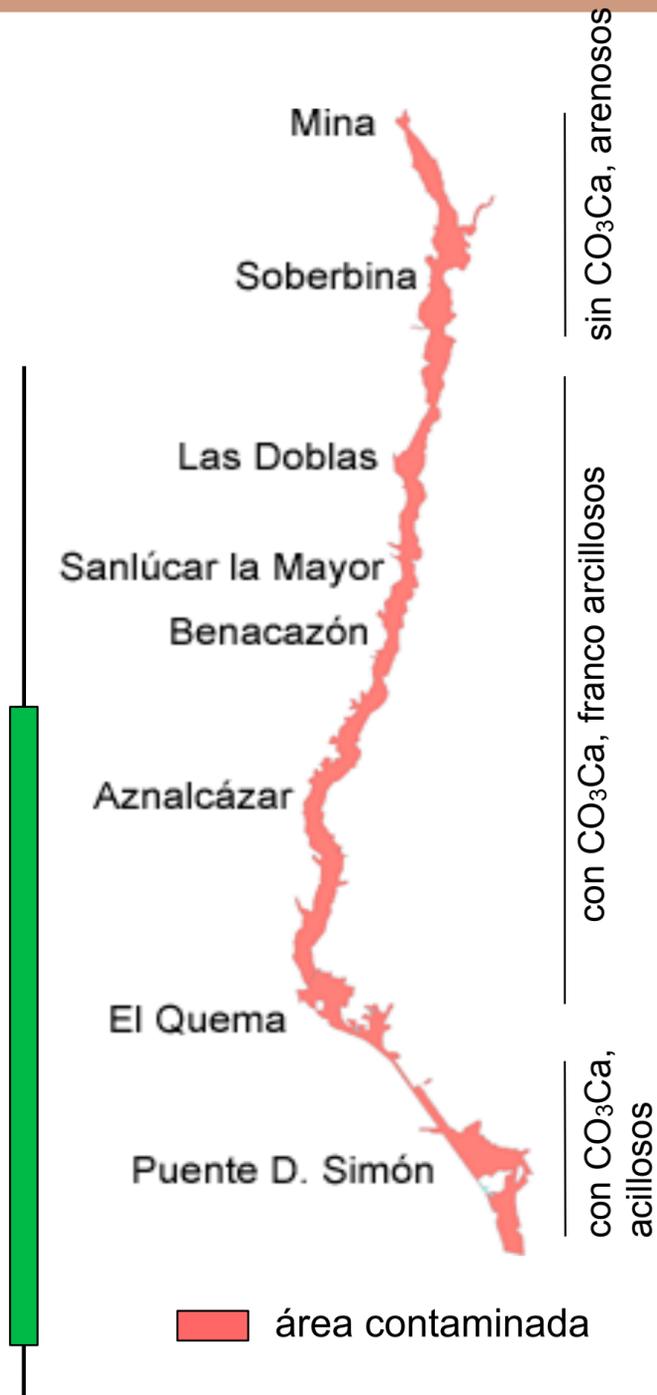


De esta contaminación una pequeña parte, la representada en azul oscuro, es debida al agua retenida en los poros, mientras que el resto, la representada en color celeste, la atribuimos al agua de gravedad que al infiltrarse en el suelo ha ido purificándose, depositando (por adsorción y precipitación) los elementos contaminantes.

Además de la relación con la textura (baja para los arenosos, moderada ...), existe una clara relación con la CCC y con el contenido en carbonatos.

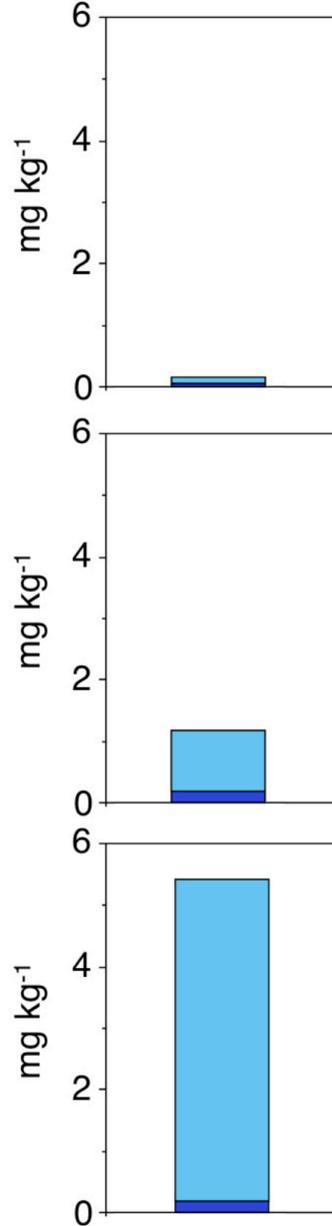
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

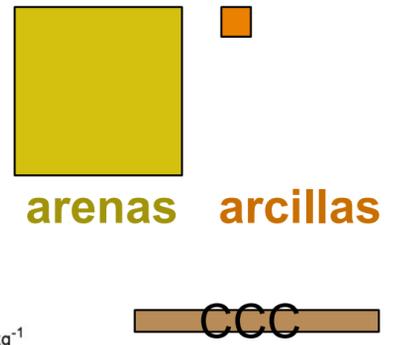


Efecto depurador de los suelos

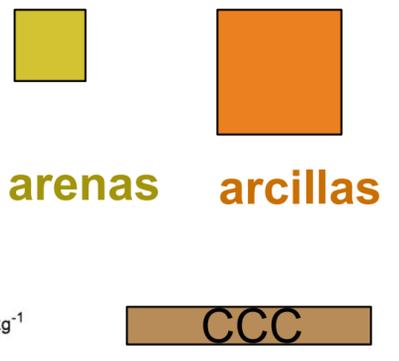
■ contaminación por agua de gravedad
 ■ contaminación por agua de retención



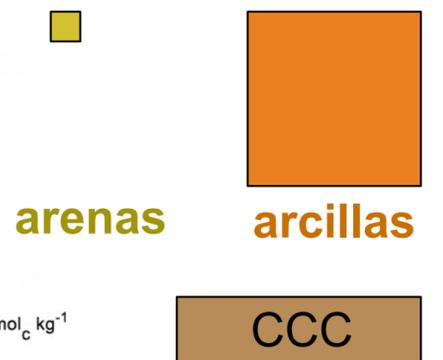
TEXTURA
 arena 21,9 %
 arcilla 40,4 %
 ESTRUCTURA
 bloques
 tamaño medio
 grado moderado
 MAT. ORG. % 0,8 %
 CARBONATOS % 0,3 %
 CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONES 6,6 cmol_c kg⁻¹



TEXTURA
 arena 68,0 %
 arcilla 12,7 %
 ESTRUCTURA
 granos sueltos
 sin tamaño
 sin desarrollo
 MAT. ORG. % 1,4 %
 CARBONATOS % 9,4 %
 CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONES 16,4 cmol_c kg⁻¹



TEXTURA
 arena 7,7 %
 arcilla 63,1 %
 ESTRUCTURA
 bloques
 tamaño fino
 grado fuerte
 MAT. ORG. % 1,0 %
 CARBONATOS % 14,3 %
 CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONES 26,4 cmol_c kg⁻¹

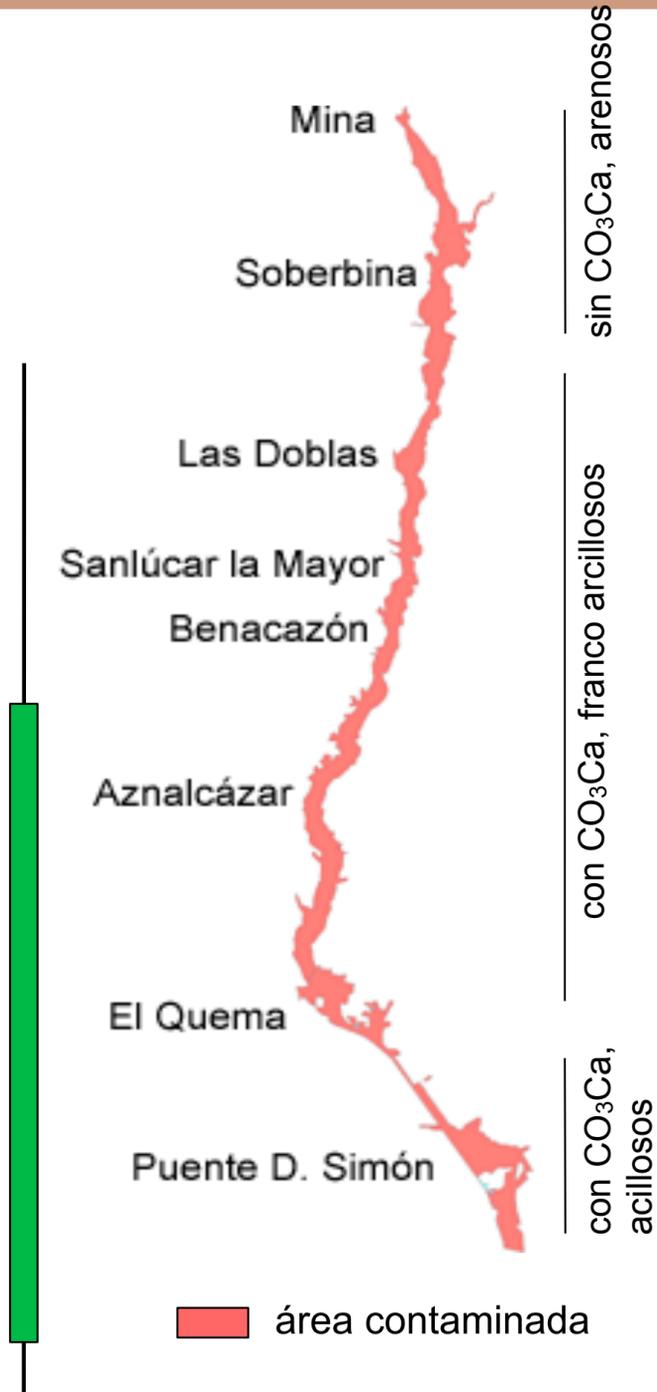


De esta contaminación una pequeña parte, la representada en azul oscuro, es debida al agua retenida en los poros, mientras que el resto, la representada en color celeste, la atribuimos al agua de gravedad que al infiltrarse en el suelo ha ido purificándose, depositando (por adsorción y precipitación) los elementos contaminantes.

Además de la relación con la textura (baja para los arenosos, moderada ...), existe una clara relación con la CCC y con el contenido en carbonatos.

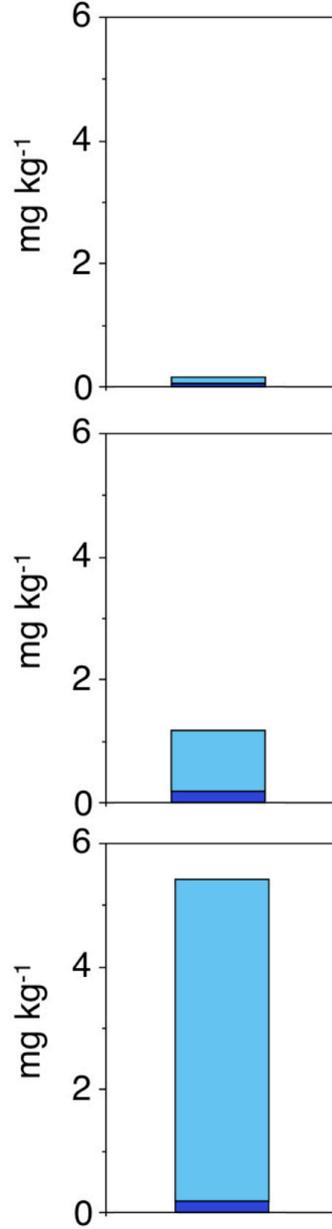
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Efecto depurador de los suelos

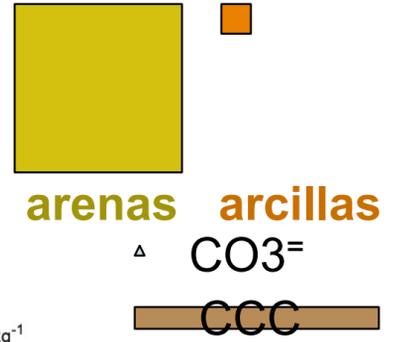
■ contaminación por agua de gravedad
■ contaminación por agua de retención



TEXTURA
arena 21,9 %
arcilla 40,4 %

ESTRUCTURA
bloques
tamaño medio
grado moderado

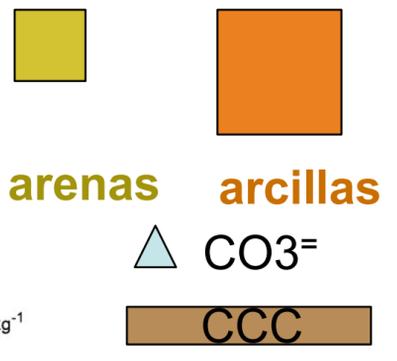
MAT. ORG. % 0,8 %
CARBONATOS % 0,3 %
CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONES 6,6 cmol_c kg⁻¹



TEXTURA
arena 68,0 %
arcilla 12,7 %

ESTRUCTURA
granos sueltos
sin tamaño
sin desarrollo

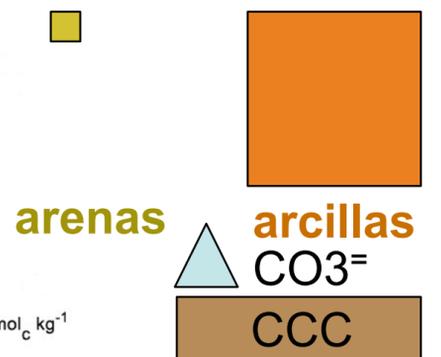
MAT. ORG. % 1,4 %
CARBONATOS % 9,4 %
CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONES 16,4 cmol_c kg⁻¹



TEXTURA
arena 7,7 %
arcilla 63,1 %

ESTRUCTURA
bloques
tamaño fino
grado fuerte

MAT. ORG. % 1,0 %
CARBONATOS % 14,3 %
CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONES 26,4 cmol_c kg⁻¹



De esta contaminación una pequeña parte, la representada en azul oscuro, es debida al agua retenida en los poros, mientras que el resto, la representada en color celeste, la atribuimos al agua de gravedad que al infiltrarse en el suelo ha ido purificándose, depositando (por adsorción y precipitación) los elementos contaminantes.

Además de la relación con la textura (baja para los arenosos, moderada ...), existe una clara relación con la CCC y con el contenido en carbonatos.

Aznalcóllar, hoy.

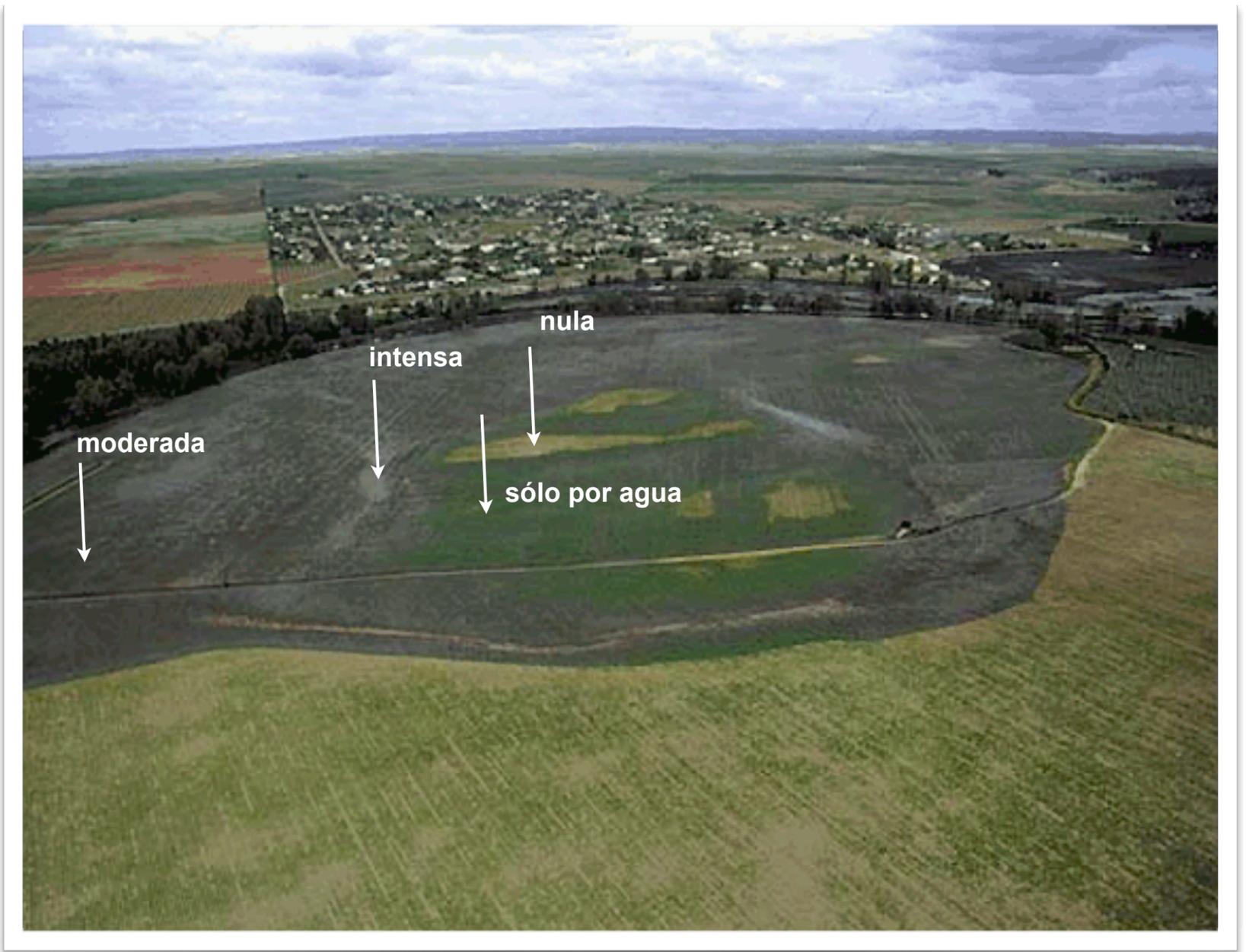
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Además de las características de los suelos, la contaminación de los suelos quedó muy influenciada por la microtopografía de la cuenca. En muy pocos metros la entrada de la contaminación fue muy desigual.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Además de las características de los suelos, la contaminación de los suelos quedó muy influenciada por la microtopografía de la cuenca. En muy pocos metros la entrada de la contaminación fue muy desigual.



	mg kg ⁻¹				mg kg ⁻¹				
	Máximo	Mínimo	Media	DE	Máximo	Mínimo	Media	DE	
Mn	1030,0	470,6	681,9	172,8	Cd	5,7	0,4	2,2	1,8
Zn	2235,2	144,6	747,9	705,7	Ni	40,4	17,4	29,1	7,5
Pb	1785,5	60,0	370,4	627,6	Sn	4,8	0,0	1,0	1,8
Cu	400,8	33,8	132,8	124,2	Y	22,2	12,5	18,3	3,6
As	603,7	29,0	127,0	211,1	Be	2,7	1,0	1,8	0,6
Sb	145,6	4,0	27,7	52,1	U	2,2	1,1	1,7	0,4
Ba	378,3	216,6	292,1	55,4	Th	19,5	9,1	13,9	4,1
V	127,7	75,6	94,7	17,4	Sc	16,5	6,2	10,9	3,3
Tl	8,9	0,5	2,1	3,1	Hg	0,6	0,2	0,4	0,1
Cr	103,2	45,1	68,5	18,8	Mo	2,1	0,0	0,7	0,7
Co	22,7	10,2	15,9	3,8	In	0,6	0,1	0,2	0,2
Bi	12,6	0,5	2,6	4,4	Se	3,4	0,0	0,5	1,3

Tabla 6. Composición elemental de suelos afectados, entre 0-10 cm. DE es la desviación estandar.

suelos contaminados

	mg kg ⁻¹				mg kg ⁻¹				
	Máximo	Mínimo	Media	DE	Máximo	Mínimo	Media	DE	
Mn	1250,0	365,9	845,5	275,6	Cd	0,9	0,0	0,5	0,4
Zn	376,1	45,8	230,8	123,1	Ni	47,7	14,0	32,1	12,3
Pb	74,6	22,0	41,8	16,4	Sn	3,4	0,0	0,8	1,3
Cu	66,9	17,0	42,2	18,8	Y	30,1	8,3	16,1	7,7
As	31,5	11,5	18,1	6,5	Be	2,8	0,9	1,9	0,7
Sb	3,0	1,5	2,2	0,7	U	3,1	1,1	1,8	0,7
Ba	363,7	196,9	292,9	58,2	Th	16,8	4,1	11,7	4,4
V	132,5	45,1	100,6	31,3	Sc	17,6	4,1	11,9	5,4
Tl	0,6	0,2	0,5	0,1	Hg	0,5	0,2	0,4	0,1
Cr	99,9	33,1	68,5	25,4	Mo	0,8	0,0	0,2	0,3
Co	20,0	6,9	14,4	4,2	In	0,1	0,1	0,1	0,0
Bi	0,8	0,2	0,4	0,2	Se	0,0	0,0	0,0	0,0

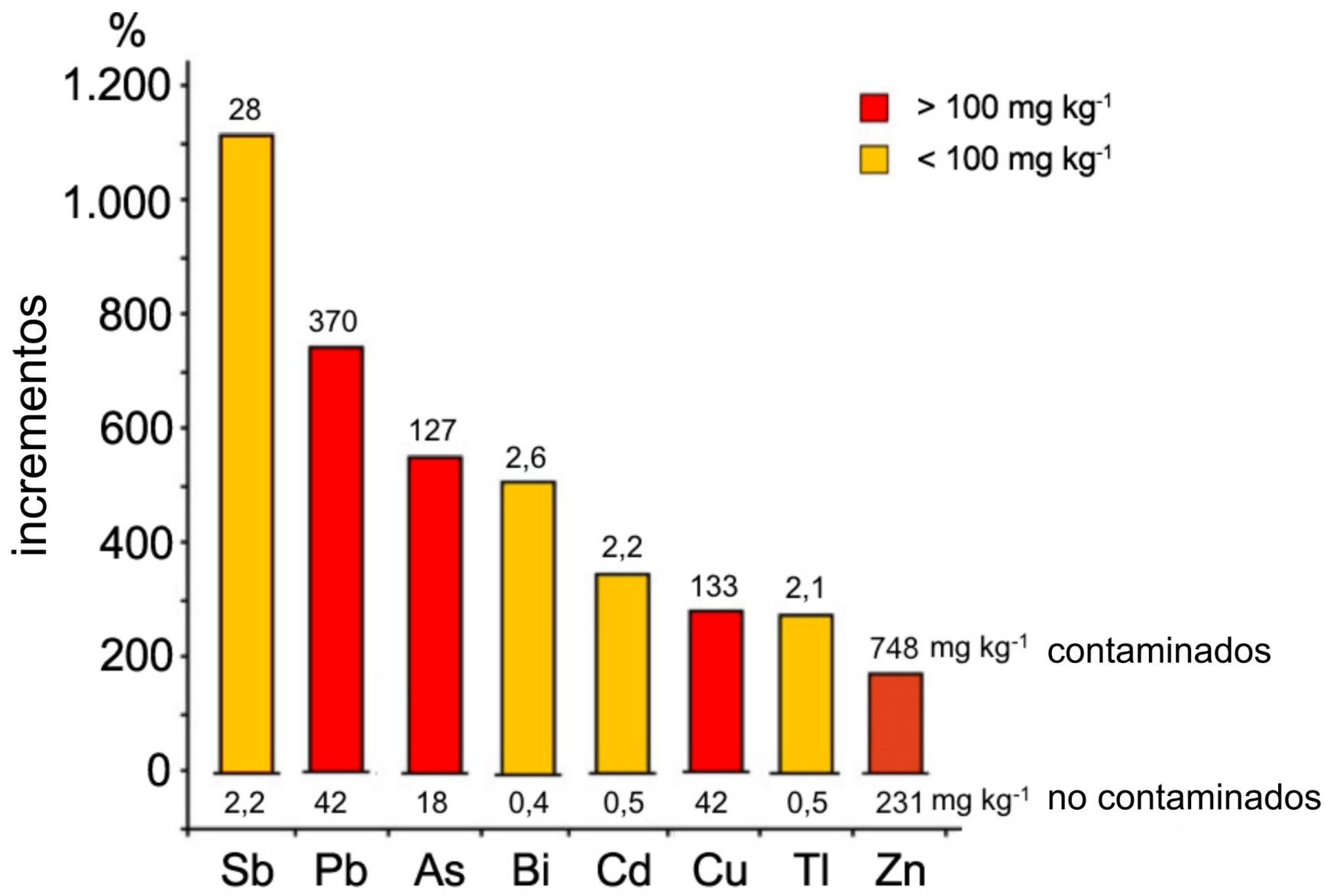
Tabla 5. Composición elemental de suelos no afectados, entre 0-10 cm. DE es la desviación estandar.

suelos no contaminados

Para comprobar la contaminación de los suelos, con el ICP-Masas se analizaron los suelos contaminados y se compararon con los suelos fuera del vertido.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



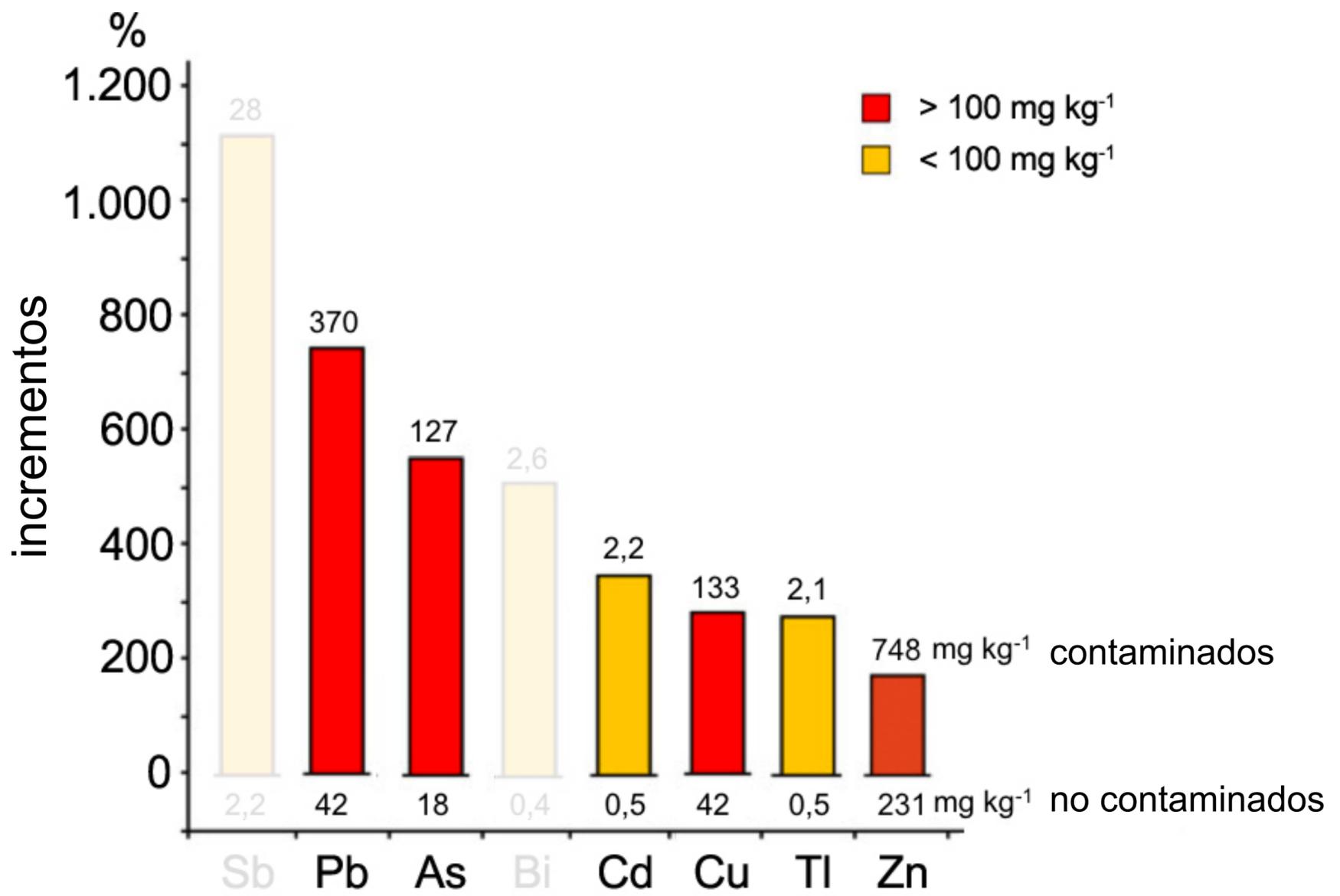
concentración media de suelos contaminados frente a los inalterados, 4 mayo 1998

Los resultados mostraron que la contaminación de los suelos en el vertido de Aznalcóllar se redujo a 8 elementos traza: antimonio, plomo, arsénico, bismuto, cadmio, cobre, talio y zinc.

Como para el Sb y el Bi no se le consideran hoy día efectos nocivos podemos prescindir de su seguimiento. Con lo que nos quedarían 6 contaminantes, 4 predominantes (Pb, As, Cu y Zn) y dos muy minoritarios (Cd y Tl).

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



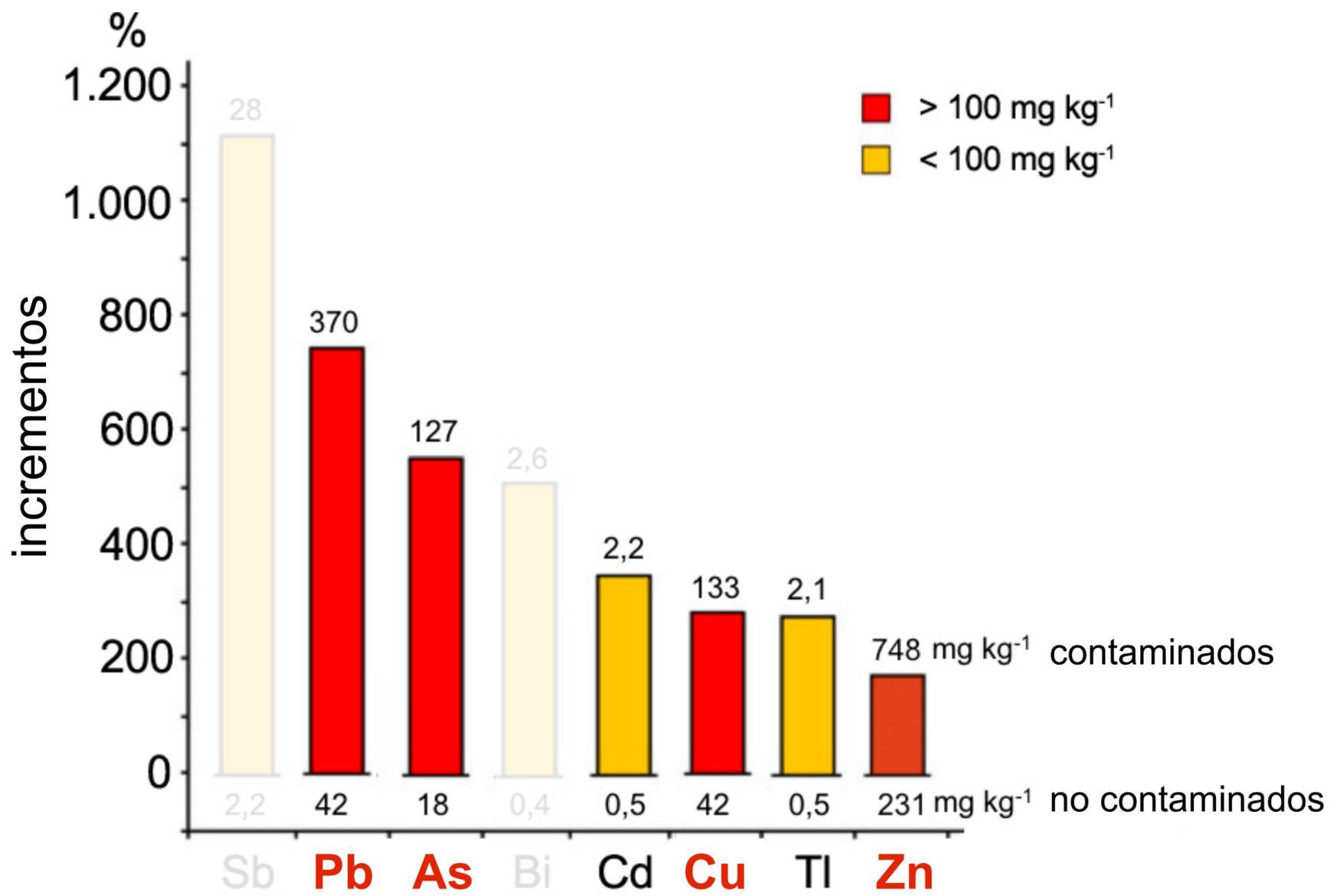
concentración media de suelos contaminados frente a los inalterados, 4 mayo 1998

Los resultados mostraron que la contaminación de los suelos en el vertido de Aznalcóllar se redujo a 8 elementos traza: antimonio, plomo, arsénico, bismuto, cadmio, cobre, talio y zinc.

Como para el Sb y el Bi no se le consideran hoy día efectos nocivos podemos prescindir de su seguimiento. Con lo que nos quedarían 6 contaminantes, 4 predominantes (Pb, As, Cu y Zn) y dos muy minoritarios (Cd y Tl).

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



concentración media de suelos contaminados frente a los inalterados, 4 mayo 1998

Los resultados mostraron que la contaminación de los suelos en el vertido de Aznalcóllar se redujo a 8 elementos traza: antimonio, plomo, arsénico, bismuto, cadmio, cobre, talio y zinc.

Como para el Sb y el Bi no se le consideran hoy día efectos nocivos podemos prescindir de su seguimiento. Con lo que nos quedarían 6 contaminantes, 4 predominantes (Pb, As, Cu y Zn) y dos muy minoritarios (Cd y Tl).

Contaminación inicial por el lodo y el agua

	Tl	As	Pb	Cu	Zn	Cd
lodo %	97	96	63	38	27	26
agua %	3	4	37	62	73	74

valores medios, 4 mayo 1998

Aznalcóllar, hoy.

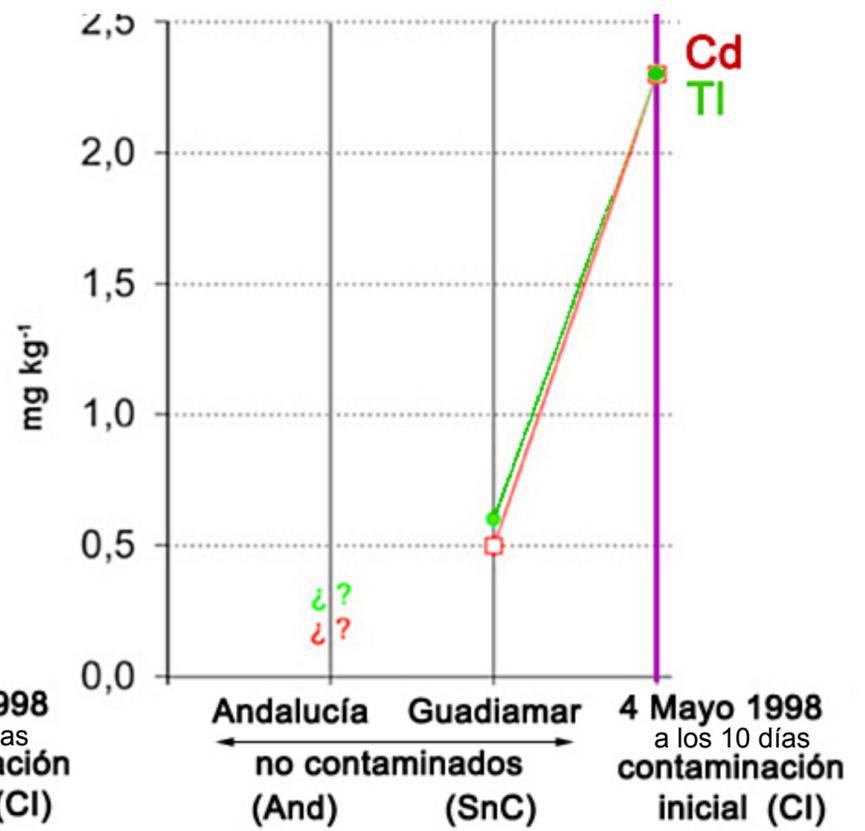
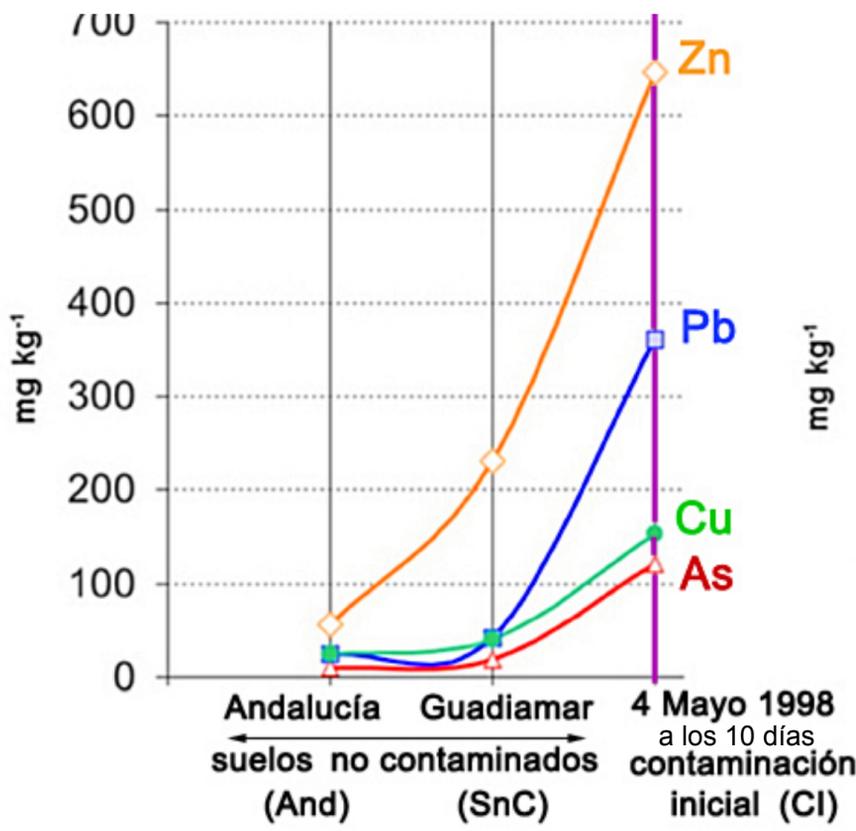
1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

De estos elementos traza, el Tl y As entraron en fase sólida, prácticamente insolubles; el Pb en su mayor parte también con los lodos pero ya con una fracción importante soluble, mientras que la tendencia se invierte para Cu, Zn y Cd que lo hicieron fundamentalmente con las aguas, en fase soluble.



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



	And	SnC	CI	
Zn	56	231	647	mg/kg
Pb	24	42	361	mg/kg
Cu	24	40	153	mg/kg
As	10	18	122	mg/kg

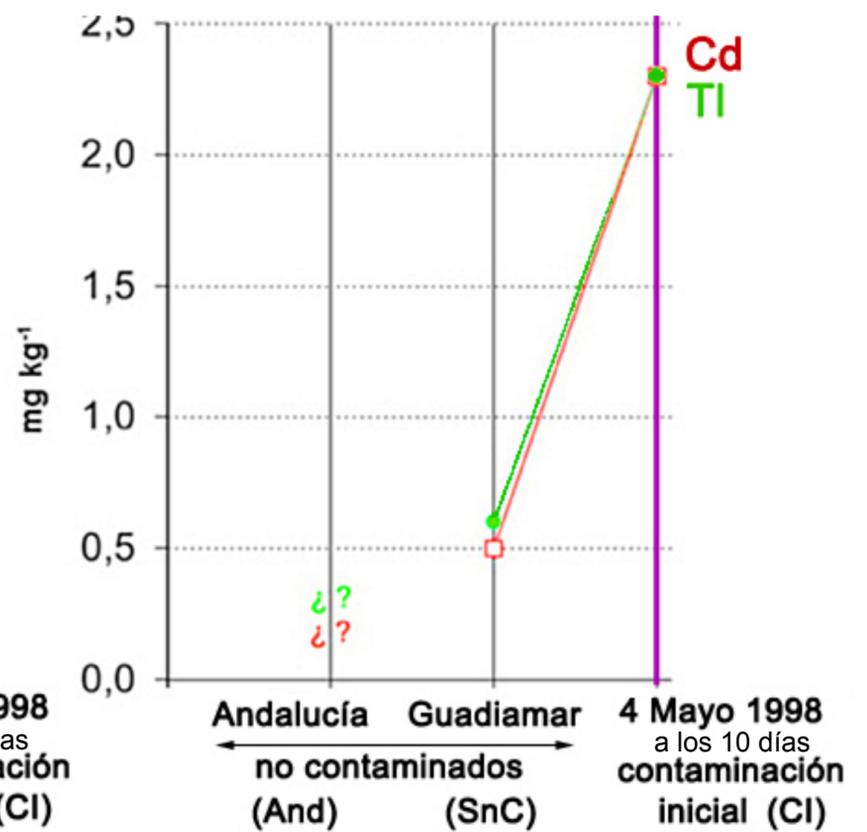
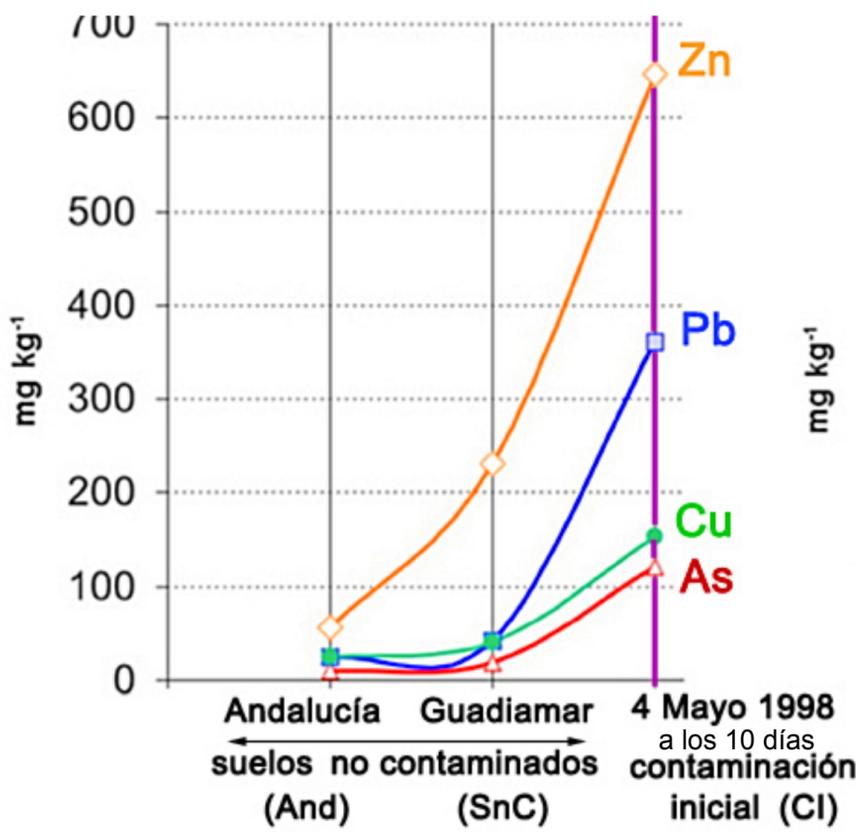
	And	SnC	CI	
Cd	¿?	0,5	2,3	mg/kg
Tl	¿?	0,6	2,3	mg/kg

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

En esta imagen resaltamos el fuerte incremento de las concentraciones de los suelos contaminados, a los 10 días del vertido, que comparamos con las concentraciones de los suelos de la Cuenca del Guadiamar no afectados por el vertido y también a los valores medios de los suelos andaluces.

Así el Zn pasó de los 231 de los suelos no contaminados a 647 mg/kg, el Pb de 42 a 361, 41 de Cu a 153, y de 18 a 122 en el caso del As; (Cd y Tl pasaron de 0,5 y 0,6 a 2,3).

NOTA: los valores de la CI no coinciden exactamente con los de los suelos contaminados de las anteriores por que se desecho uno de los suelos por no ser representativo (estaba en una vereda que al estar en un primer momento todo recubierto de lodos no nos dimos cuenta).



	And	SnC	CI	Incrementos
Zn	56	231	647	180%
Pb	24	42	361	764%
Cu	24	40	153	181%
As	10	18	122	572%

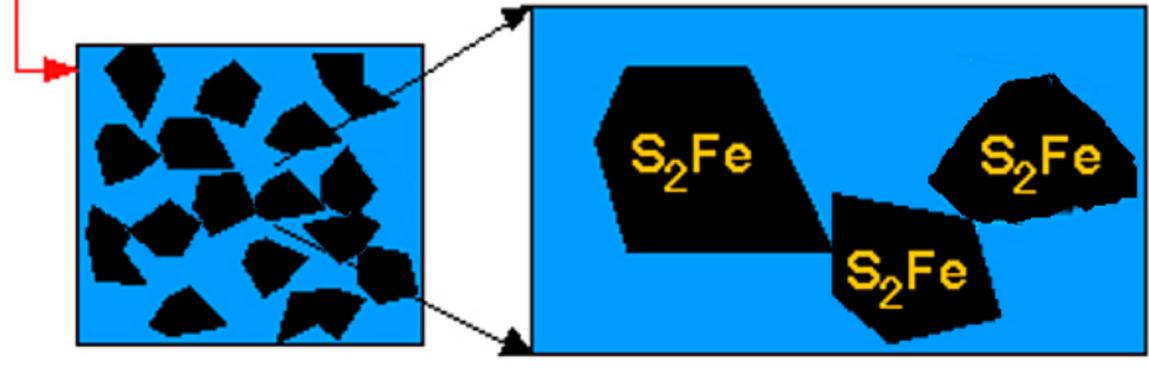
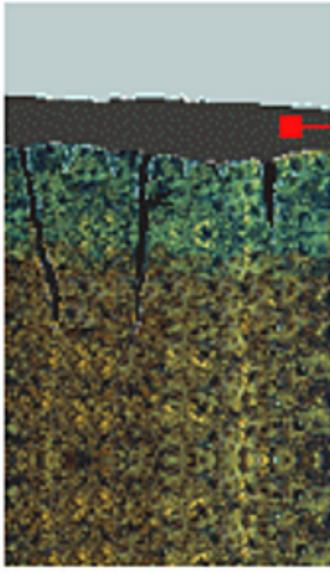
	And	SnC	CI	Incrementos
Cd	¿?	0,5	2,3	360%
Tl	¿?	0,6	2,3	283%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

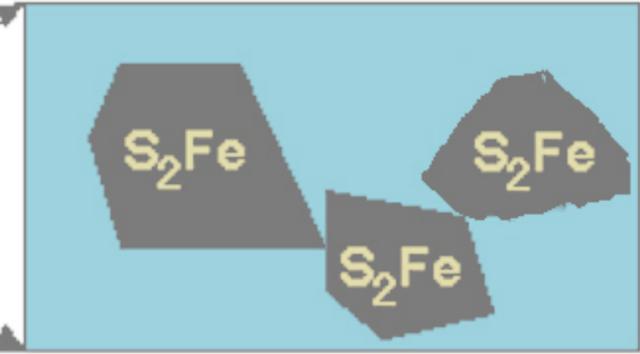
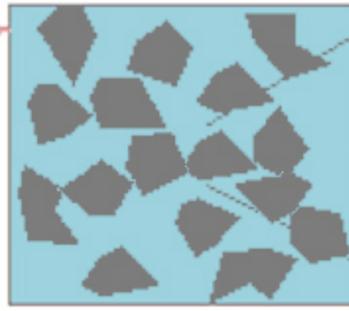
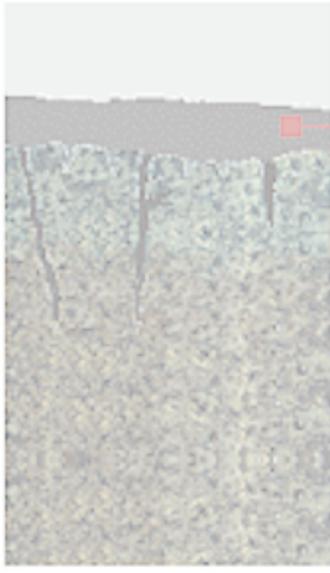
Con unos fuertes incrementos, que van del 764% para el Pb al 180% para el Zn.

También resulta interesante comparar las concentraciones de los suelos de la cuenca del Guadiamar que no quedaron afectados por el vertido con los valores medios de las concentraciones de los suelos andaluces. Vemos como los suelos de la cuenca del Guadiamar presentan unos valores mucho más altos, lo que pone de manifiesto que antes de este vertido estos suelos ya se encontraban moderadamente contaminados como resultado de la prologada explotación de esta mina, desde el tiempo de los romanos.

Situación inicial. Lodos completamente saturados en agua. Ambiente reductor. Partículas de sulfuros estables.

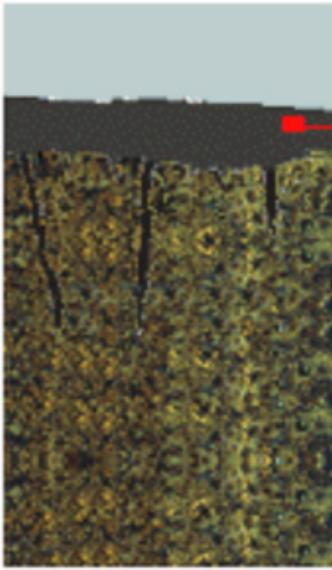


Situación inicial. Lodos completamente saturados en agua. Ambiente reductor. Partículas de sulfuros estables.

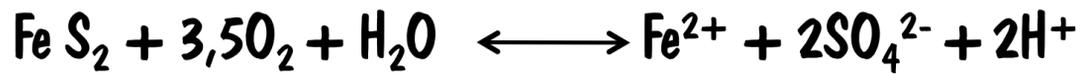


Contaminación secundaria

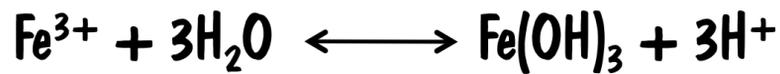
1ª Etapa. Deseccación parcial



pero al quedar sobre la superficie del terreno, los lodos se van desecando, al ir transcurriendo el tiempo, y se va a producir una segunda contaminación aún más peligrosa que la del momento inicial. Efectivamente, al desecarse los lodos, el aire y por tanto el oxígeno va ocupando los poros, y el ambiente se vuelve oxidante



para pH > 4,5



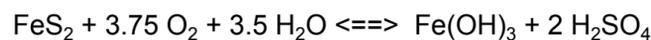
para pH < 4,5



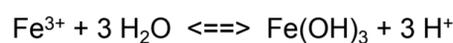
Como sabemos, en la piritita tanto el S como el Fe se encuentran en forma reducida y al contacto con el oxígeno del aire ambos tienden a oxidarse, primero lo hacen los sulfuros que pasan a sulfatos y luego el Fe²⁺ que pasa a Fe³⁺.

La oxidación de sulfuros es un **proceso biogeoquímico muy complejo, en el que participan reacciones de hidratación, oxidación e hidrólisis**; y en el que el pH del suelo interviene de una manera decisiva, ya que a pHs muy ácidos determinadas bacterias, como el *Thiobacillus ferrooxidans*, tienen un papel importantísimo como aceleradores de las reacciones. En definitiva, en este proceso de oxidación se liberan importantes cantidades de hidrogeniones y de ácido sulfúrico que van acidificando cada vez más el medio.

La oxidación de sulfuros es un proceso biogeoquímico complejo (Nordstrom, 1982), en el que participan reacciones de hidratación, oxidación e hidrólisis y que se resume de forma muy simplificada en la reacción propuesta por Stumm y Morgan (1981):

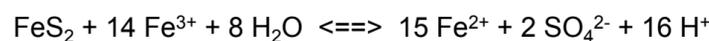


Esta reacción comprende en realidad una secuencia de reacciones, que pasan, en primer lugar, por la liberación de Fe²⁺, que en condiciones oxidantes se transforma en Fe³⁺; si el pH del medio se mantiene por encima de 4.5 (por ejemplo en medios carbonatados) este hierro férrico precipita como hidróxido generando más acidez en el medio:



El resultado final de la oxidación de la piritita bajo estas condiciones genera una fuerte acidificación del medio (por cada mol de piritita oxidada se producen 4 moles de H⁺).

Si por el contrario, el pH del medio se mantiene por debajo de 4.5, o las condiciones son reductoras (Eh < 500 mV), el Fe³⁺ puede actuar como oxidante de la piritita:



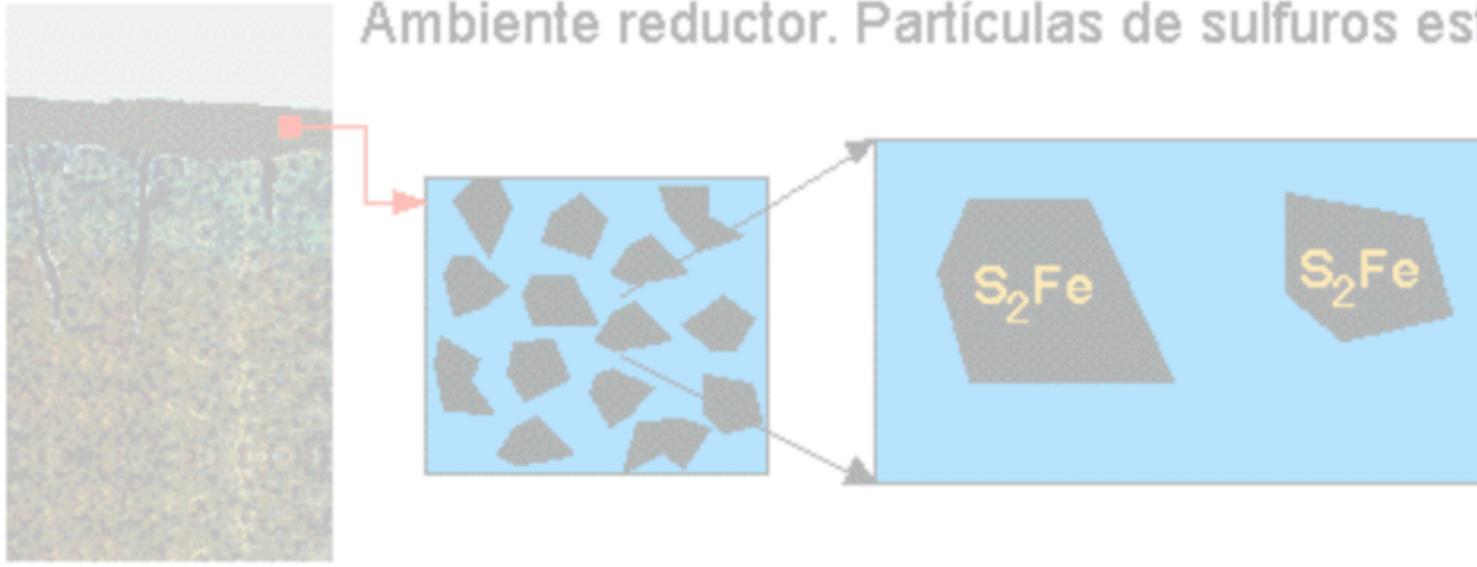
De hecho, a pH < 3 el Fe³⁺ es considerado como el único agente oxidante de estos sulfuros, incluso en condiciones de Eh > 500 mV (Nordstrom, 1982). Esta última reacción de oxidación es mucho más rápida que las anteriores y genera una acidez mucho más elevada (por cada mol de piritita se producen 16 moles de H⁺). Además, estas reacciones se aceleran enormemente en presencia de bacterias (*Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* y *Thiobacillus thiooxidans*), pudiendo llegar a multiplicar por 10⁵ ó 10⁶ las velocidades normales de oxidación.

El otro producto generado en las reacciones de oxidación de la piritita son los sulfatos. Debido a las condiciones generalmente ácidas que se producen, la movilidad de los elementos que suelen acompañar a la piritita es elevada, por lo que en última instancia se tenderá a la formación de sulfatos complejos de estos elementos que tenderán a potenciar los efectos de la contaminación debido a su alta solubilidad.

Aznalcóllar, hoy.

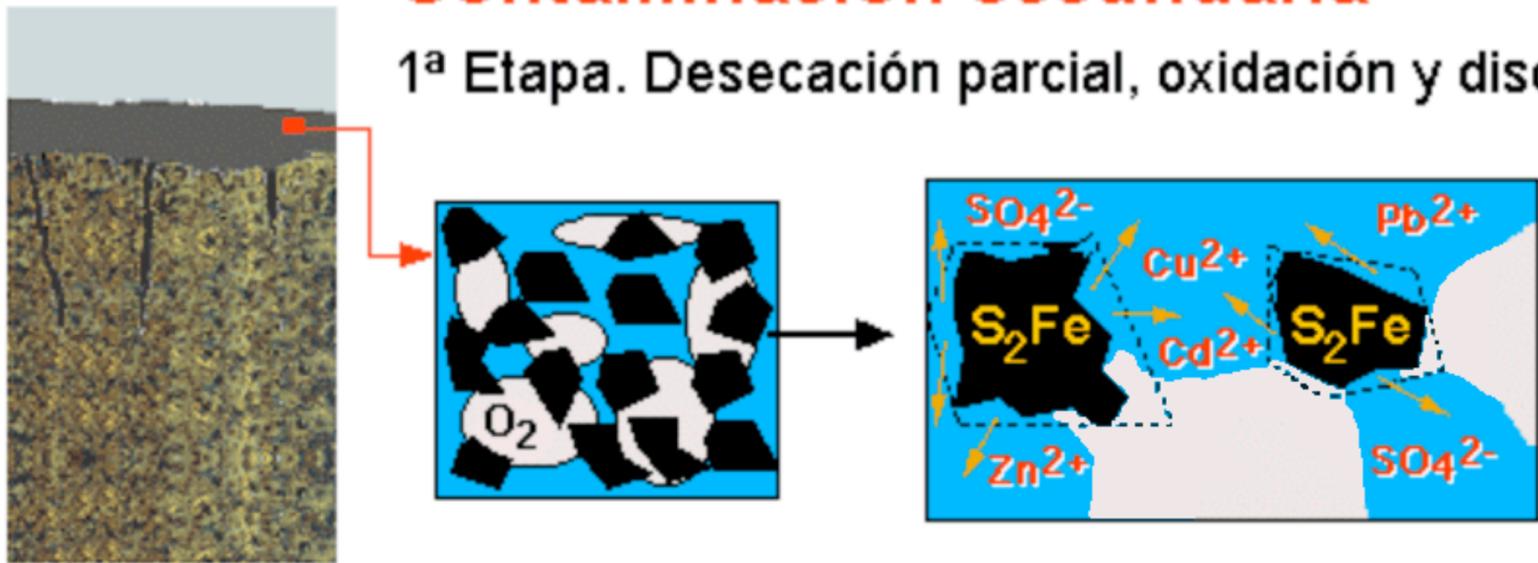
1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Situación inicial. Lodos completamente saturados en agua. Ambiente reductor. Partículas de sulfuros estables.

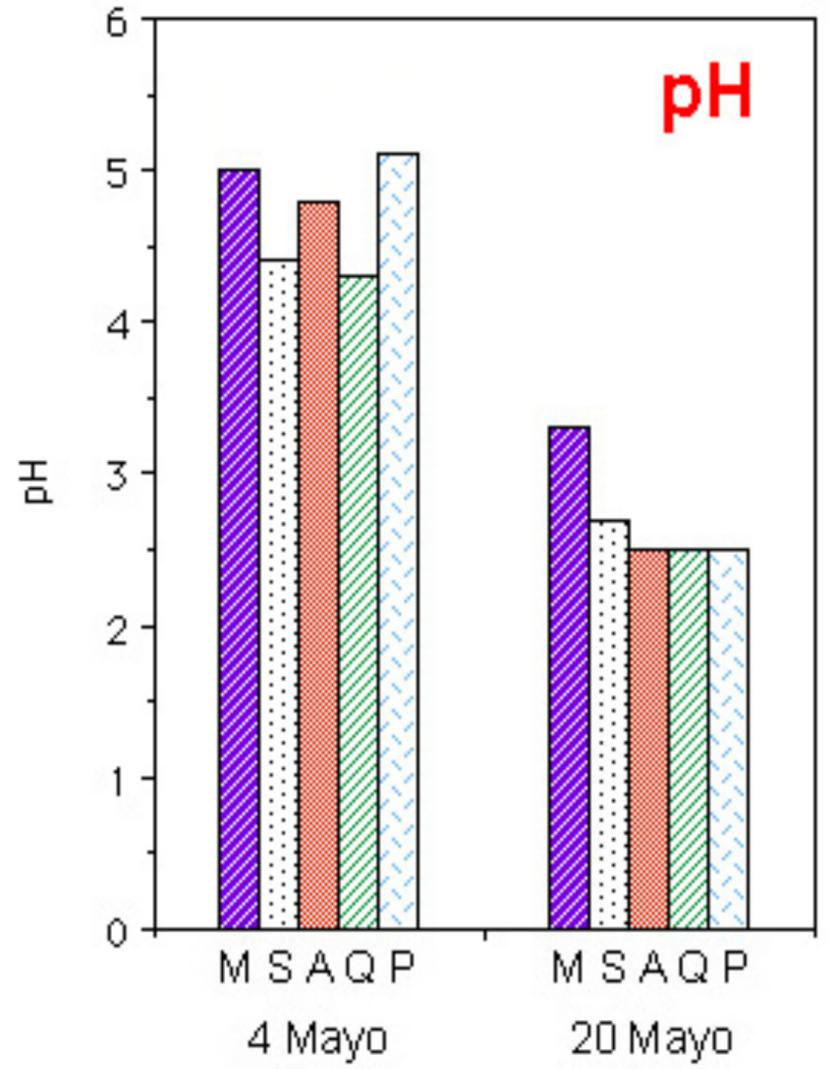
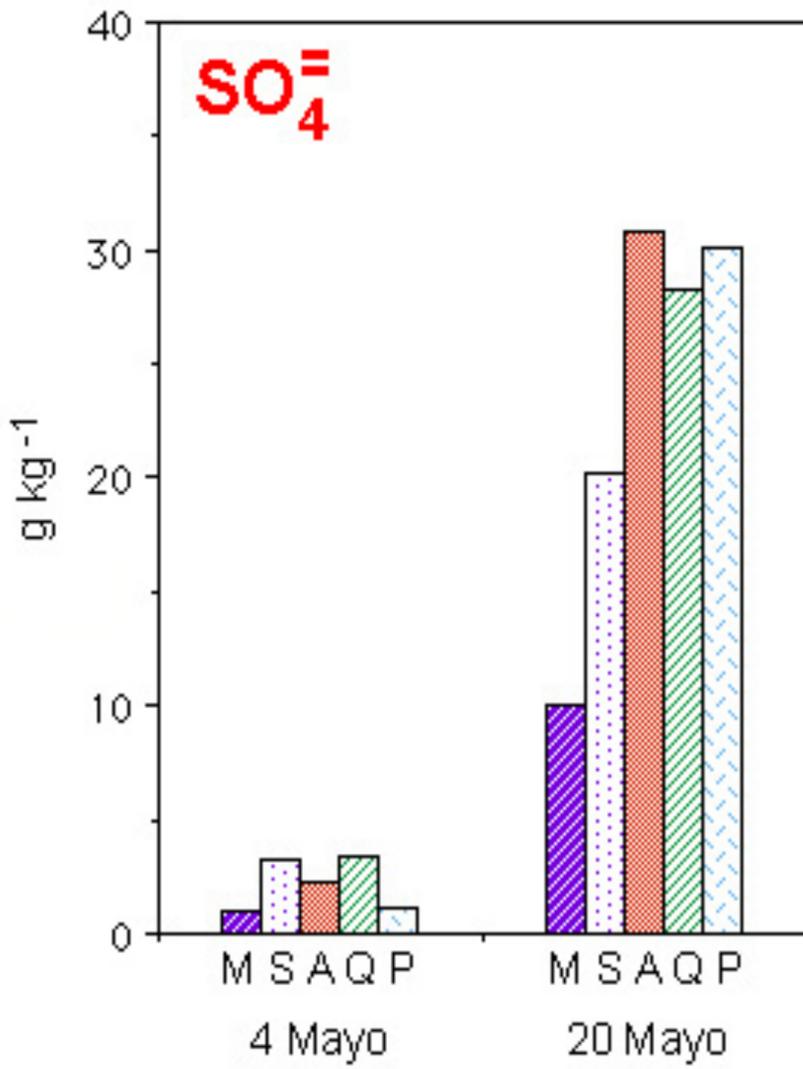


Contaminación secundaria

1ª Etapa. Deseccación parcial, oxidación y disolución.



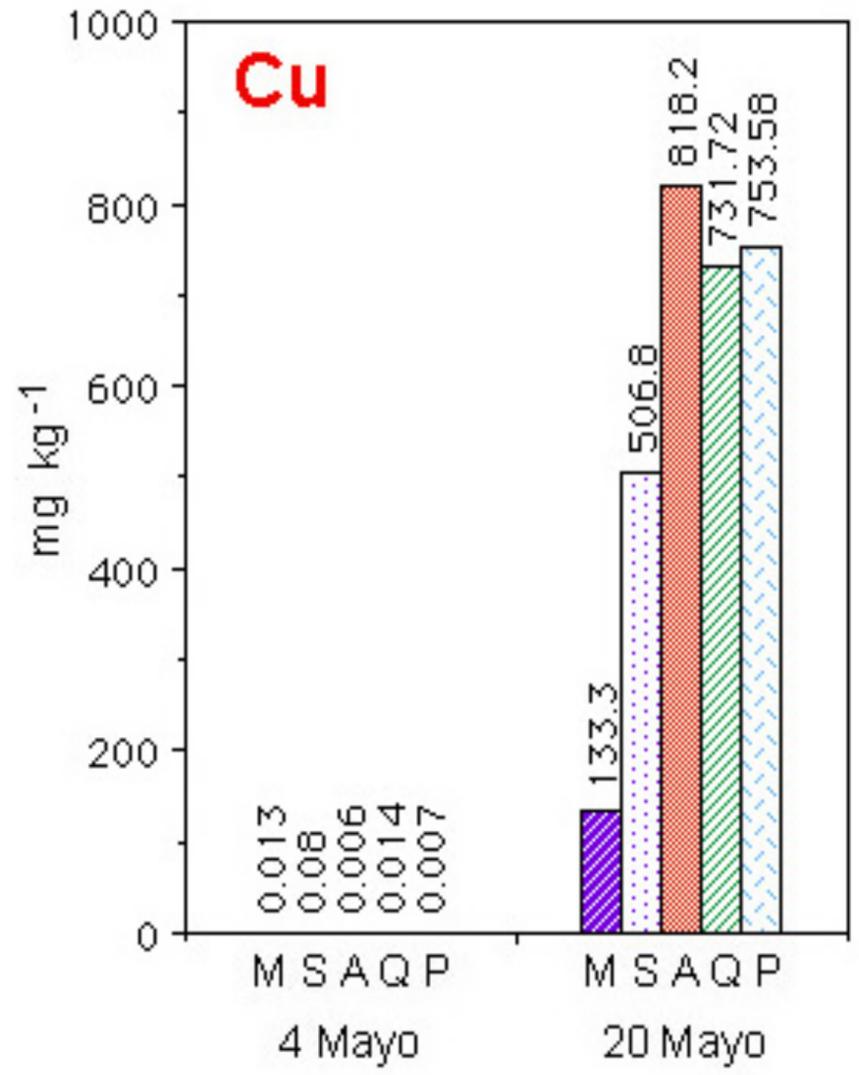
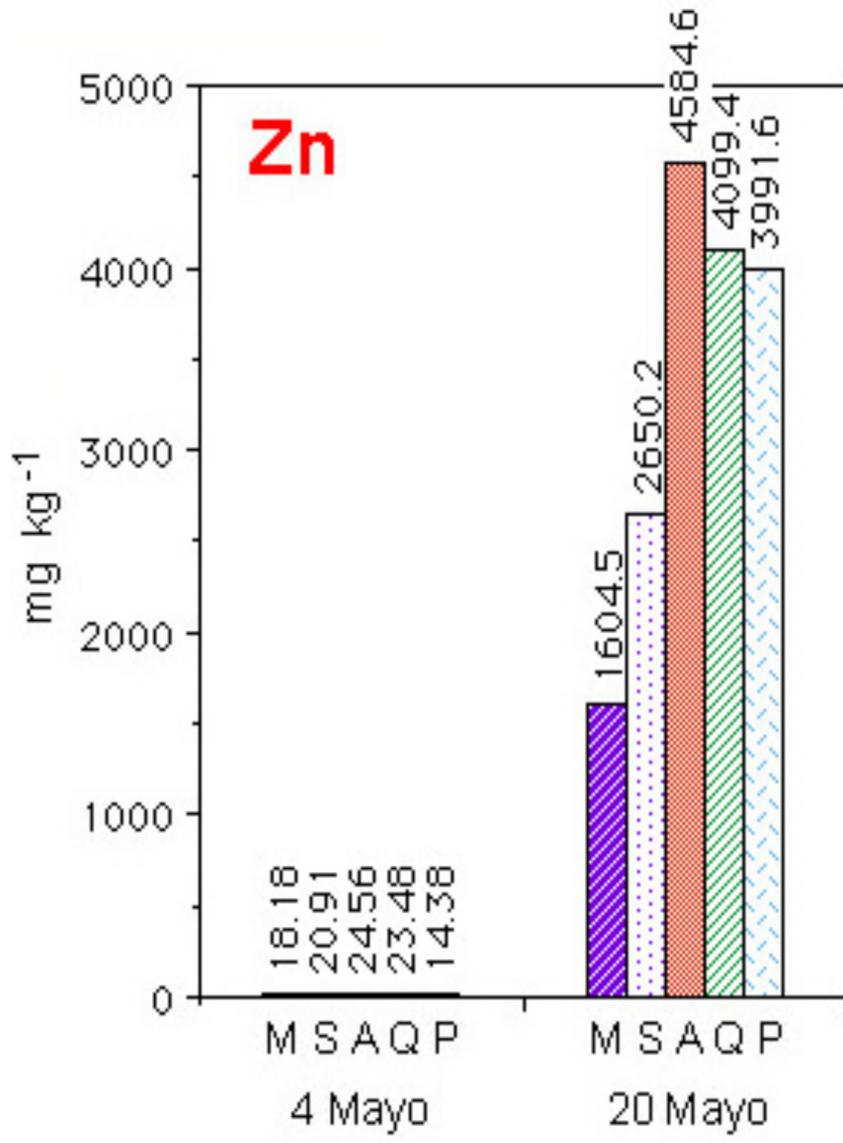
En definitiva los sulfuros pasan a sulfatos solubles. O sea, las partículas minerales se alteran, se descomponen, liberándose sus iones constituyentes como el As y los metales pesados que pasan a la solución.



Extractos solubles de los lodos

Puntos muestrales: M= Mina, S=Soberbina, A=Aznalcázar, Q=Vado del Quema, P=Pescante

Este proceso se comprobó ya en las muestras del segundo muestreo. A sólo 16 días del primer muestreo en los extractos solubles de los lodos se produce un fuerte incremento de los sulfatos (del orden de 10 a 30 veces, según los puntos muestrales), con una fuerte bajada del pH (de más de dos unidades) y se produce



Extractos solubles de los lodos

Puntos muestrales: M= Mina, S=Soberbina, A=Aznalcázar, Q=Vado del Quema, P=Pescante

un espectacular incremento en las concentraciones de metales en la solución de los lodos (por ejemplo el Zn que pasa desde una o dos decenas de mg/kg el 4 de mayo hasta 4.585 mg/kg en el perfil de Aznalcázar el 20 de mayo), y todo esto ocurría en una capa que estaba encima de los suelos.

Aznalcóllar, hoy.

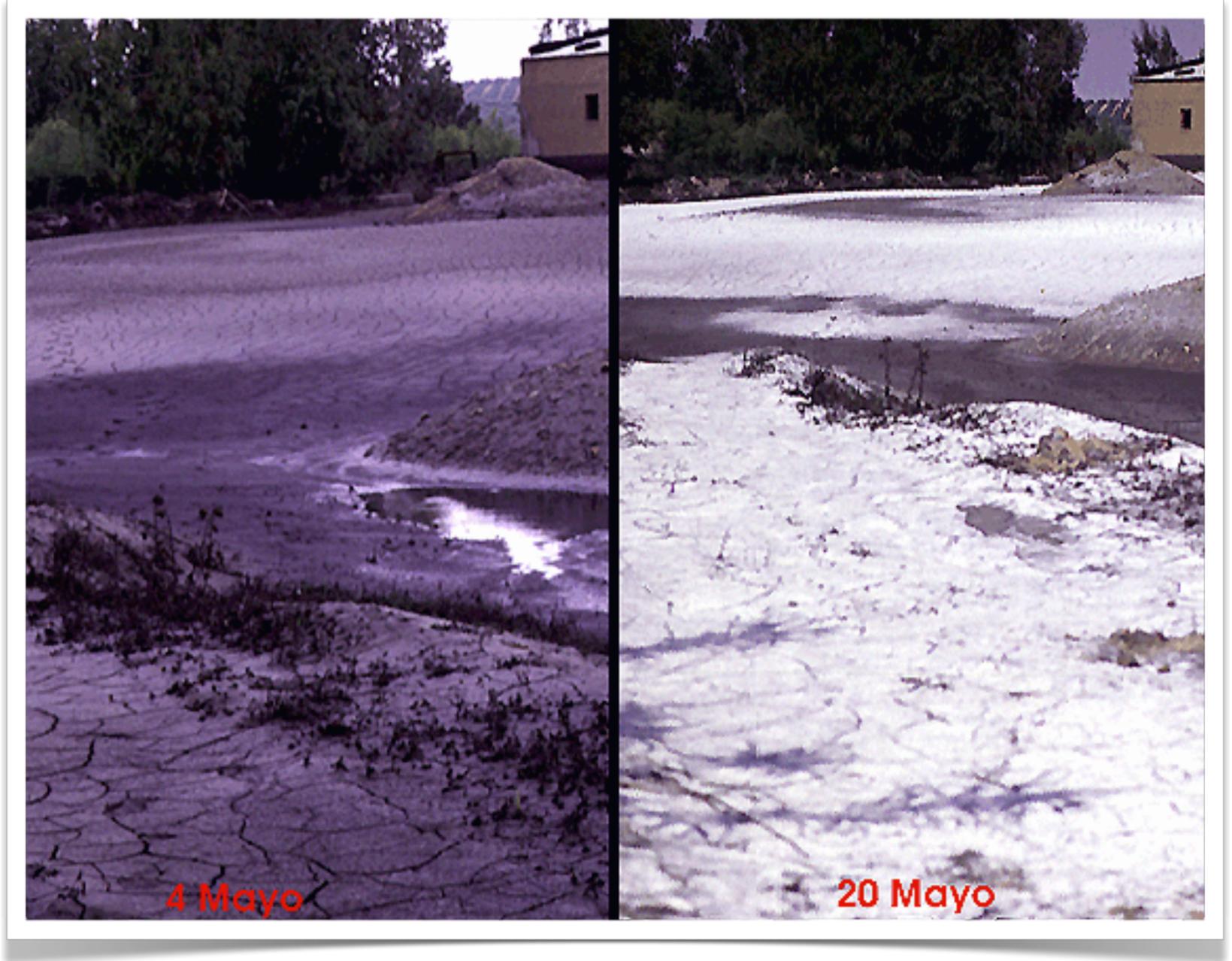
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Que en los lodos estaban ocurriendo cosas importantes lo comprobamos en seguida, en nuestra segunda visita. La superficie se había vuelto completamente blanca, como si se hubiese producido una nevada.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



En la superficie del suelo se formaron abundantes eflorescencias salinas

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



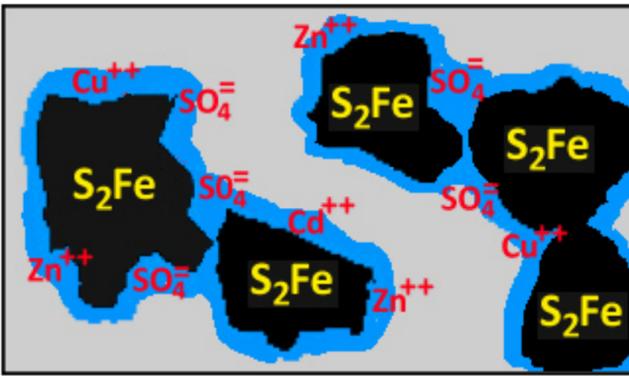
La solución de los lodos ascendía hacia la superficie y al evaporarse el agua precipitaban las sales.

Contaminación secundaria

Periodo seco

1ª Etapa, desecación, oxidación, disolución

Las sales disueltas quedan retenidas en los microporos de los lodos



Por otra parte, en el interior de los lodos al seguir desecándose, los sulfatos y los metales quedaban retenidos en los lodos en la solución que formaba delgadas películas de agua higroscópica y capilar.

Todo esto ocurría en el periodo seco, pero con la llegada de las primeras lluvias ...

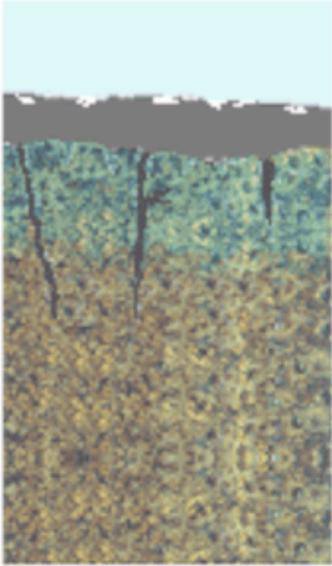
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Primero las sales depositadas en la superficie se disolvían y penetraban nuevamente dentro de los lodos,

Periodo húmedo

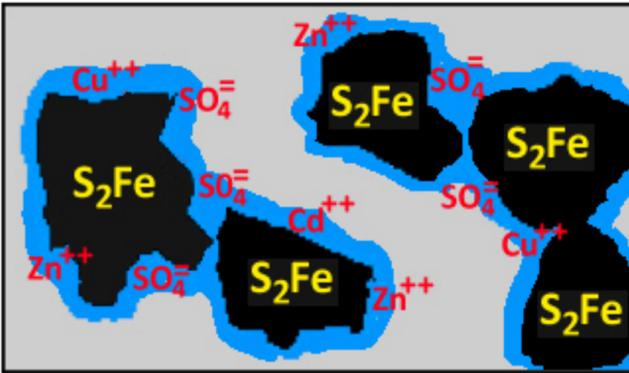


Contaminación secundaria

2ª Etapa. Contaminación.

Al llegar las lluvias se produce la infiltración de los metales pesados procedentes de la oxidación de los lodos.

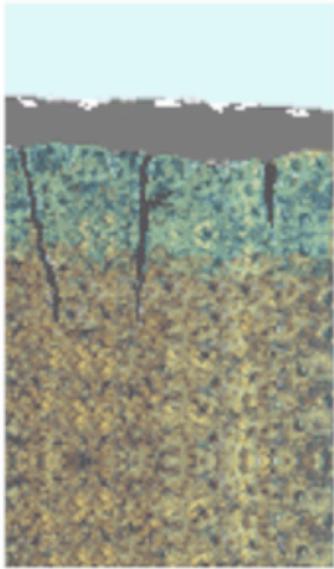
Las sales disueltas quedan retenidas en los microporos de los lodos



La capa de lodos se satura de agua de lluvia, este agua inunda los macroporos que carecen de capacidad de retención del agua, es en definitiva agua de gravedad que ya no puede ser retenida y se infiltran en el suelo produciendo una nueva contaminación, la contaminación secundaria, que podemos denominar como contaminación oxidativa.

Así, de esta manera los suelos resultan fuertemente contaminados, cada vez más, conforme va transcurriendo el tiempo y de aquí surge la necesidad imperiosa de retirar la capa de lodos que recubre a los suelos.

Periodo húmedo



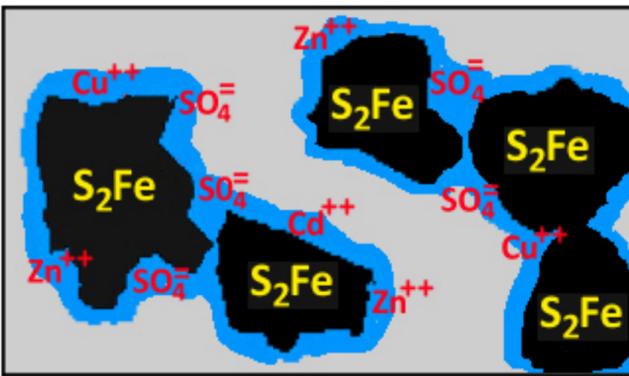
Contaminación secundaria

2ª Etapa. Contaminación.

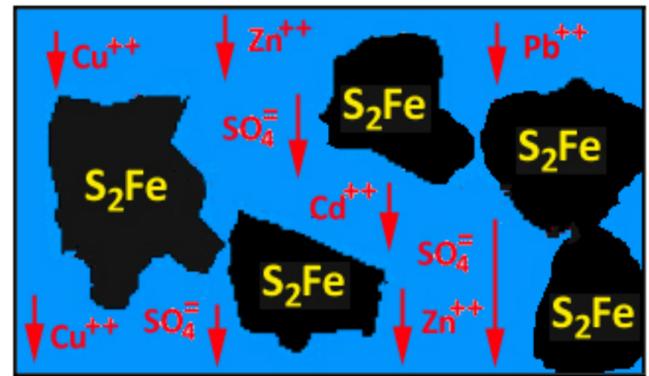
Al llegar las lluvias se produce la infiltración de los metales pesados procedentes de la oxidación de los lodos.

Las sales disueltas quedan retenidas en los microporos de los lodos

son arrastradas al interior del suelo



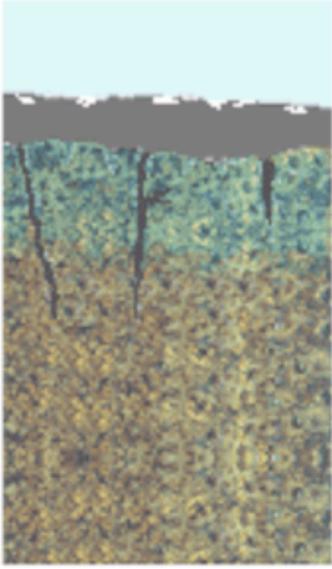
lluvias



La capa de lodos se satura de agua de lluvia, este agua inunda los macroporos que carecen de capacidad de retención del agua, es en definitiva agua de gravedad que ya no puede ser retenida y se infiltran en el suelo produciendo una nueva contaminación, la contaminación secundaria, que podemos denominar como contaminación oxidativa.

Así, de esta manera los suelos resultan fuertemente contaminados, cada vez más, conforme va transcurriendo el tiempo y de aquí surge la necesidad imperiosa de retirar la capa de lodos que recubre a los suelos.

Periodo húmedo



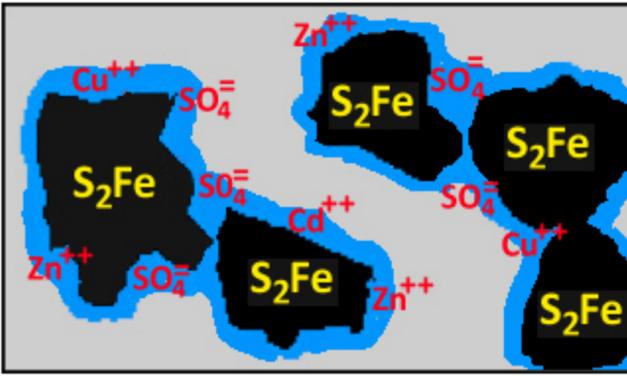
Contaminación secundaria

2ª Etapa. Contaminación.

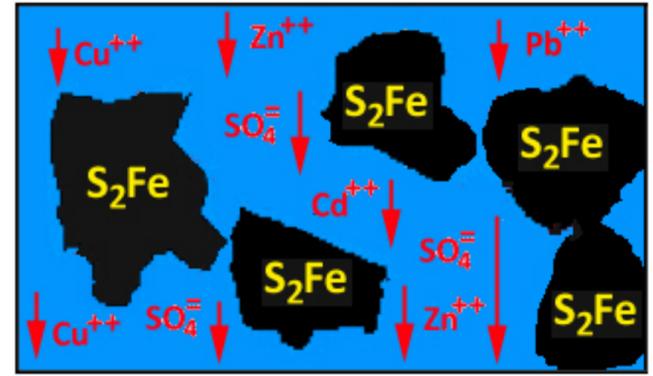
Al llegar las lluvias se produce la infiltración de los metales pesados procedentes de la oxidación de los lodos.

Las sales disueltas quedan retenidas en los microporos de los lodos

son arrastradas al interior del suelo



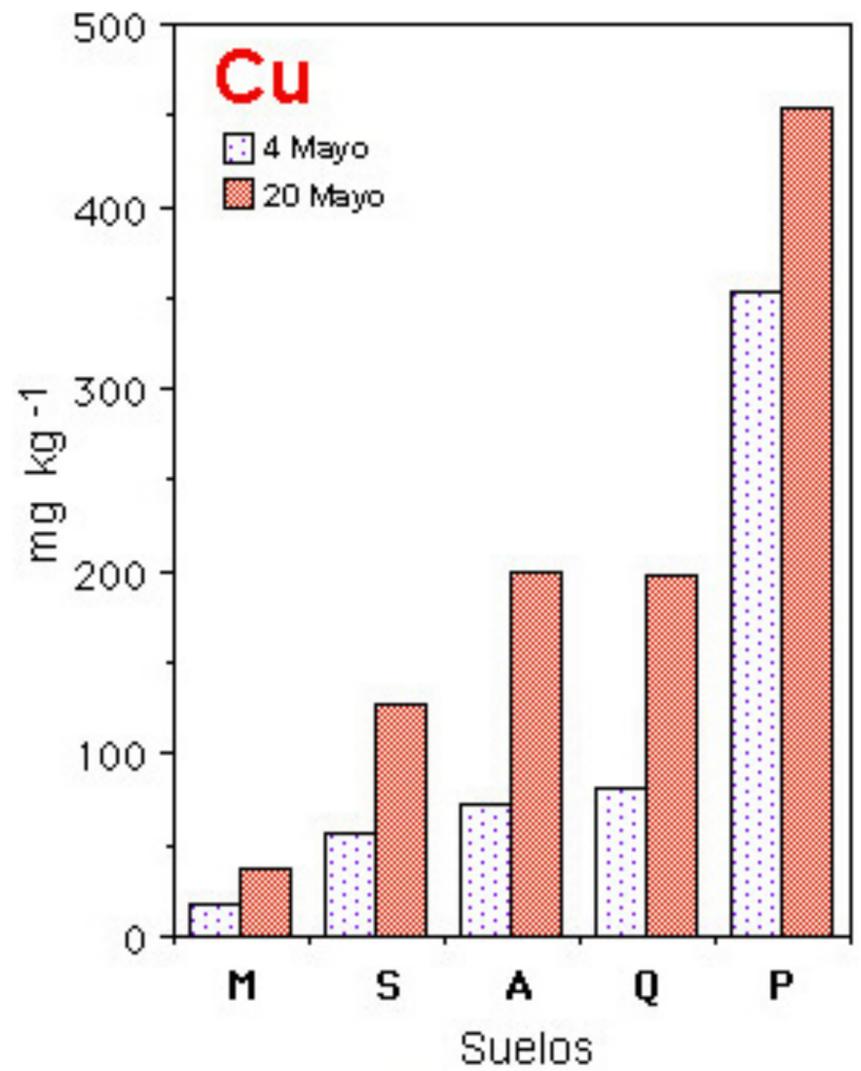
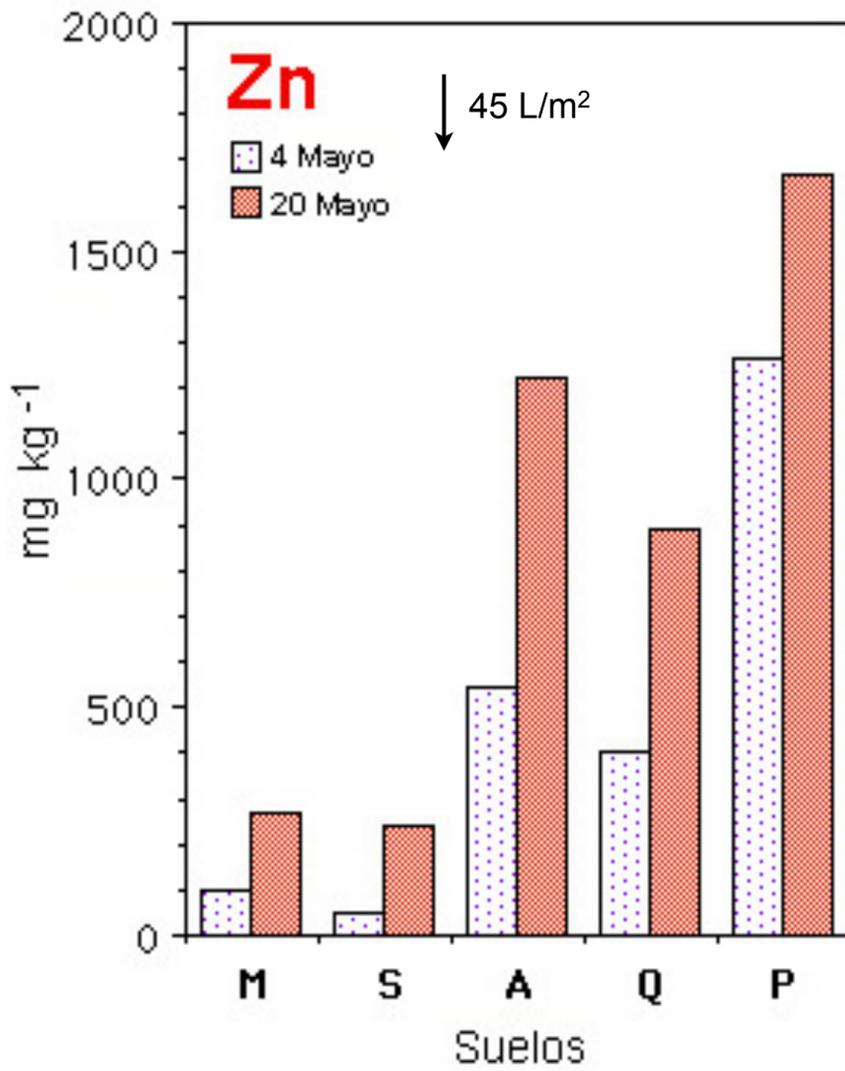
lluvias



Necesidad de retirar los lodos de la superficie del suelo

La capa de lodos se satura de agua de lluvia, este agua inunda los macroporos que carecen de capacidad de retención del agua, es en definitiva agua de gravedad que ya no puede ser retenida y se infiltran en el suelo produciendo una nueva contaminación, la contaminación secundaria, que podemos denominar como contaminación oxidativa.

Así, de esta manera los suelos resultan fuertemente contaminados, cada vez más, conforme va transcurriendo el tiempo y de aquí surge la necesidad imperiosa de retirar la capa de lodos que recubre a los suelos.



Suelos horiz. 0-10cm

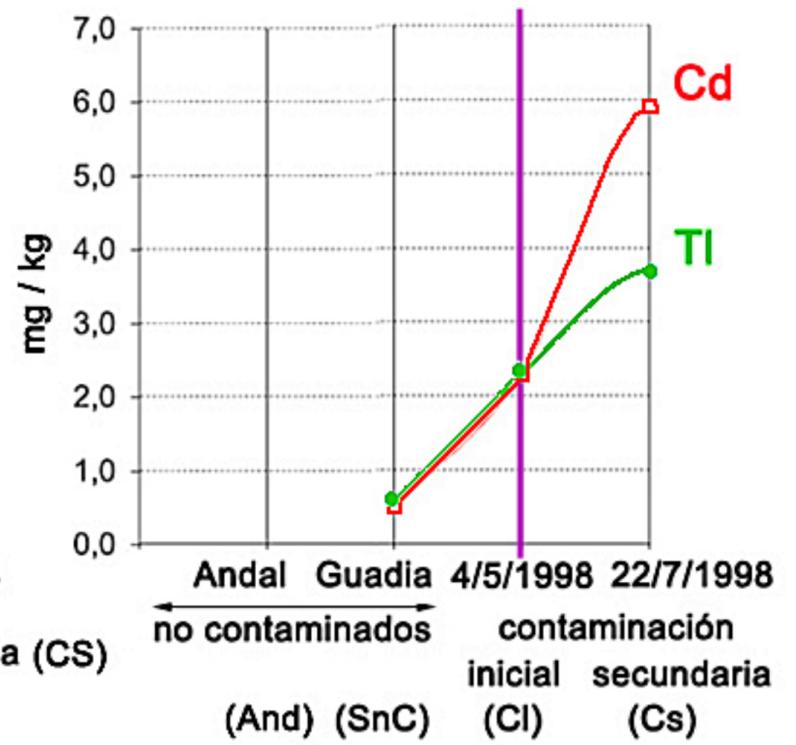
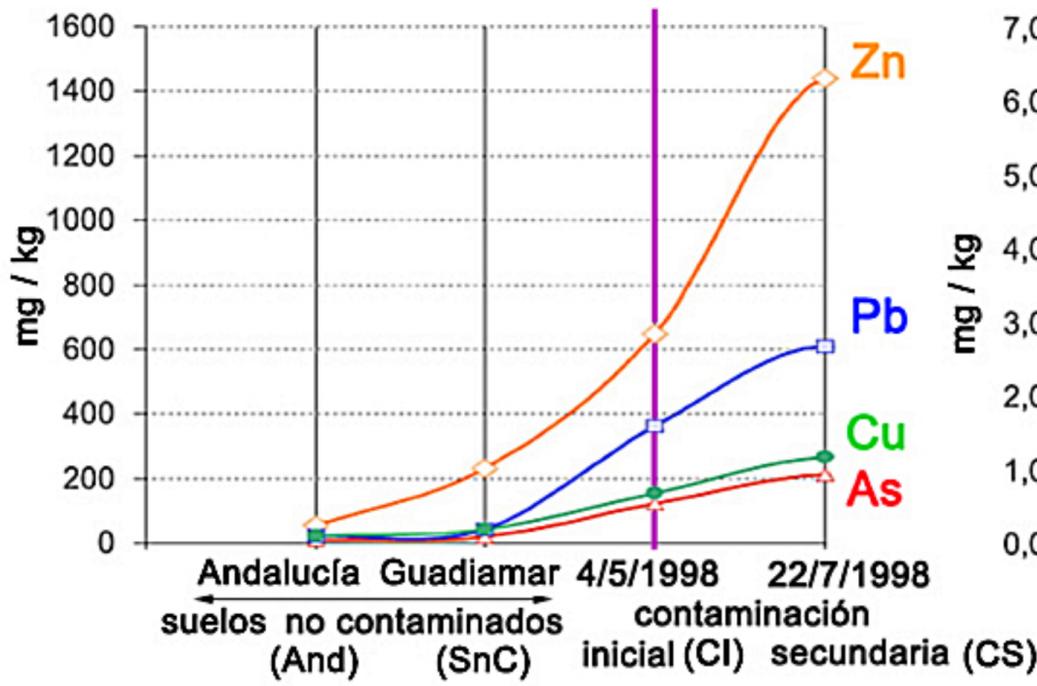
Puntos muestrales: M= Mina, S=Soberbina, A=Aznalcázar, Q=Vado del Quema, P=Pescante

Efectivamente, aquí mostramos como ya en el segundo muestreo, con unas lluvias en la zona de 45 L/m², los suelos (insisto estamos hablando ya de lo que ocurre en los suelos, no en los lodos como era el caso de las pantallas anteriores) pues bien, los suelos muestran fuertes incrementos, (los datos del primer muestreo en blanco y el segundo muestreo en rojo) aquí mostramos el caso del Zn y del Cu pero similar comportamiento lo presenta el resto de los contaminantes.



Aznaalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



	And	SnC	CI	CS
Zn	56	231	647	1.439
Pb	24	42	361	608
Cu	24	42	153	267
As	10	18	122	213

	SnC	CI	CS
Cd	0,5	2,3	5,9
Tl	0,6	2,3	3,7

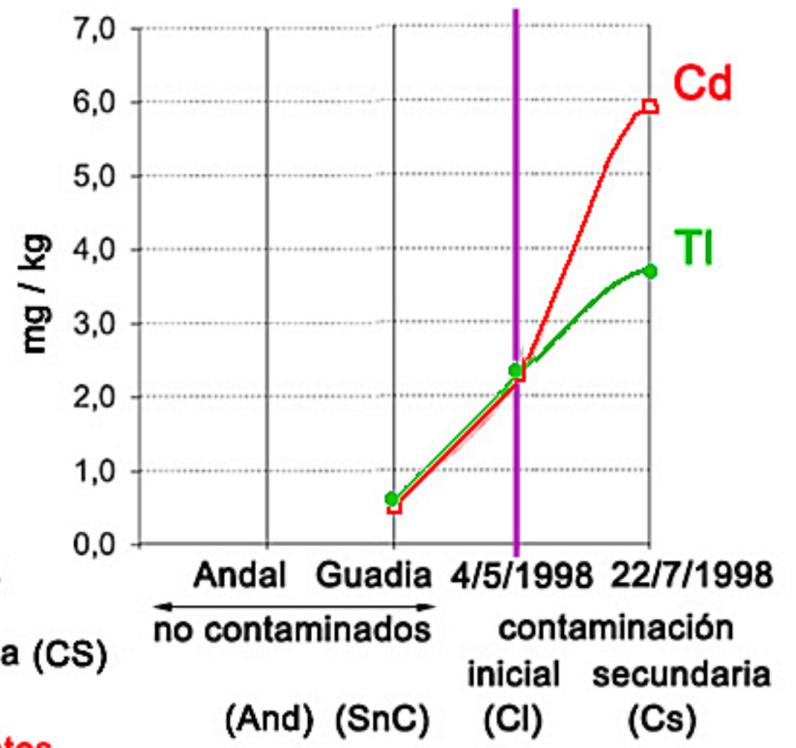
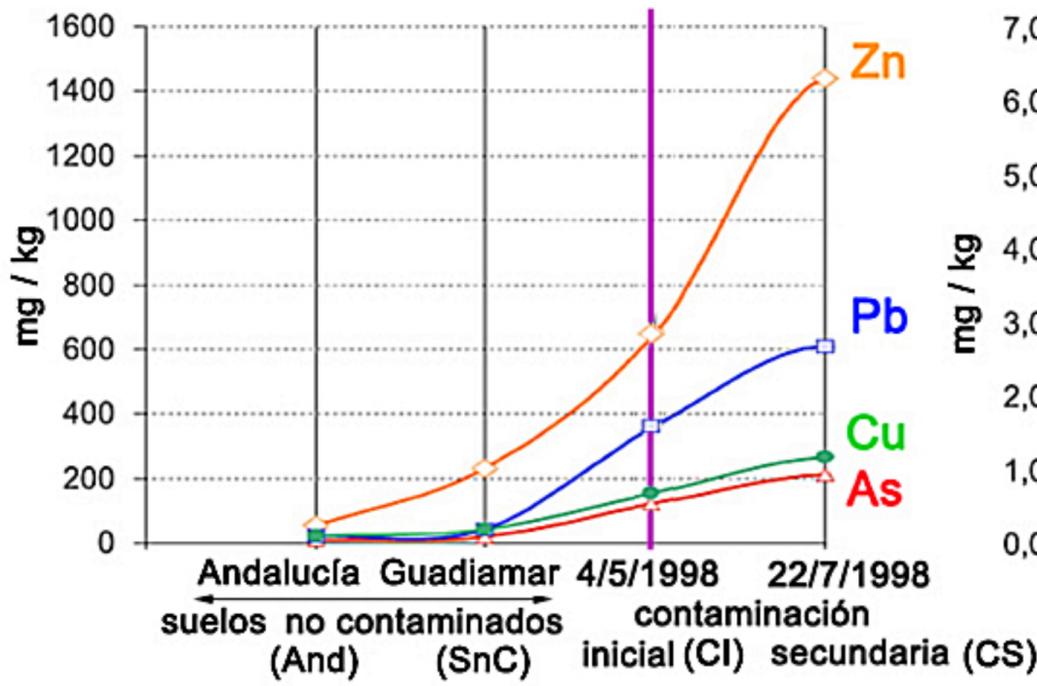
mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

Los valores medios de los suelos en su horizonte superficial resultantes de la contaminación secundaria, que podemos llamar contaminación oxidativa, al final de julio, transcurridos sólo tres meses, son muy altos.



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



	And	SnC	CI	CS	Incrementos
Zn	56	231	647	1.439	122%
Pb	24	42	361	608	68%
Cu	24	42	153	267	75%
As	10	18	122	213	75%

	SnC	CI	CS	Incrementos
Cd	0,5	2,3	5,9	159%
Tl	0,6	2,3	3,7	61%

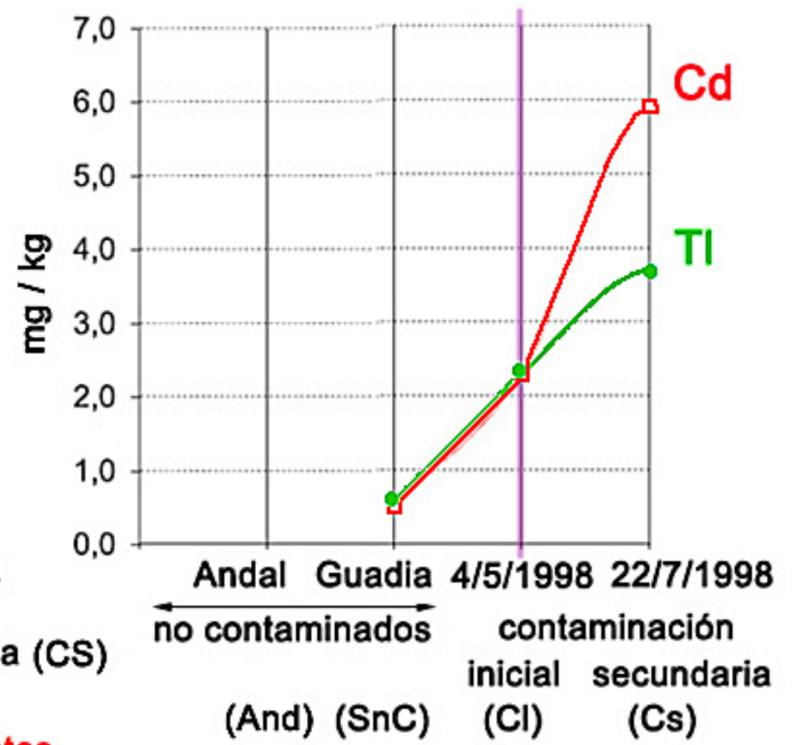
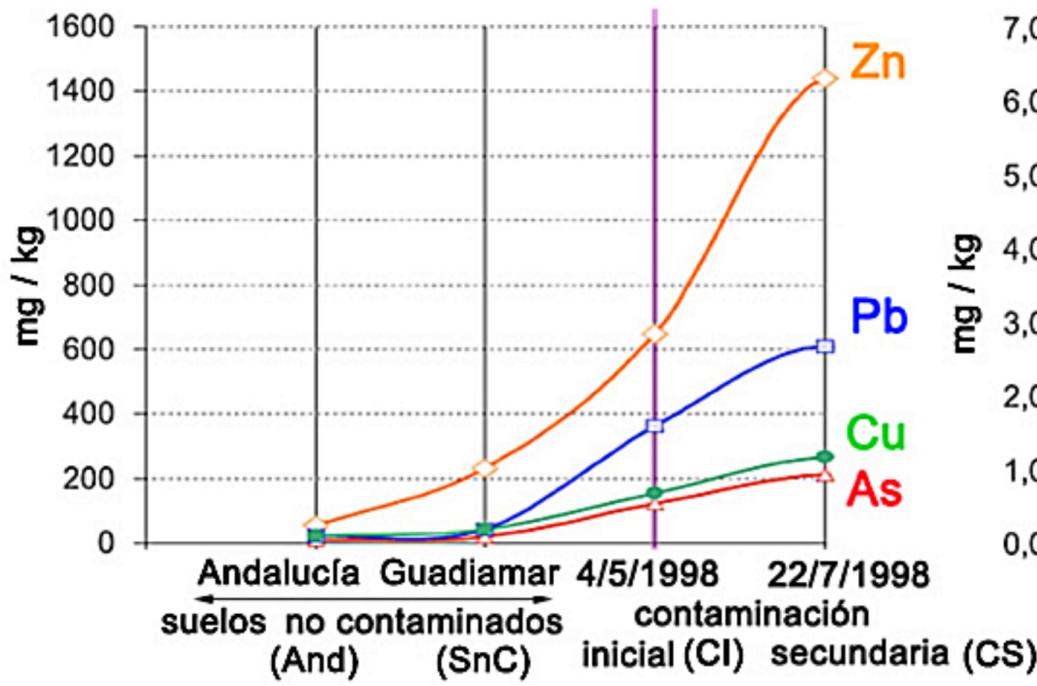
mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

con incrementos mínimos del 68% para el Pb y hasta unos máximos del 159% para el Cd, con respecto a las concentraciones de la contaminación inicial



Aznaalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



	And	SnC	CI	CS	Incrementos
Zn	56	231	647	1.439	122% 524%
Pb	24	42	361	608	68% 1.355%
Cu	24	42	153	267	75% 566%
As	10	18	122	213	75% 1.778%

	SnC	CI	CS	Incrementos
Cd	0,5	2,3	5,9	159% 1.080%
Tl	0,6	2,3	3,7	61% 517%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

y que alcanzan valores extremos si se comparan con las concentraciones presentes en los suelos antes del vertido, con incrementos totales de hasta el 1.778%, caso del As, y todo esto sólo han transcurrido tres meses del vertido.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

• 3 La rehabilitación

Ante esta situación había que intervenir para rehabilitar la zona, lo primero que había que hacer estaba claro: ¡la retirada de la capa de lodos que recubría los suelos! y además había que hacerlo lo más rápidamente posible ya que a la luz de los resultados aquella capa de lodos representaba una auténtica bomba de relojería. Y así se le comunicó a la Junta de Andalucía y así lo hizo la Junta.

• 3 La rehabilitación

Primera medida: retirada de la capa de lodos, 1998

Ante esta situación había que intervenir para rehabilitar la zona, lo primero que había que hacer estaba claro: ¡la retirada de la capa de lodos que recubría los suelos! y además había que hacerlo lo más rápidamente posible ya que a la luz de los resultados aquella capa de lodos representaba una auténtica bomba de relojería. Y así se le comunicó a la Junta de Andalucía y así lo hizo la Junta.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Así nos encontramos la zona a los 10 días del vertido

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Y así quedo toda la zona seis meses después, con los lodos retirados.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Y así quedo toda la zona seis meses después, con los lodos retirados.



Realmente se realizó una labor faraónica y en un tiempo record.

Se movieron más de 7 millones de metros cúbicos de lodos y suelos. Y se calcula que los camiones que transportaron los lodos pudieron dar 350 vueltas a la Tierra.

dumper grande 25 m³ = 280.000 portes; una hilera de 1.960 km;

cada porte una media de 50km de ida y vuelta; 280000 x 50 = 14.000.000 km;

circunferencia de la tierra 40.000 km; **350 vueltas a la tierra**

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Fuente: WWF/Adena



Los lodos con la capa superficial de los suelos se llevaron a la antigua corta, que se relleno en gran medida.

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro



Además el paso de vehículos sobre un suelo con su estructura degradada, levantaba los contaminantes ...

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



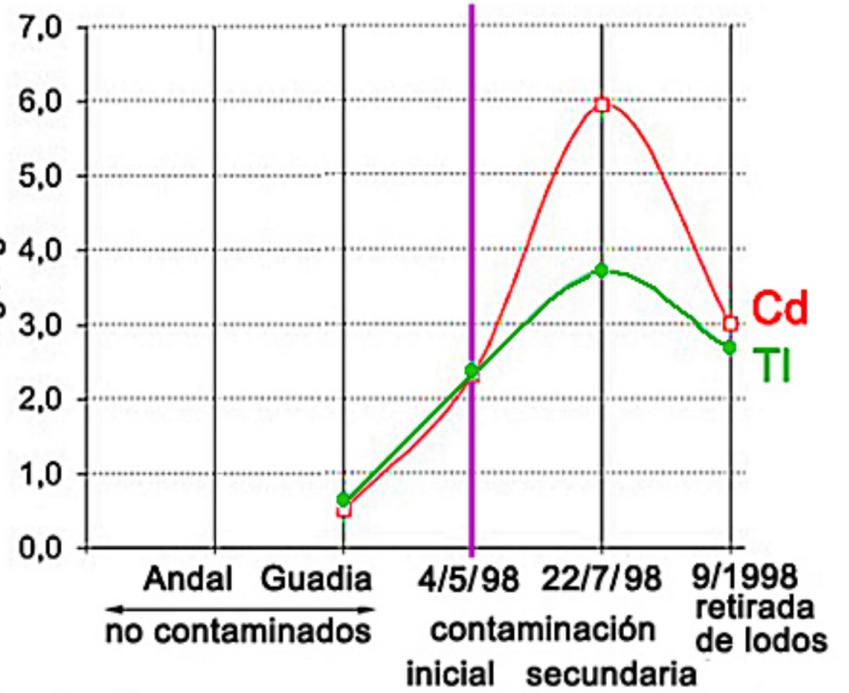
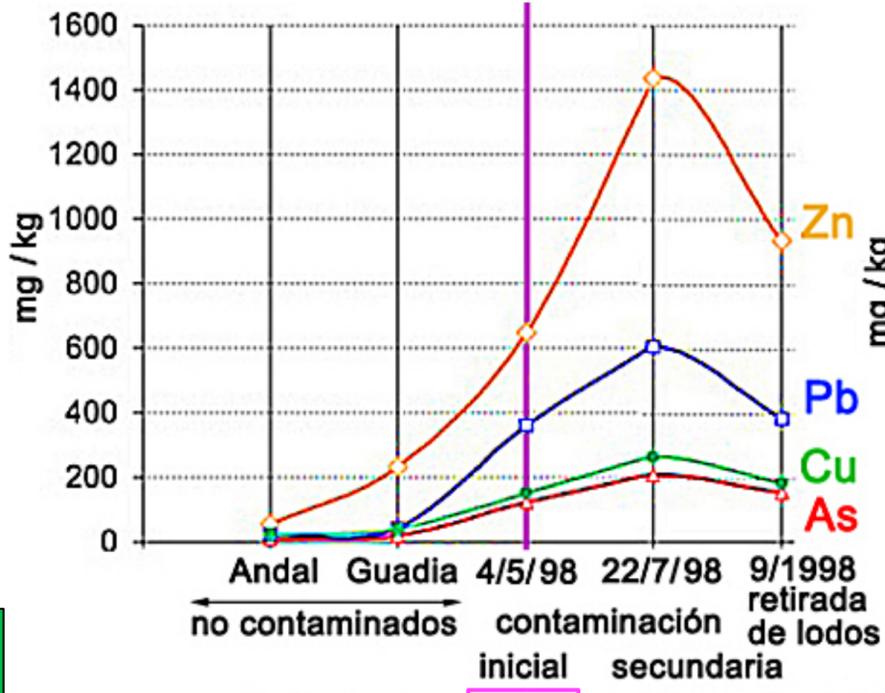
Y desde las balsas secas se producía un contaminación eólica muy fuerte.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Y desde las balsas secas se producía un contaminación eólica muy fuerte.

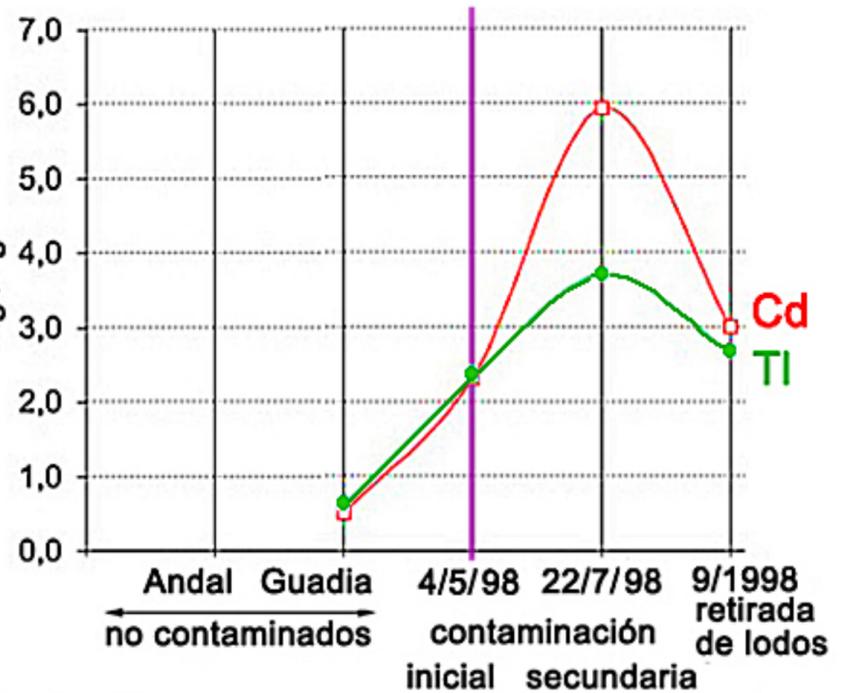
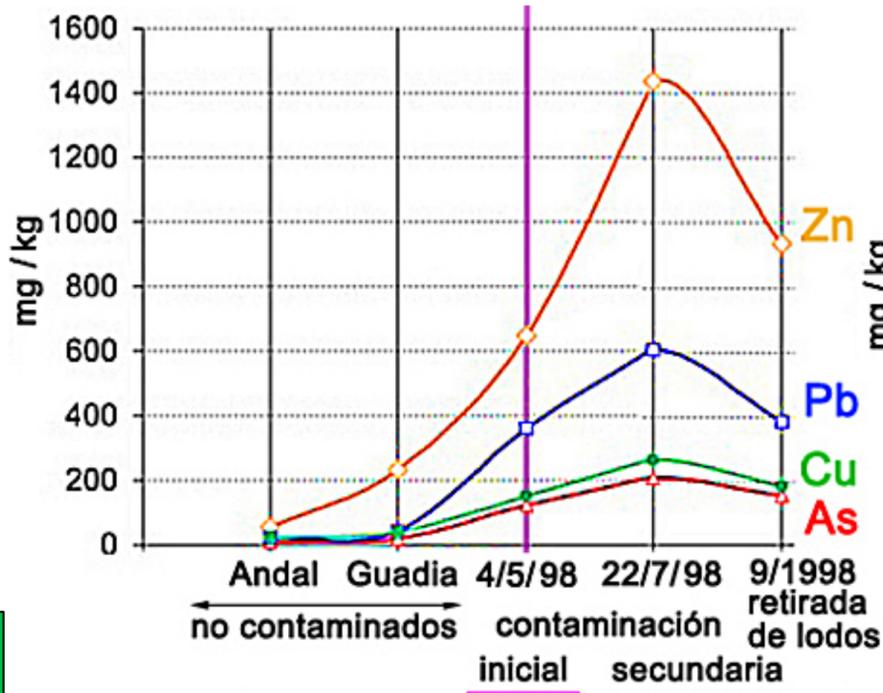


	And	SnC	CI	CS	RetL
Zn	56	231	647	1.439	938
Pb	24	42	361	608	386
Cu	24	42	153	267	188
As	10	18	122	213	157

	SnC	CI	CS	RetL
Cd	0,5	2,3	5,9	3,0
Tl	0,6	2,3	3,7	2,7

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

Bueno, con la retirada de los lodos la contaminación se redujo sensiblemente.



	And	SnC	CI	CS	RetL	Disminución	Incremento
Zn	56	231	647	1.439	938	35%	45%
Pb	24	42	361	608	386	37%	7%
Cu	24	42	153	267	188	30%	23%
As	10	18	122	213	157	26%	30%

	SnC	CI	CS	RetL	Disminución	Incremento
Cd	0,5	2,3	5,9	3,0	49%	30%
TI	0,6	2,3	3,7	2,7	27%	17%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

Después de retirar varios millones de metros cúbicos de lodos y suelos y gastar más de 200 millones de euros, todavía las concentraciones estaban por encima de los correspondientes valores de la contaminación inicial. ¡Sólo se había rebajado la contaminación secundaria de un 7 a un 45%. ¡Había que seguir trabajando!

3. La rehabilitación de la zona

Primera medida: retirada de la capa de lodos, 1998

En los años siguientes, durante el 1999 y 2000 se llevaron a cabo una serie de medidas enmendantes.

3. La rehabilitación de la zona

Primera medida: retirada de la capa de lodos, 1998

Medidas complementarias, 1999-2000

En los años siguientes, durante el 1999 y 2000 se llevaron a cabo una serie de medidas enmendantes.

Aznalcóllar, hoy.

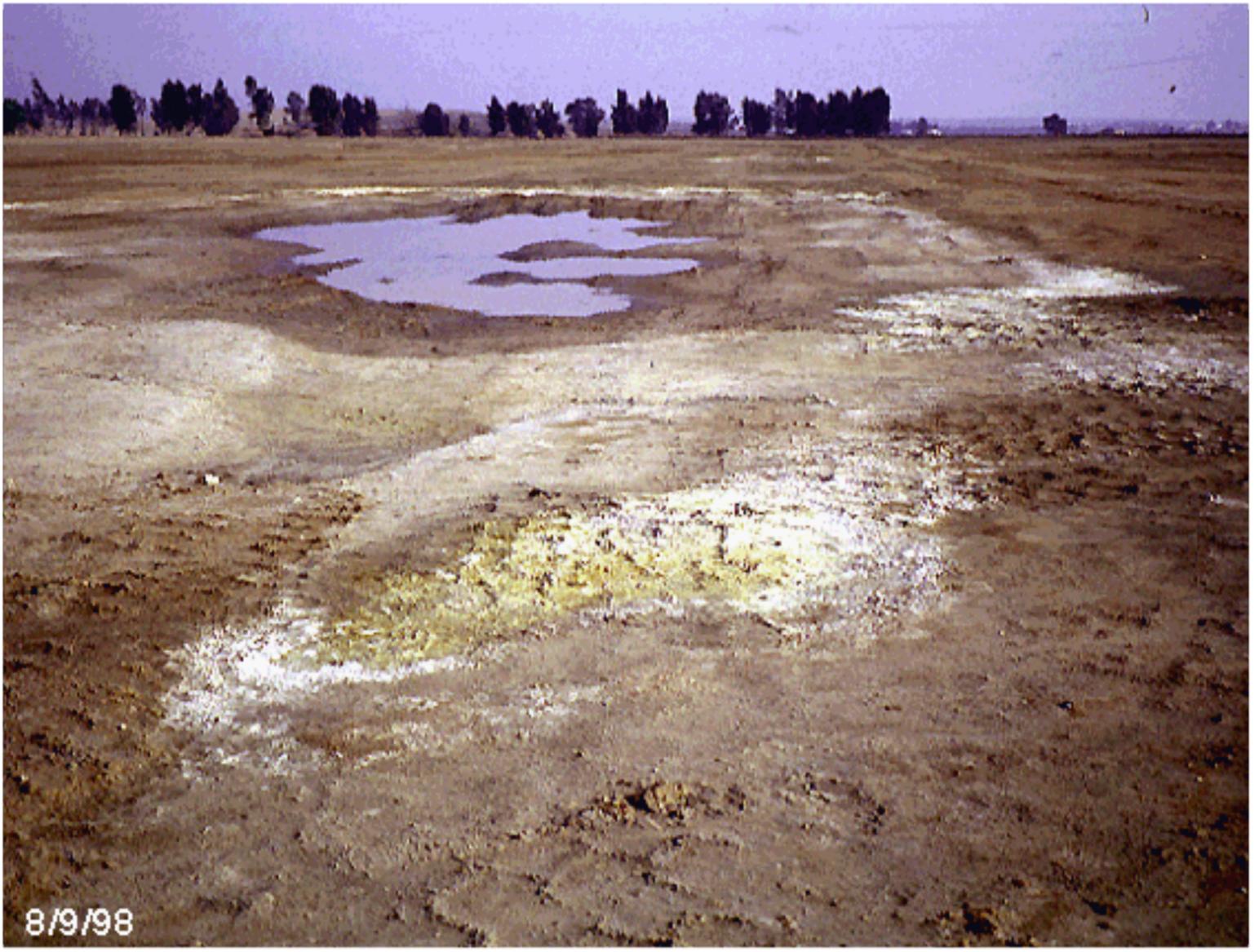
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Que la zona no había quedado totalmente limpia después de la retirada de los lodos, lo pudimos comprobar directamente en el campo. En julio así estaba esta zona y

Aznalcóllar, hoy.

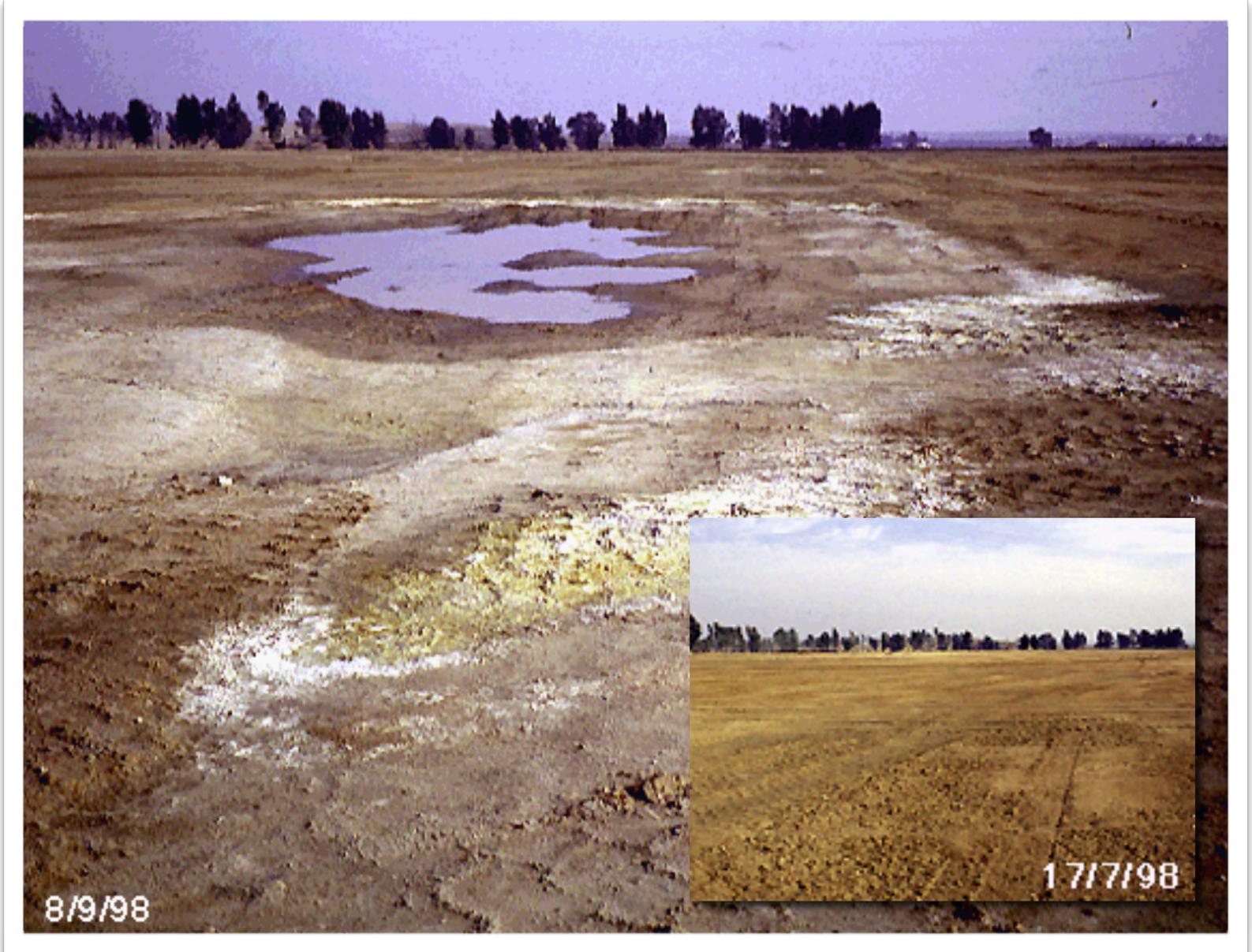
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



tan sólo dos meses después ofrecía este aspecto.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



tan sólo dos meses después ofrecía este aspecto.

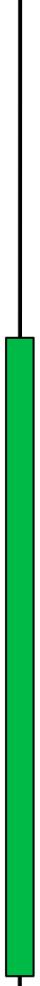
Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

1 Revisar la limpieza

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Lo primero que se hizo fue relimpiar las zonas que habían quedado más contaminadas y se consiguió rebajar bastante la contaminación aunque no lo suficiente (la concentración media seguía por encima del NI).

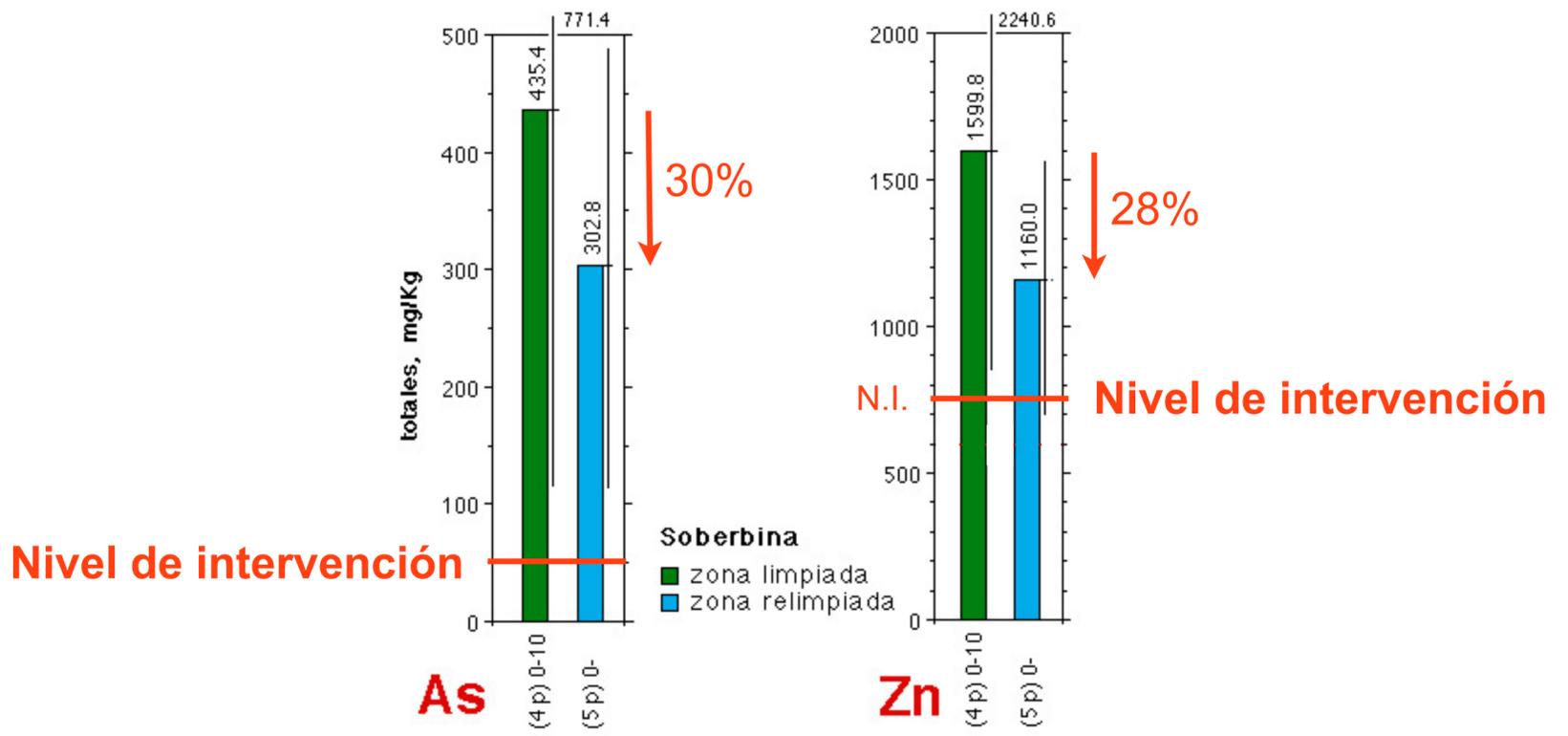
Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

1 Revisar la limpieza

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Lo primero que se hizo fue relimpiar las zonas que habían quedado más contaminadas y se consiguió rebajar bastante la contaminación aunque no lo suficiente (la concentración media seguía por encima del NI).



Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

1 Revisar la limpieza

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro



Para seguir eliminado contaminantes se pensó en la fitorremediación.
Se pensó, en un primer momento, importar plantas de Africa de probado poder de asimilación de As y metales, pero se desechó por la dificultad de su aclimatación y se optó por plantar plantas autóctonas

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Para seguir eliminado contaminantes se pensó en la fitorremediación.
Se pensó, en un primer momento, importar plantas de Africa de probado poder de asimilación de As y metales, pero se desechó por la dificultad de su aclimatación y se optó por plantar plantas autóctonas



y así se hizo, pero las parcelas de experimentación fracasaron; el desarrollo de las plantas fue escaso, muchas no germinaron, otras se secaron y la absorción final de metales en la parcela fue muy escasa. Por todo ello la experiencia se abandonó.

Medidas complementarias

Objetivos

A) Disminución de las concentraciones

Luego se pensó que si no se podía eliminar más contaminantes se buscó en, al menos, inmovilizarlos, para no fueran bioasimilables.

Medidas complementarias

Objetivos

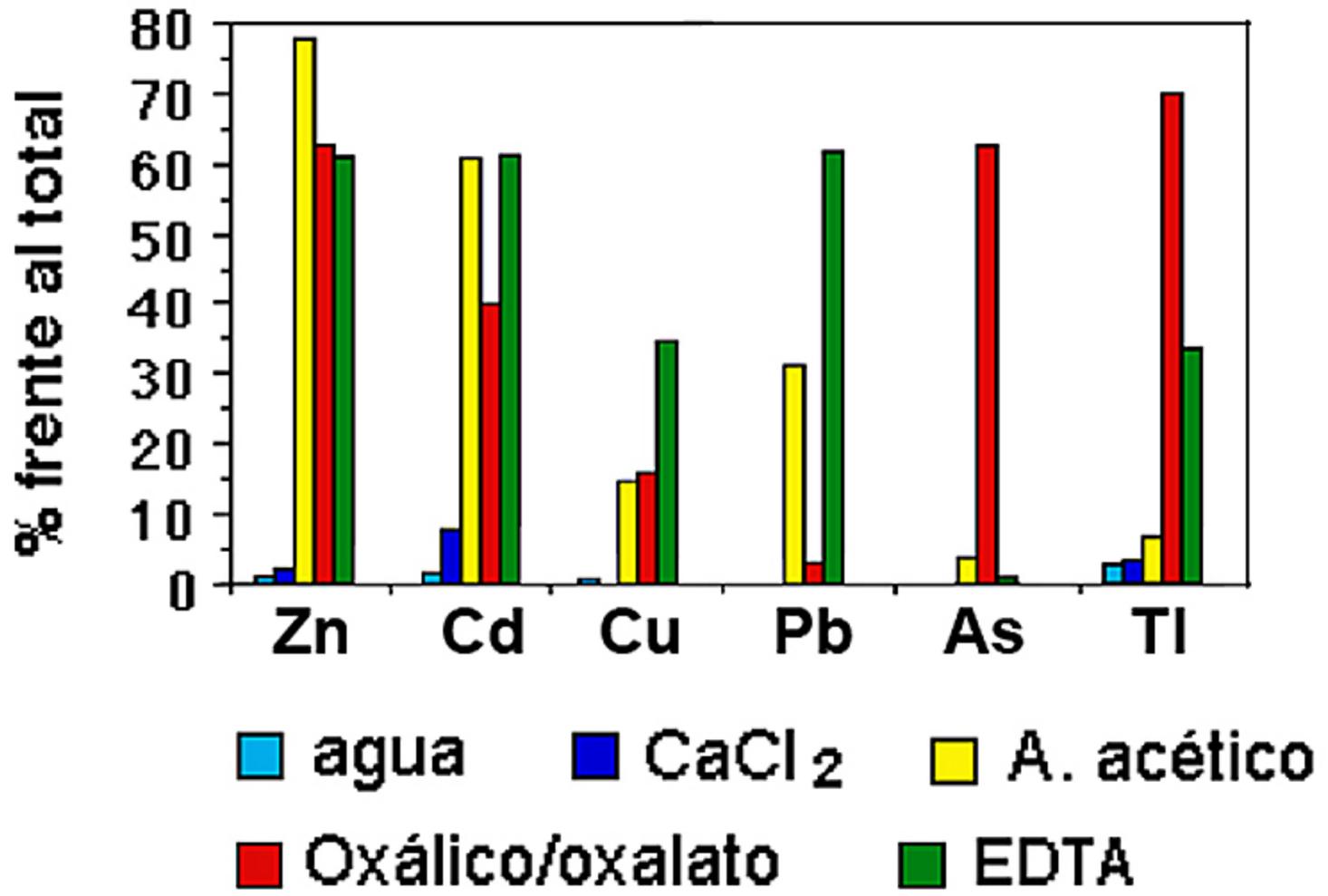
A) Disminución de las concentraciones

B) Inmovilización de los contaminantes

Fraccionamiento de los metales pesados

Aznaalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



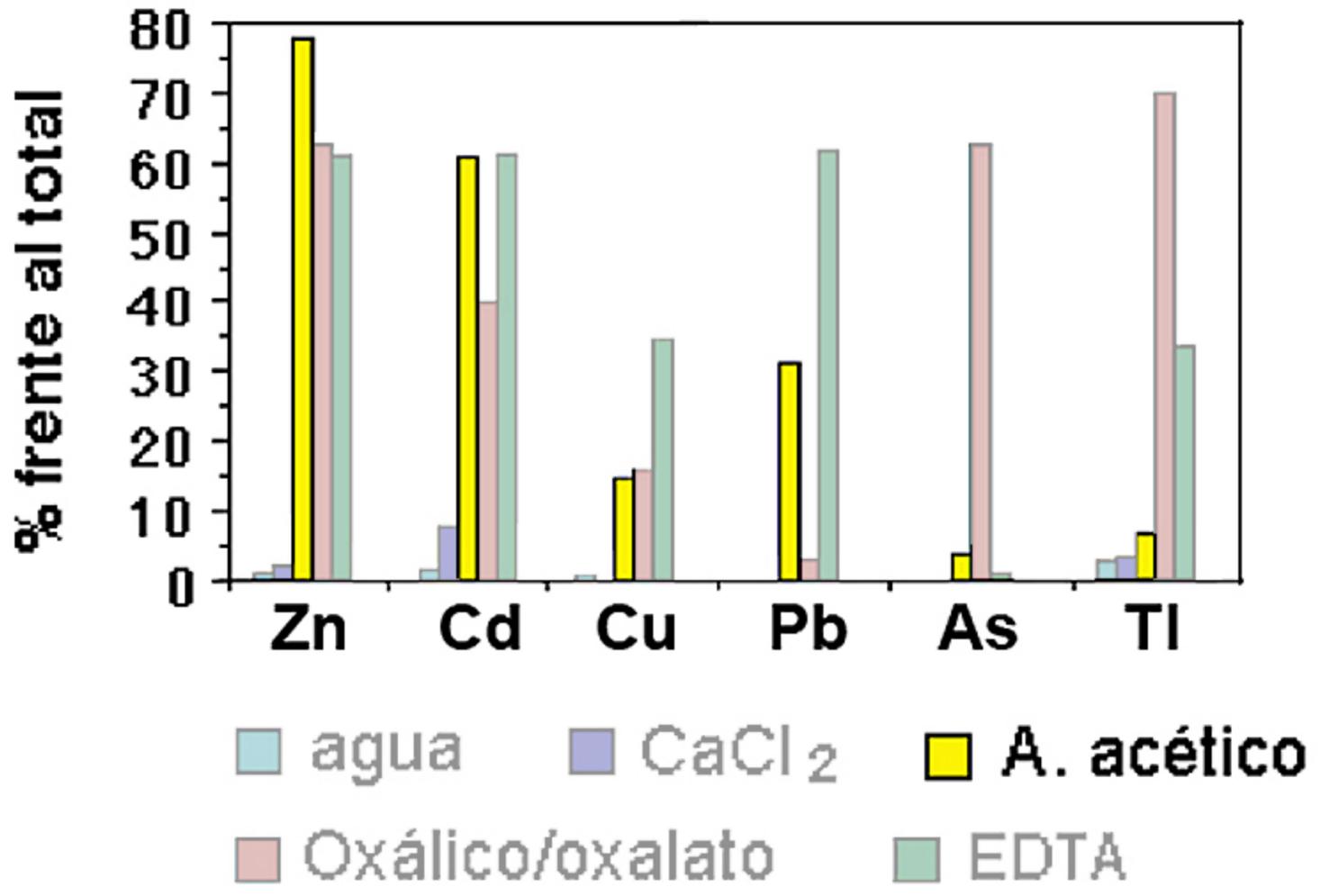
Para ello lo primero que se hizo fue determinar como de móviles se encontraban y a que constituyentes del suelo mostraban más afinidad, para lo cual se realizó una serie de extracciones a las muestras de suelos con diversos agentes: agua para los solubles, cloruro cálcico para los metales adsorbidos en el complejo de cambio, ácido acético para conocer los contaminantes ocluidos con los carbonatos, oxalato-oxálico para los fijados por los compuestos de Fe, y para englobar a todos los que se presentaban en fase asimilable por las plantas se utilizó el EDTA.

EDTA = Acido etilendiaminotetraacético

Fraccionamiento de los metales pesados

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Los resultados mostraron una fuerte asimilación de muchos metales, concretamente Zn, Cd, Cu y Pb con los carbonatos

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Y estos fueron los primeros agentes bloqueantes añadidos

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

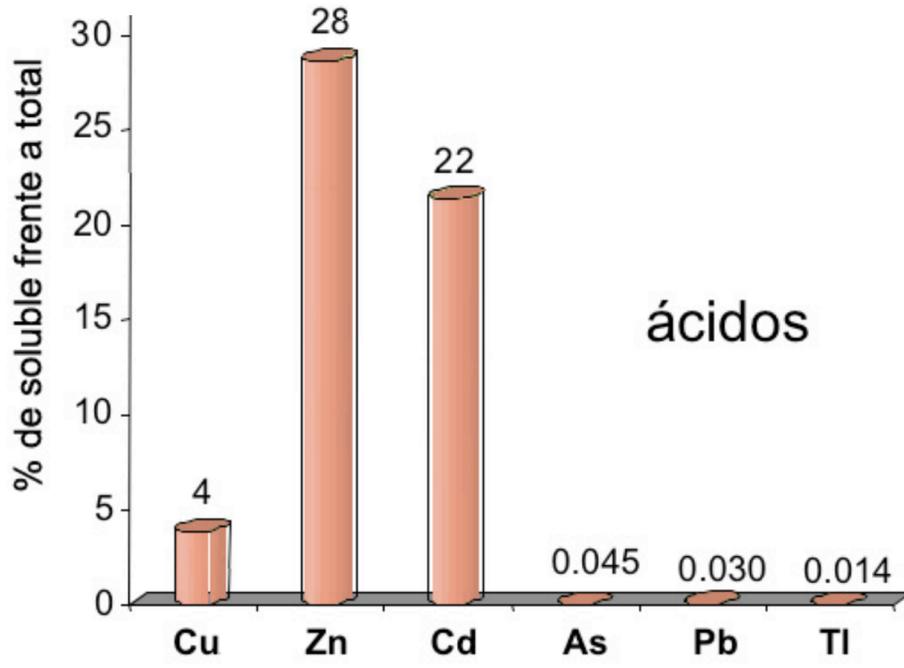
3 Adición de carbonatos

Y estos fueron los primeros agentes bloqueantes añadidos

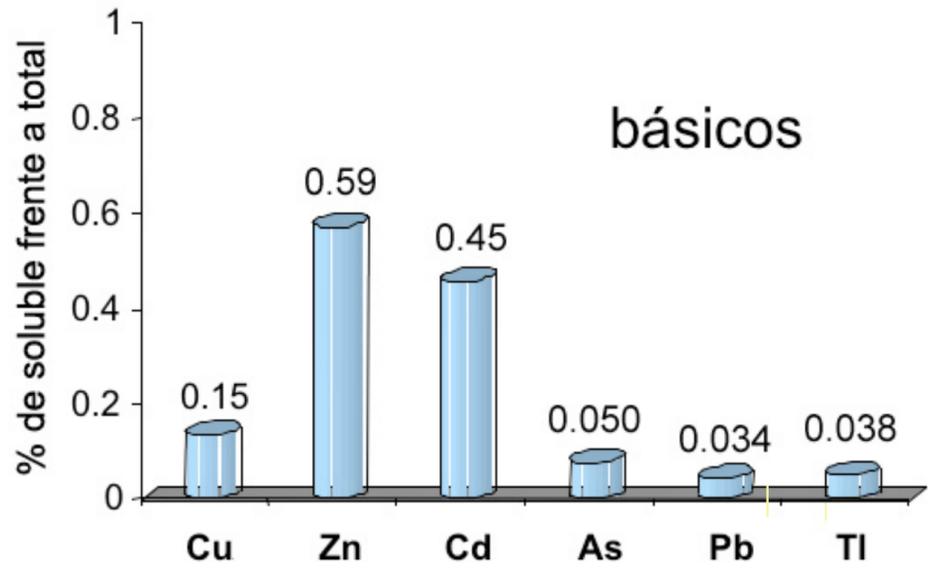


Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro



**Solubles
frente a
totales**



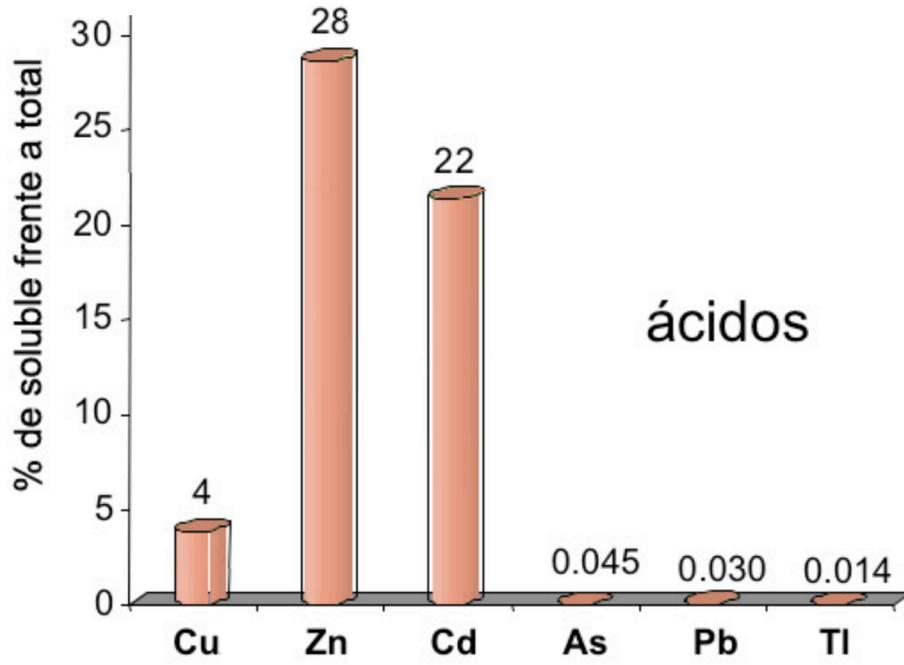
Además con los carbonatos se podía neutralizar la acidez y conseguir la inmovilización de muchos metales que eran mucho más móviles en los suelos ácidos frente a los básicos, como se observa en estas gráficas en las que se compara el porcentaje del elemento traza soluble frente al total en los suelos ácidos y básicos. Por ejemplo, soluble el 28 y 22% para Zn y Cd en los ácidos que baja o menos del 1% en los básicos.



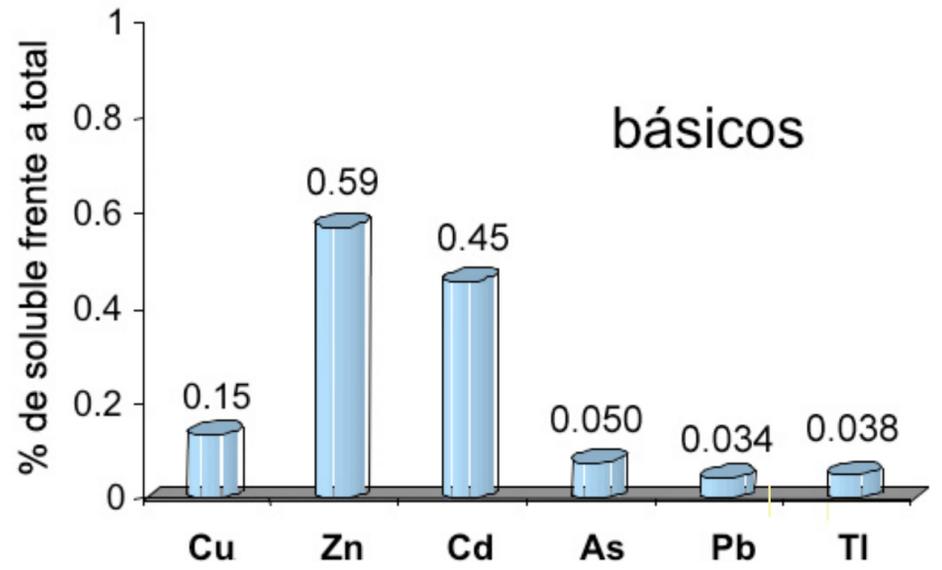
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Solubles frente a totales



ácidos



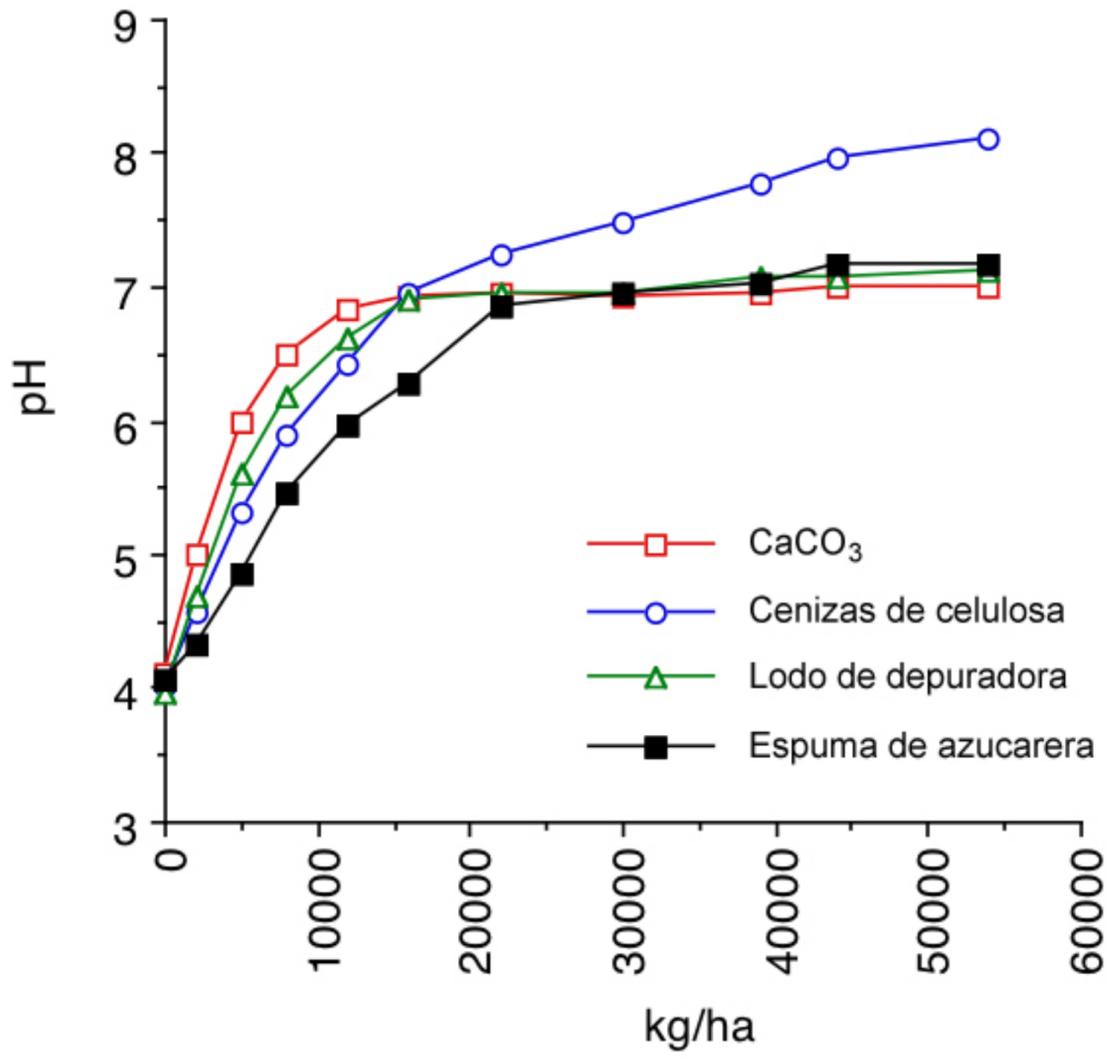
básicos

x27 x47 x49

Además con los carbonatos se podía neutralizar la acidez y conseguir la inmovilización de muchos metales que eran mucho más móviles en los suelos ácidos frente a los básicos, como se observa en estas gráficas en las que se compara el porcentaje del elemento traza soluble frente al total en los suelos ácidos y básicos. Por ejemplo, soluble el 28 y 22% para Zn y Cd en los ácidos que baja o menos del 1% en los básicos.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Para calcular la cantidad de agente encalante a añadir se hizo una valoración en el laboratorio del poder neutralizante de la acidez de varios materiales encalantes como:

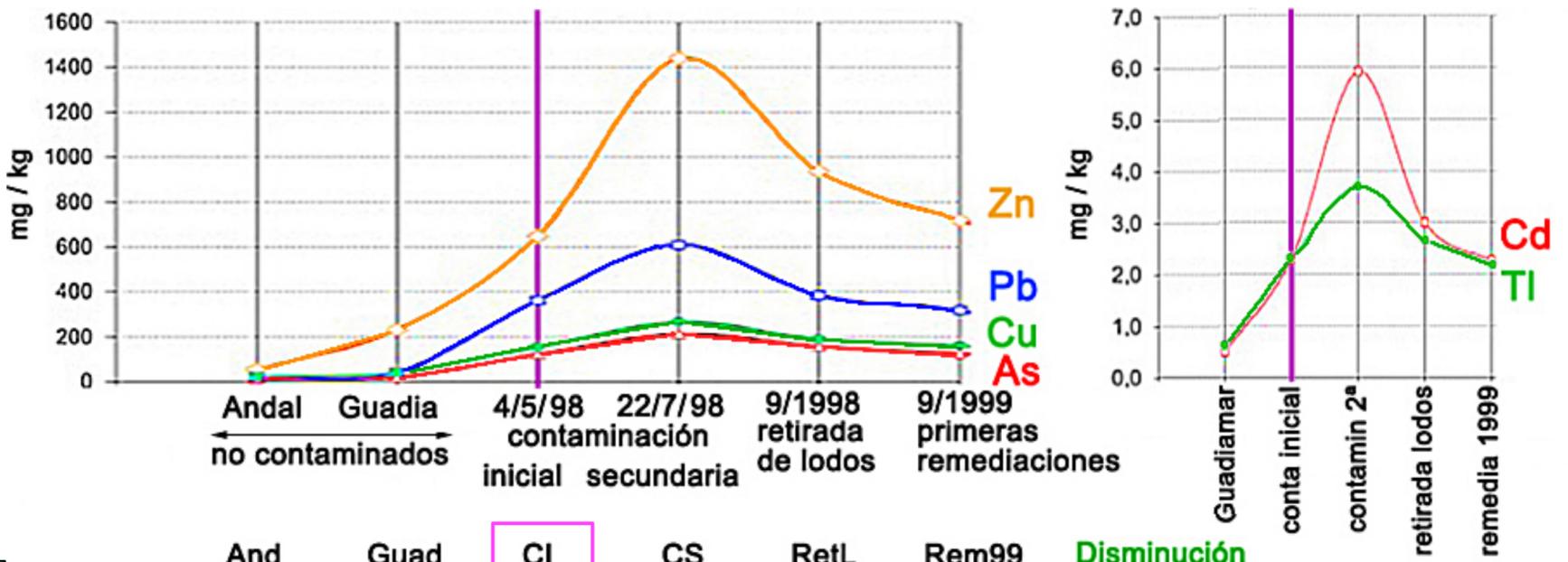
Tras estos resultados la Junta de Andalucía eligió la espuma de la industria azucarera en unas concentraciones de 20.000 Kg/ha.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



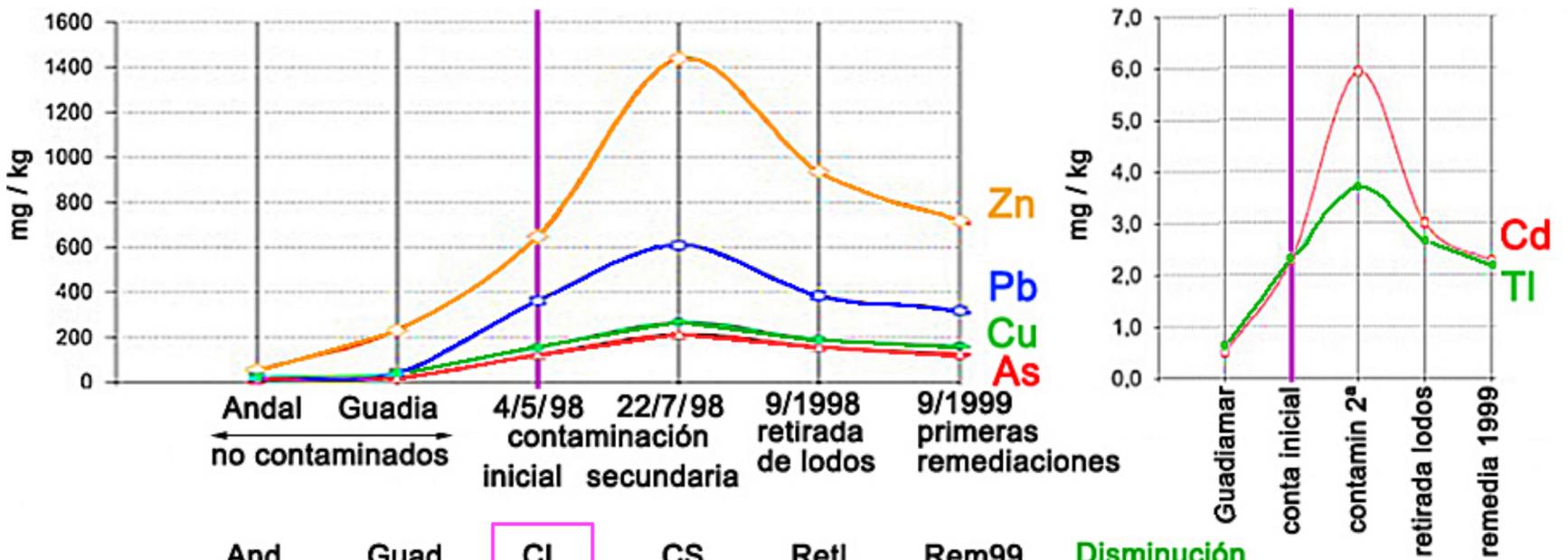
La espuma de la industria azucarera se echó por toda la cuenca y se mezcló mediante el arado.



	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Disminución
Zn	56	231	647	1.439	938	719	23%
Pb	24	42	361	608	386	316	18%
Cu	24	42	153	267	188	160	15%
As	10	18	122	213	157	124	21%
Cd		0,5	2,3	5,9	3,0	2,3	23%
Tl		0,6	2,3	3,7	2,7	2,2	19%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

Después de las remediaciones del año 1999, las concentraciones de los contaminantes siguieron bajando, del orden de un 20%.



	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Disminución	Incrementos
Zn	56	231	647	1.439	938	719	23%	11%
Pb	24	42	361	608	386	316	18%	12%
Cu	24	42	153	267	188	160	15%	5%
As	10	18	122	213	157	124	21%	2%
Cd		0,5	2,3	5,9	3,0	2,3	23%	0%
TI		0,6	2,3	3,7	2,7	2,2	19%	7%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

y ya se consiguió rebajar las concentraciones de las que se produjeron en la contaminación inicial para algunos contaminantes como el Pb, y TI; pero todavía las concentraciones estaban por encima de las que se produjeron en el momento del vertido, en la contaminación inicial, para el Zn, Cu y As.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

- 1 Revisar la limpieza
- 2 Fitorremediación ¿?
- 3 Adición de carbonatos

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Por ello, en el año siguiente se continuó en esta línea. Se buscaron otros materiales bloqueantes.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

- 1 Revisar la limpieza
- 2 Fitorremediación ¿?
- 3 Adición de carbonatos

Actuaciones, 2000

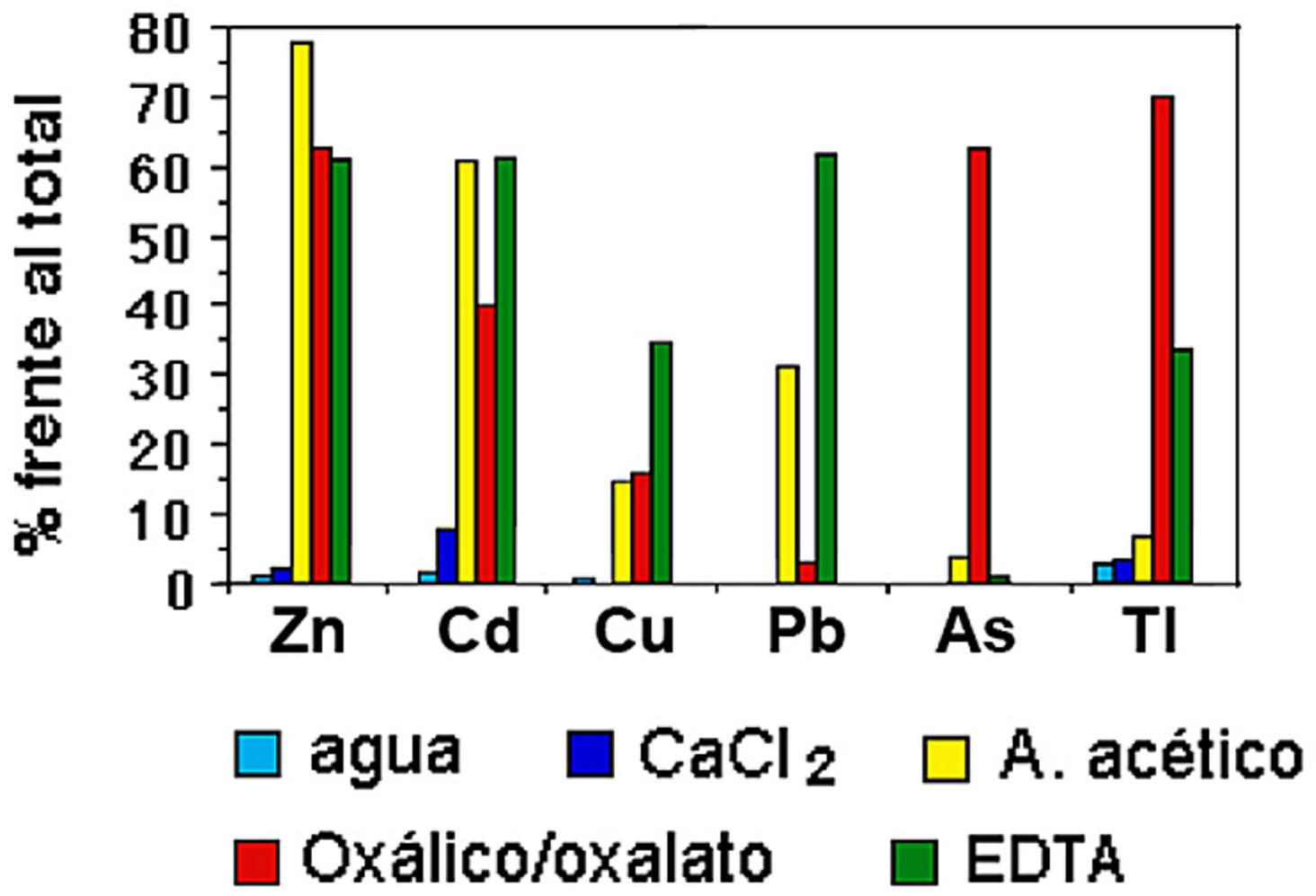
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Por ello, en el año siguiente se continuó en esta línea. Se buscaron otros materiales bloqueantes.

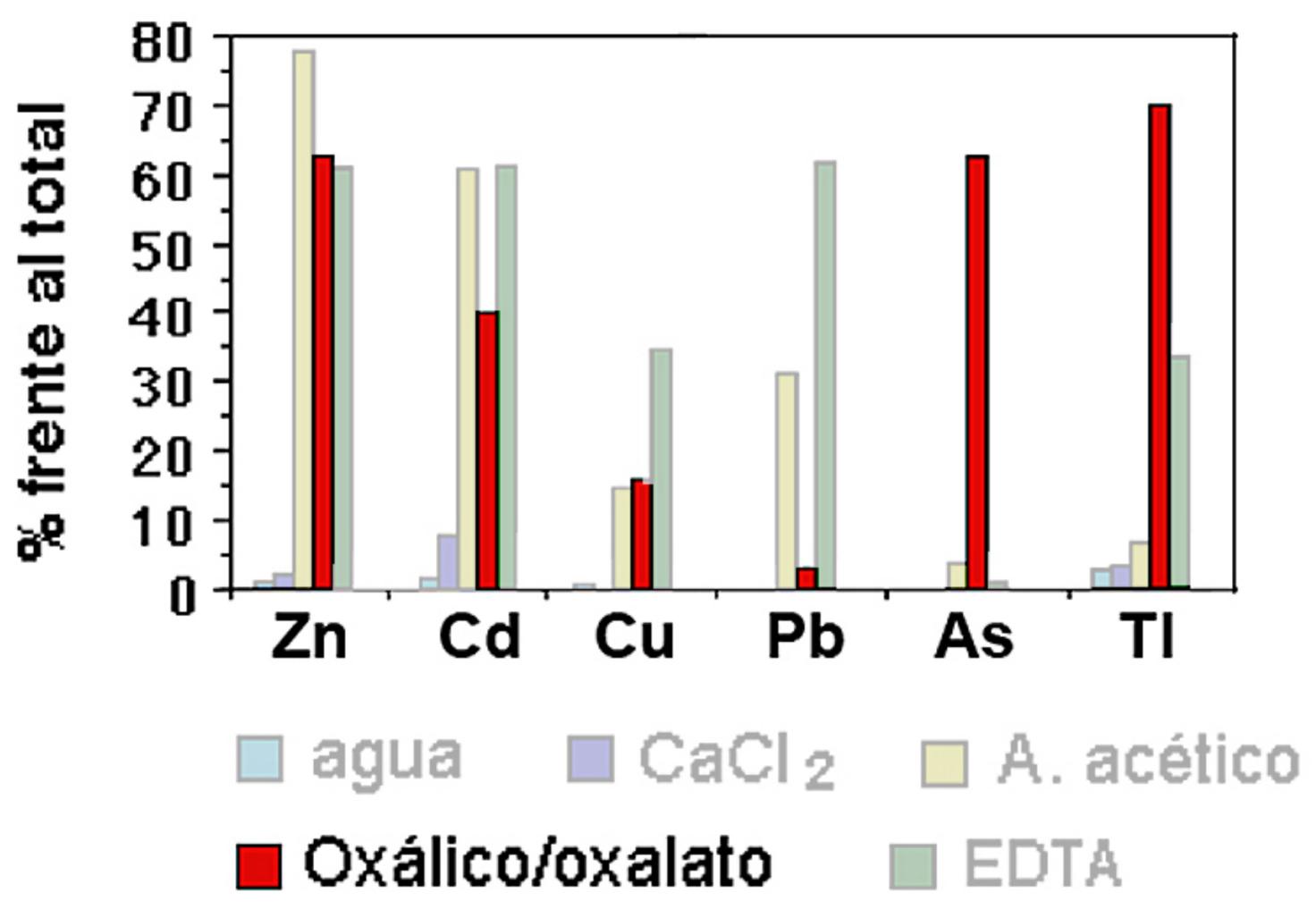
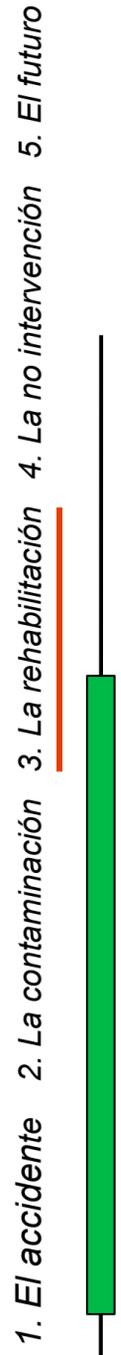
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Con los agentes extractantes se había puesto de manifiesto que además de los carbonatos había otros materiales interesantes.

Aznalcóllar, hoy.



Por ejemplo los óxidos e hidróxidos de hierro, con muy alto poder de fijación de casi todos los metales y especialmente con el As, que mostraba una casi exclusividad para estos compuestos de Fe.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Se realizaron unas experiencias en parcelas, en la zona, con óxidos de Fe

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Y también con arcillas,

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



y con materia orgánica

(2000: adición de materia orgánica 2 kg/m²) ¿?

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

- 1 Revisar la limpieza
- 2 Fitorremediación ¿?
- 3 Adición de carbonatos

Actuaciones, 2000

y se añadieron estos materiales a los suelos

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

- 1 Revisar la limpieza
- 2 Fitorremediación ¿?
- 3 Adición de carbonatos

Actuaciones, 2000

1 Adición de bloqueantes:

- ↓ arcillas ricas en óxidos de Fe
- ↓ materia orgánica

y se añadieron estos materiales a los suelos

Medidas complementarias

Objetivos

A) Disminución de las concentraciones

B) Inmovilización de los contaminantes

Bien, aparte de eliminar e inmovilizar los contaminantes ¿Que se podía hacer más?. Pues se pensó en que si no se podían extraer ni bloquear más contaminantes, al menos se podría intentar diluirlos. Como en el horizonte superficial era donde se producían las máximas concentraciones se podría mezclar este con el horizonte subsuperficial que estaba menos contaminado. Evidentemente eran los mismos contaminantes pero mejor repartidos.

Medidas complementarias

Objetivos

A) Disminución de las concentraciones

B) Inmovilización de los contaminantes

C) Dilución de la concentraciones

Bien, aparte de eliminar e inmovilizar los contaminantes ¿Que se podía hacer más?. Pues se pensó en que si no se podían extraer ni bloquear más contaminantes, al menos se podría intentar diluirlos. Como en el horizonte superficial era donde se producían las máximas concentraciones se podría mezclar este con el horizonte subsuperficial que estaba menos contaminado. Evidentemente eran los mismos contaminantes pero mejor repartidos.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

- 1 Revisar la limpieza
- 2 Fitorremediación ¿?
- 3 Adición de carbonatos

Actuaciones, 2000

- 1 Adición de adsorbentes:
 - ↓ arcillas ricas en óxidos de Fe
 - ↓ materia orgánica

un simple arado profundo en toda la zona podría servir.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

- 1 Revisar la limpieza
- 2 Fitorremediación ¿?
- 3 Adición de carbonatos

Actuaciones, 2000

- 1 Adición de adsorbentes:
 - ↓ arcillas ricas en óxidos de Fe
 - ↓ materia orgánica
- 2 Arado profundo



Medias, totales, mg/kg

<i>prof. cm</i>	<i>As</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Cu</i>	<i>Cd</i>	<i>Tl</i>
0 a 10	129,1	704,3	329,9	164,0	2,3	2,3
10 a 30	59,4	424,5	147,4	125,0	1,4	0,9
30 a 50	43,7	370,7	107,5	126,4	1,3	0,7
0 a 25	87,3	536,4	220,4	140,6	1,8	1,5

Disminución, % **32** **24** **33** **14** **22** **35**

nivel de intervención en suelos agrícolas 50 600 350 300 7 5

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

De 0-10 se presentaban las concentraciones más altas, mientras que de 10-30 eran mas bajas, luego si se mezclaban los 25 cm superficiales las concentraciones debían bajar ... y efectivamente las concentraciones se rebajaron de un 14 al 35% y ya todos menos el As se encontraban por debajo del nivel de intervención.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Pero a los pocos meses del arado del suelo todavía la zona mostraba claros signos de degradación. La superficie no estaba estabilizada. Había intensos signos de fuertes escorrentías y erosión.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Y con las lluvias los metales eran arrastrados por las aguas de escorrentía.

Medidas complementarias

Objetivos

A) Disminución de las concentraciones

B) Inmovilización de los contaminantes

C) Dilución de la concentraciones

Medidas complementarias

Objetivos

- A) Disminución de las concentraciones
- B) Inmovilización de los contaminantes
- C) Dilución de la concentraciones
- D) Freno a la escorrentía y a la erosión**

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

- 1 Revisar la limpieza
- 2 Fitorremediación ¿?
- 3 Adición de carbonatos

Actuaciones, 2000

- 1 Adición de adsorbentes:
 - ↓ arcillas ricas en óxidos de Fe
 - ↓ materia orgánica
- 2 Arado profundo

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999

- 1 Revisar la limpieza
- 2 Fitorremediación ¿?
- 3 Adición de carbonatos

Actuaciones, 2000

- 1 Adición de adsorbentes:
 - ↓ arcillas ricas en óxidos de Fe
 - ↓ materia orgánica
- 2 Arado profundo
- 3 **Revegetación**

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



se sembraron gramíneas y especies autóctonas que se han desarrollado bien.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Y numerosas especies arbóreas (en muchísimos casos los arboles plantados fracasaron), pero en otros muchos casos si se desarrollaron ...

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



como es el caso de los ...

Aznalcóllar, hoy.

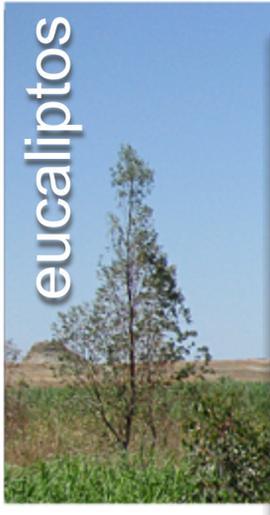
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



como es el caso de los ...

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



como es el caso de los ...

Aznalcóllar, hoy.

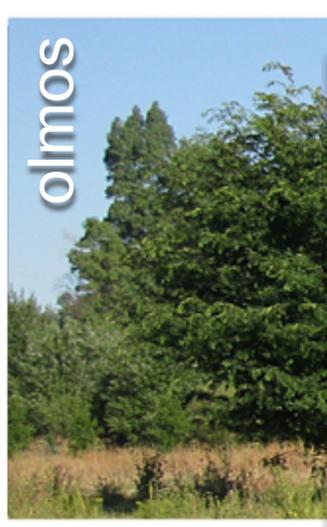
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



como es el caso de los ...

Aznalcóllar, hoy.

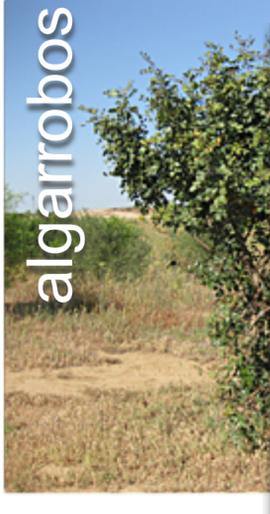
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



como es el caso de los ...

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



como es el caso de
los ...

Aznalcóllar, hoy.

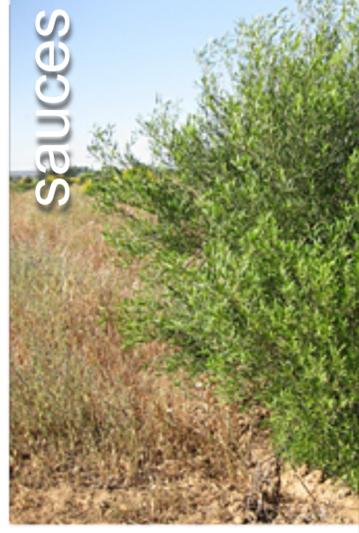
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



como es el caso de los ...

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



como es el caso de
los ...

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Para evitar que cualquier posible actividad agrícola en estos suelos pudiera repercutir en la aceptación por los mercados de los productos agrícolas de la región, la zona del vertido se expropió, se cercó y se prohibió cualquier uso, no sólo agrícola sino

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



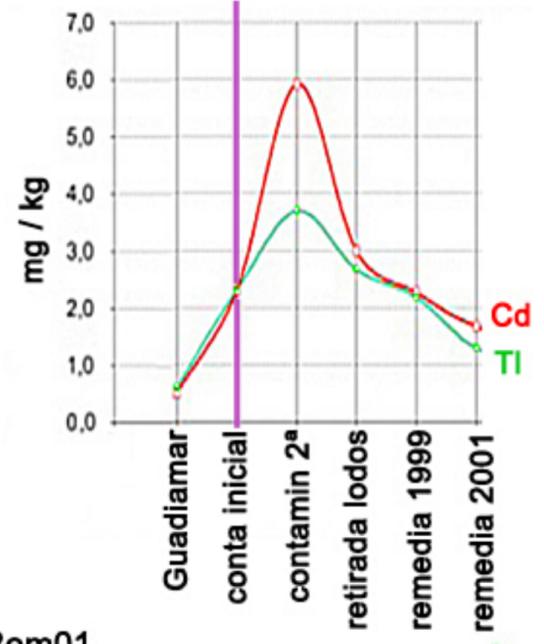
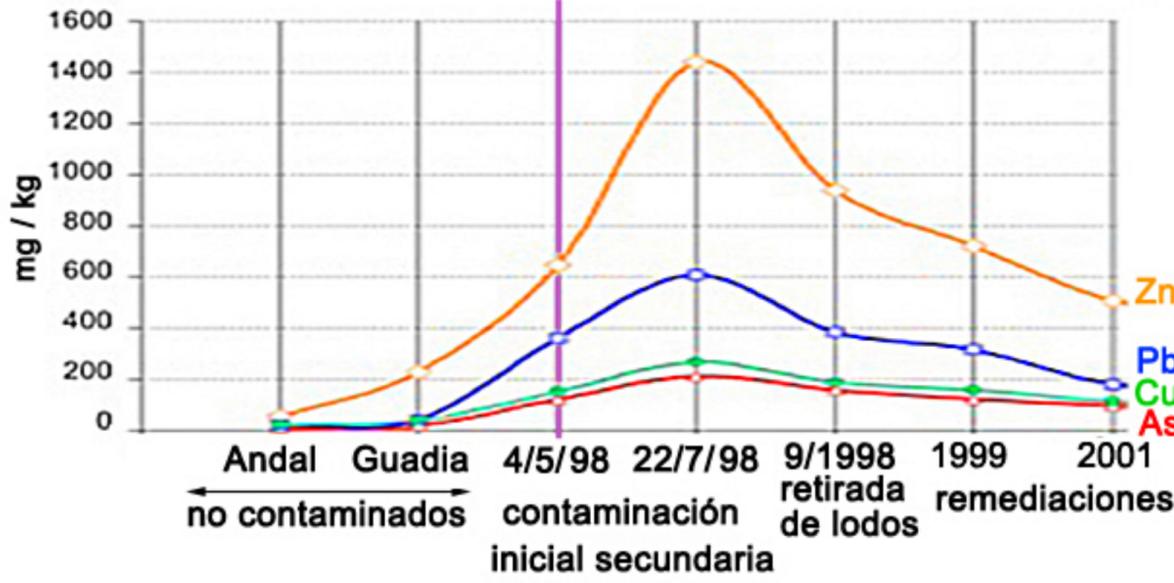
también se prohibió la la caza, pesca y el pastoreo ...

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



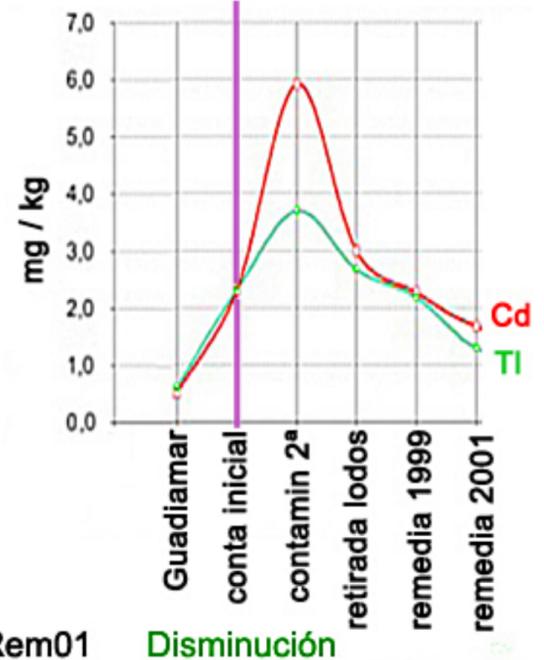
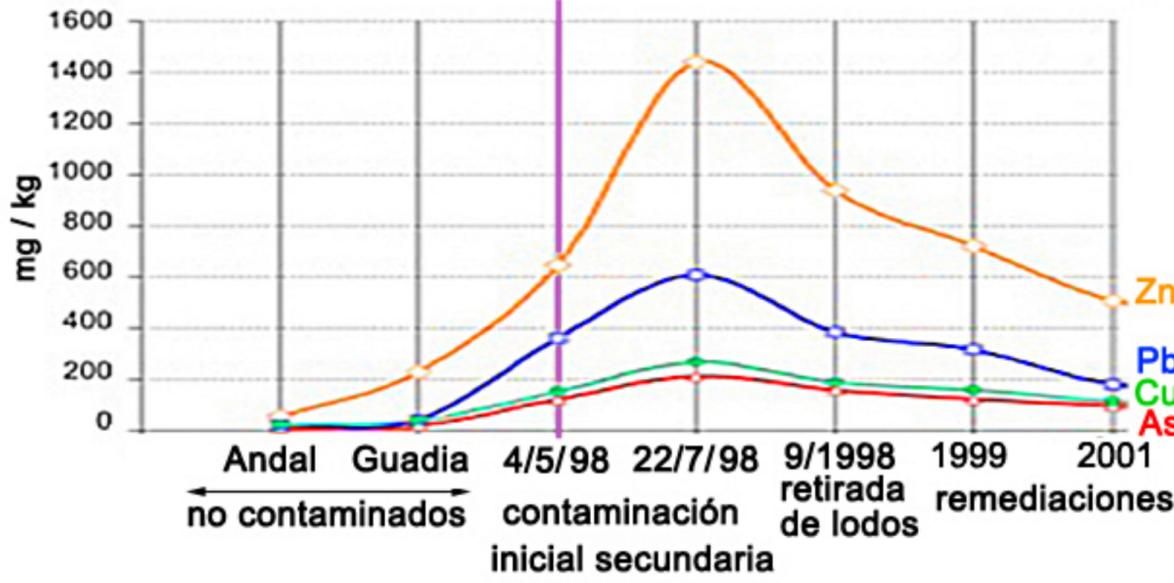
aunque luego ... ya se sabe ... en nuestro país cada uno interpreta las normas a su manera.



	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Rem01
Zn	56	231	647	1.439	938	719	506
Pb	24	42	361	608	386	316	182
Cu	24	42	153	267	188	160	114
As	10	18	122	213	157	124	97
Cd		0,5	2,3	5,9	3,0	2,3	1,7
Tl		0,6	2,3	3,7	2,7	2,2	1,3

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

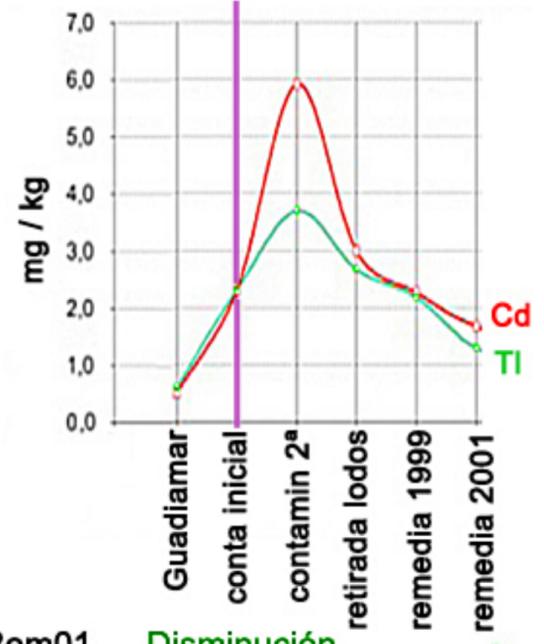
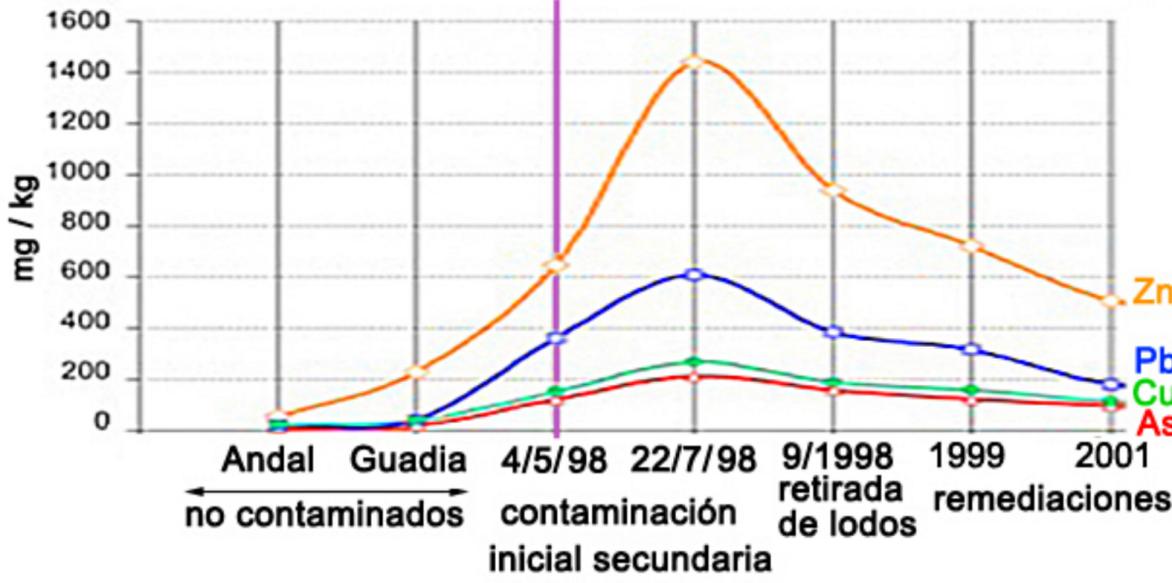
Las medidas de remediación terminaron prácticamente en el año 2000. Al año siguiente las muestras analizadas de los suelos mostraban claros decrecimientos



	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Rem01	Disminución
Zn	56	231	647	1.439	938	719	506	30%
Pb	24	42	361	608	386	316	182	42%
Cu	24	42	153	267	188	160	114	29%
As	10	18	122	213	157	124	97	22%
Cd		0,5	2,3	5,9	3,0	2,3	1,7	26%
Tl		0,6	2,3	3,7	2,7	2,2	1,3	41%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

del orden del 20 al 40% con respecto a las concentraciones correspondientes a las medidas de remediación del 1999

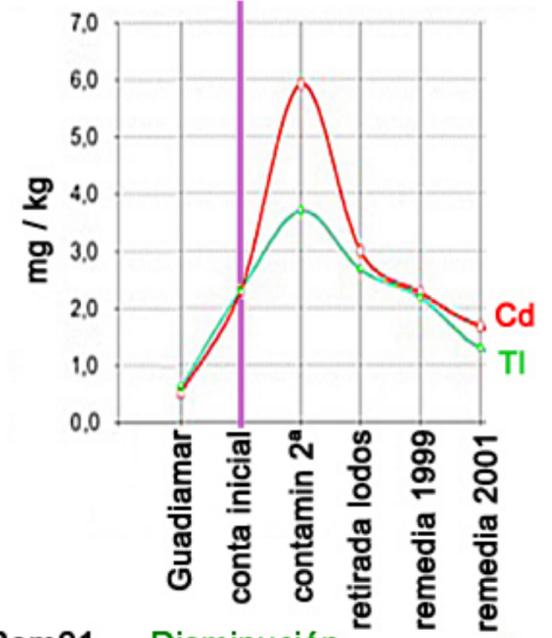
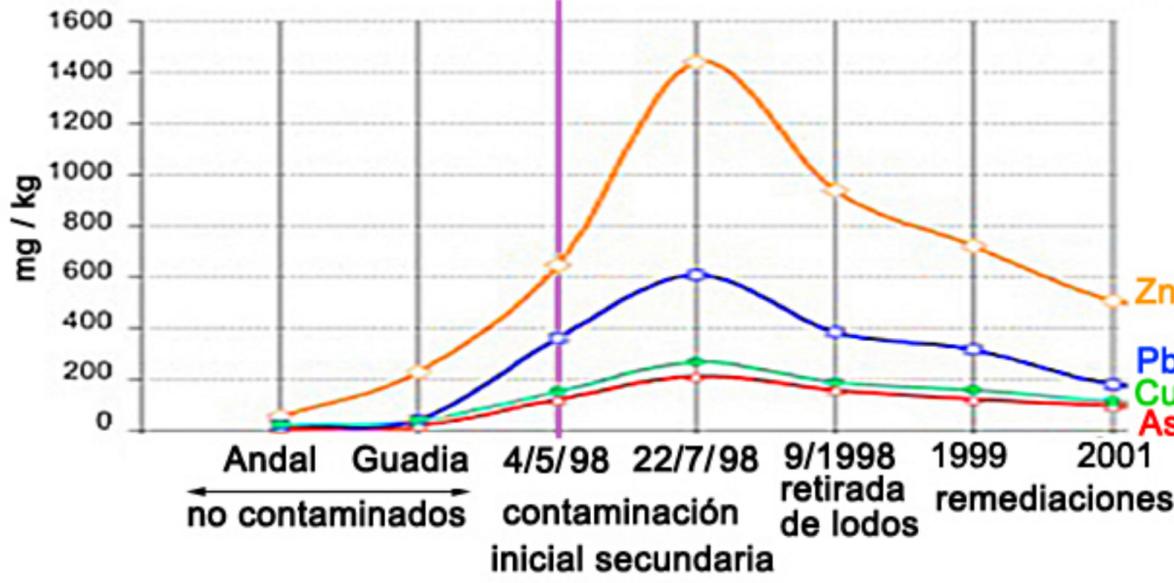


	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Rem01	Disminución
Zn	56	231	647	1.439	938	719	506	30% → 22%
Pb	24	42	361	608	386	316	182	42% → 50%
Cu	24	42	153	267	188	160	114	29% → 26%
As	10	18	122	213	157	124	97	22% → 32%
Cd		0,5	2,3	5,9	3,0	2,3	1,7	26% → 26%
Tl		0,6	2,3	3,7	2,7	2,2	1,3	41% → 43%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

y ya por fin la concentraciones de todos los contaminantes eran más bajas que las que se produjeron en el primer momento del vertido. La contaminación inicial se había rebajado hasta la mitad para el caso del Pb y del orden del 20% para el Zn.

Con estos aceptables resultados, ya no llevó a cabo ninguna labor de remediación importante. La Junta de Andalucía y los políticos perdieron gran parte del interés por el vertido.



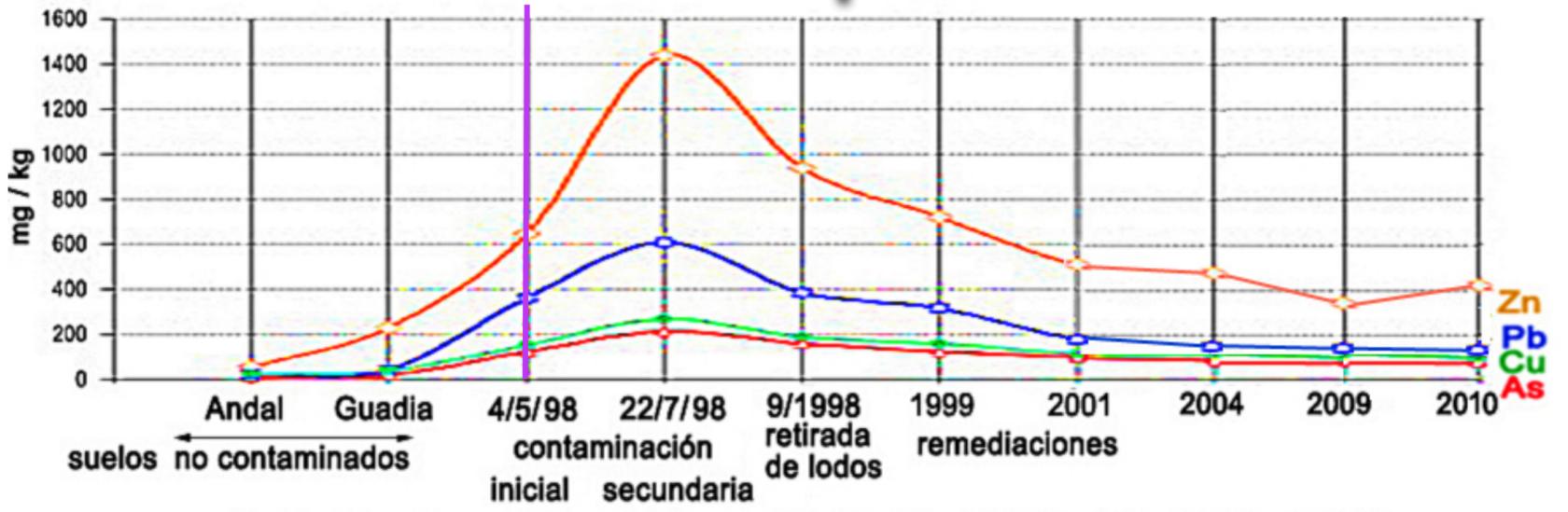
	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Rem01	Disminución	Incrementos
Zn	56	231	647	1.439	938	719	506	30%	22%
Pb	24	42	361	608	386	316	182	42%	50%
Cu	24	42	153	267	188	160	114	29%	26%
As	10	18	122	213	157	124	97	22%	32%
Cd		0,5	2,3	5,9	3,0	2,3	1,7	26%	26%
Tl		0,6	2,3	3,7	2,7	2,2	1,3	41%	43%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

pero todavía las concentraciones eran mas altas que las que presentaban los suelos antes del vertido (con incrementos importantes, que iban desde un 117% en el Tl hasta un 438% para el caso del arsénico).



Evolución posterior



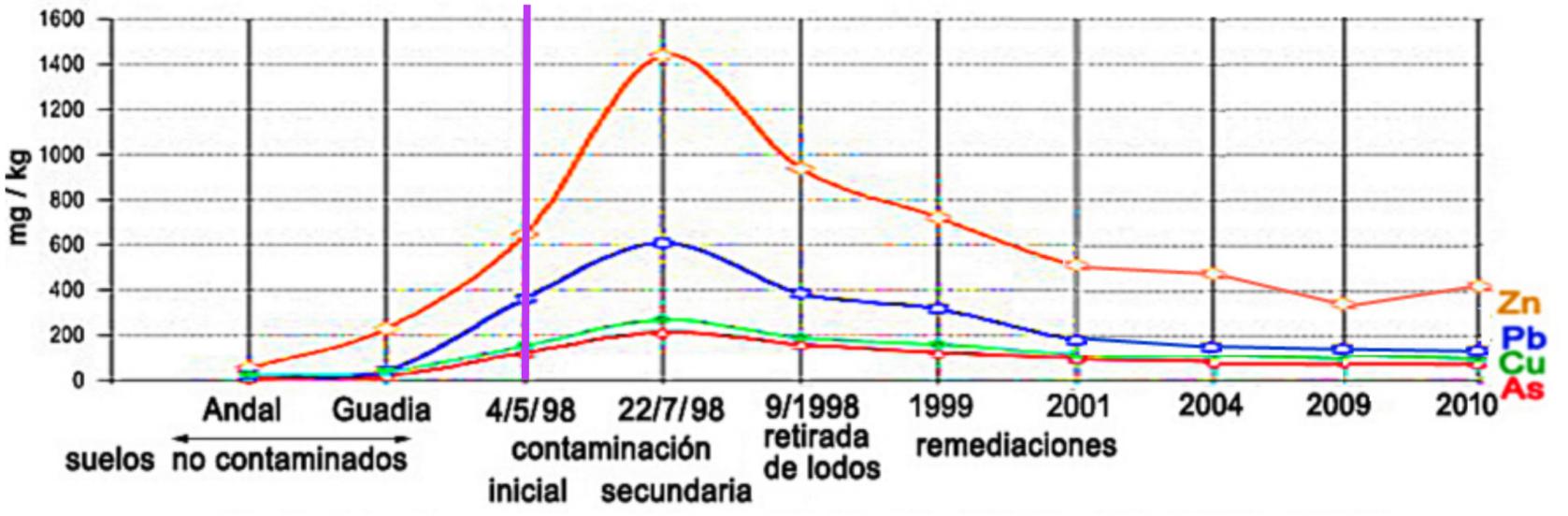
	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Rem01	2004	2009	2010
Zn	56	231	647	1439	938	719	506	462	332	418
Pb	24	42	361	608	386	316	182	169	154	152
Cu	24	41	153	267	188	160	114	109	96	104
As	10	18	122	213	157	124	97	83	72	77

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

Nosotros continuamos nuestro seguimiento en los años 2004, 2009 y 2010 (muestras de hace tan sólo dos meses)



Evolución posterior



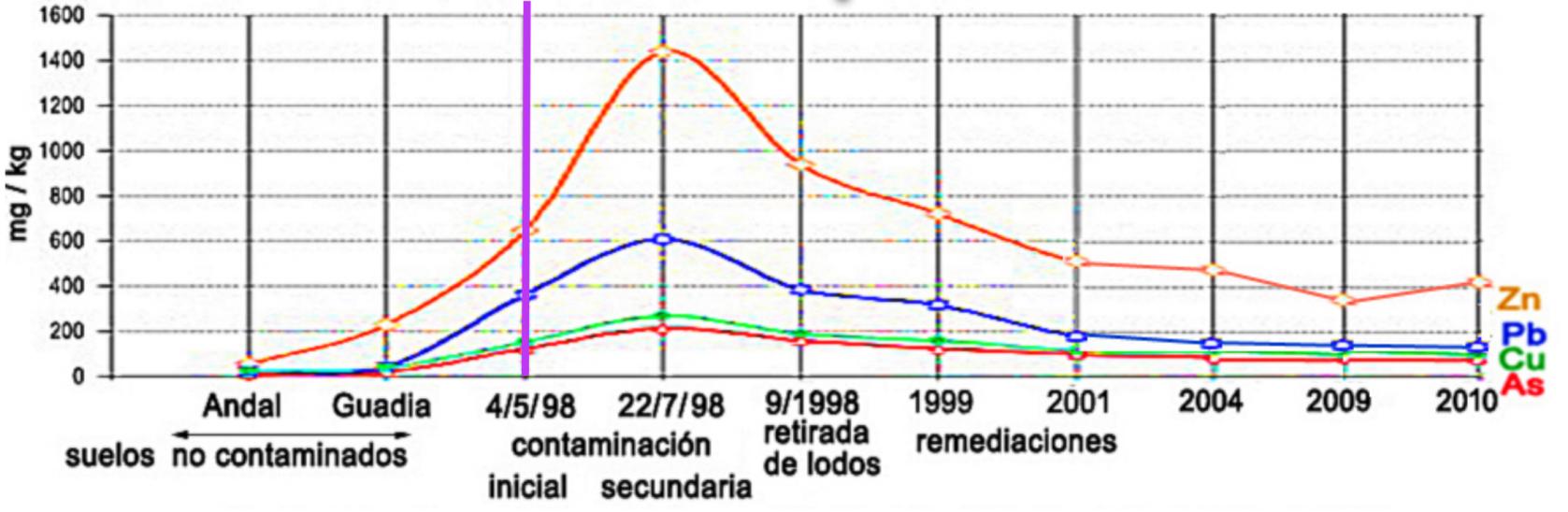
	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Rem01	2004	2009	2010	Disminución
Zn	56	231	647	1439	938	719	506	462	332	418	17%
Pb	24	42	361	608	386	316	182	169	154	152	16%
Cu	24	41	153	267	188	160	114	109	96	104	9%
As	10	18	122	213	157	124	97	83	72	77	21%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

y durante estos años las concentraciones han seguido disminuyendo; del orden de un 9 al 21% con respecto a las últimas medidas de remediación y



Evolución posterior

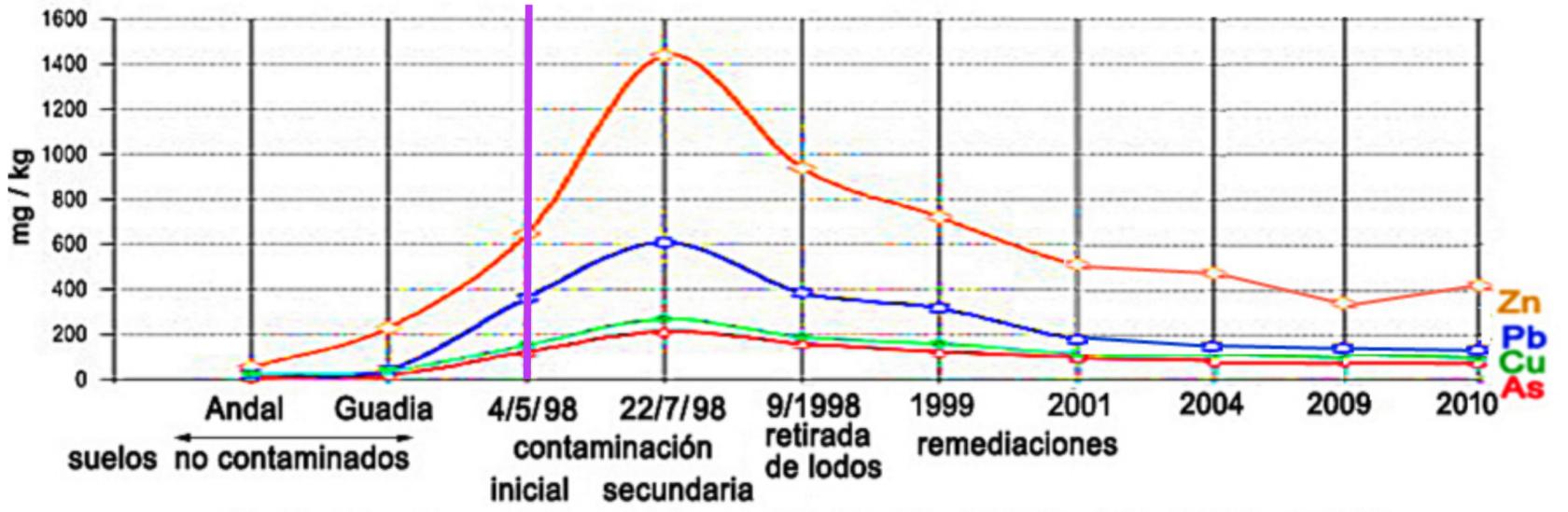


	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Rem01	2004	2010	Disminución	
Zn	56	231	647	1439	938	719	506	462	332	418	17% → 35%
Pb	24	42	361	608	386	316	182	169	154	152	16% → 58%
Cu	24	41	153	267	188	160	114	109	96	104	9% → 32%
As	10	18	122	213	157	124	97	83	72	77	21% → 37%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

disminuyendo también si comparamos a la contaminación inicial, pero

Evolución posterior



	And	Guad	CI	CS	RetL	Rem99	Rem01	2004	2009	2010	Disminución	Incremento
Zn	56	231	647	1439	938	719	506	462	332	418	17%	35%
Pb	24	42	361	608	386	316	182	169	154	152	16%	58%
Cu	24	41	153	267	188	160	114	109	96	104	9%	32%
As	10	18	122	213	157	124	97	83	72	77	21%	37%
												81%
												262%
												154%
												328%

mg/kg, metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

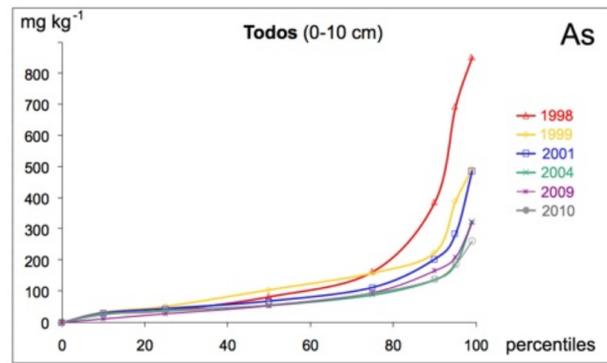
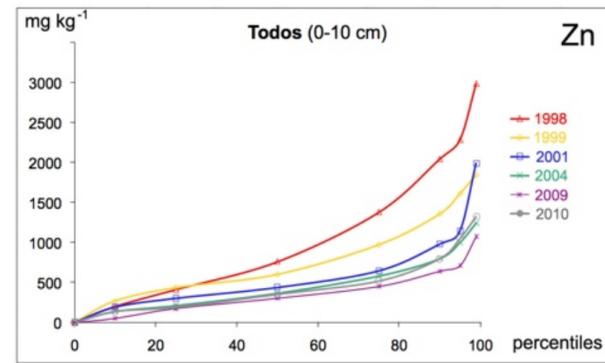
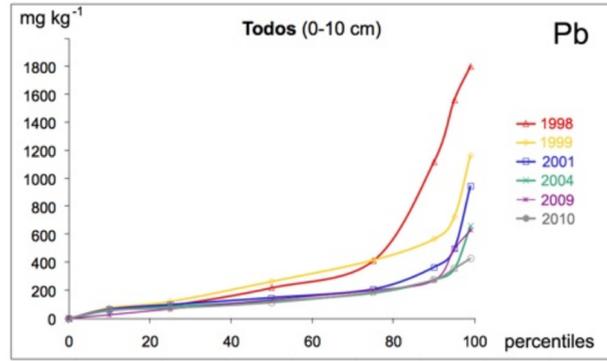
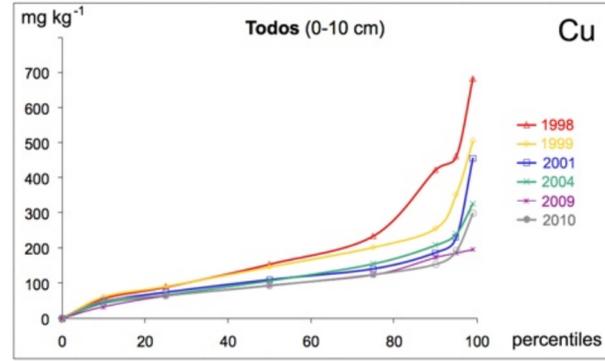
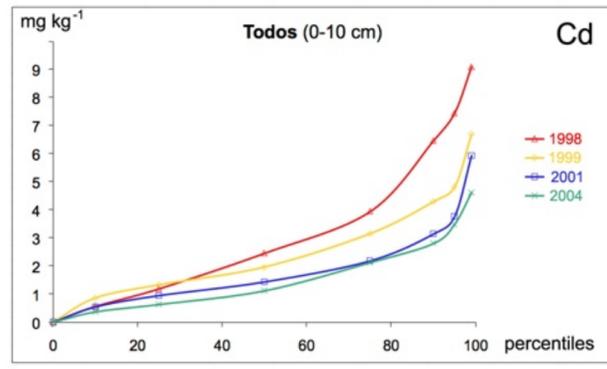
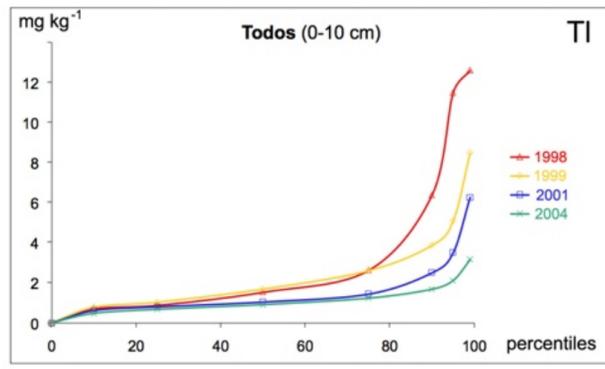
pero desgraciadamente todavía las concentraciones medias de los suelos, en su horizonte superficial, se encuentran muy por encima de los valores de los suelos de antes del vertido, hasta mas de un 300% para el As.

Bien, hasta ahora hemos hablado siempre de valores medios, si queremos conocer el comportamiento de la población podemos recurrir a los percentiles.



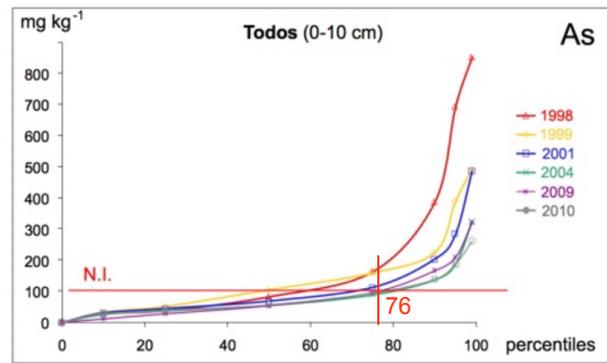
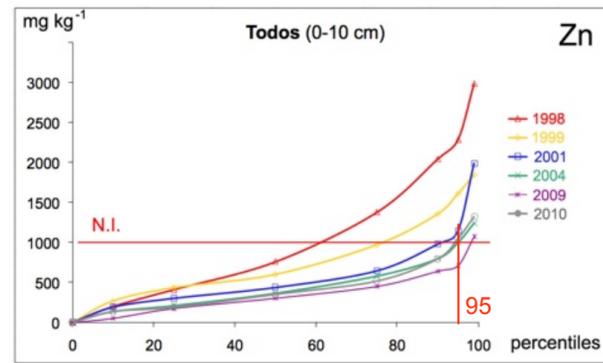
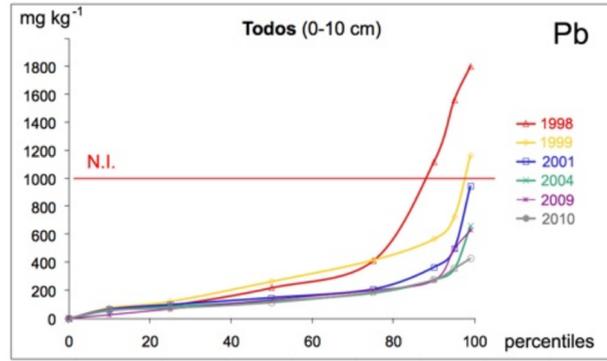
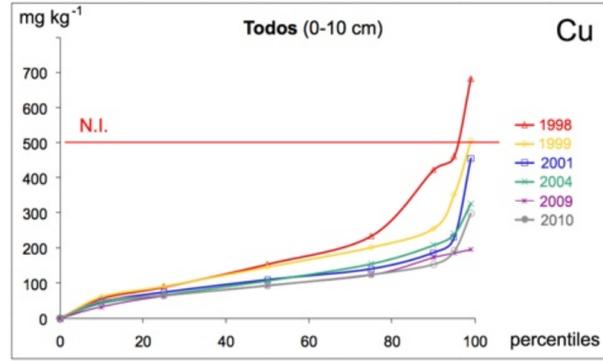
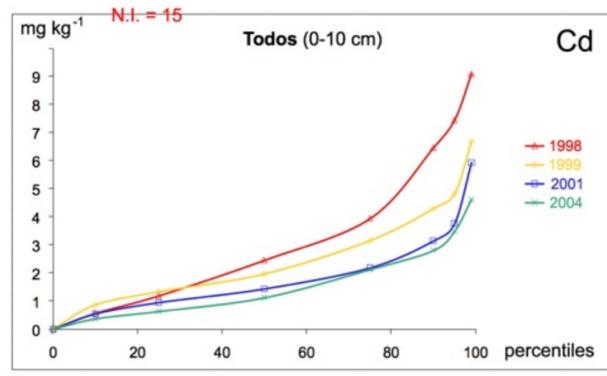
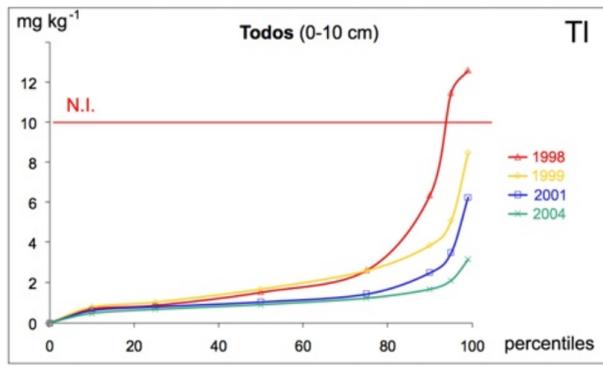
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



totales

En estas gráficas podemos ver como la tendencia general es a bajar las concentraciones de los percentiles al ir transcurriendo el tiempo.



totales N.I. = niveles de intervención para suelos de parques naturales

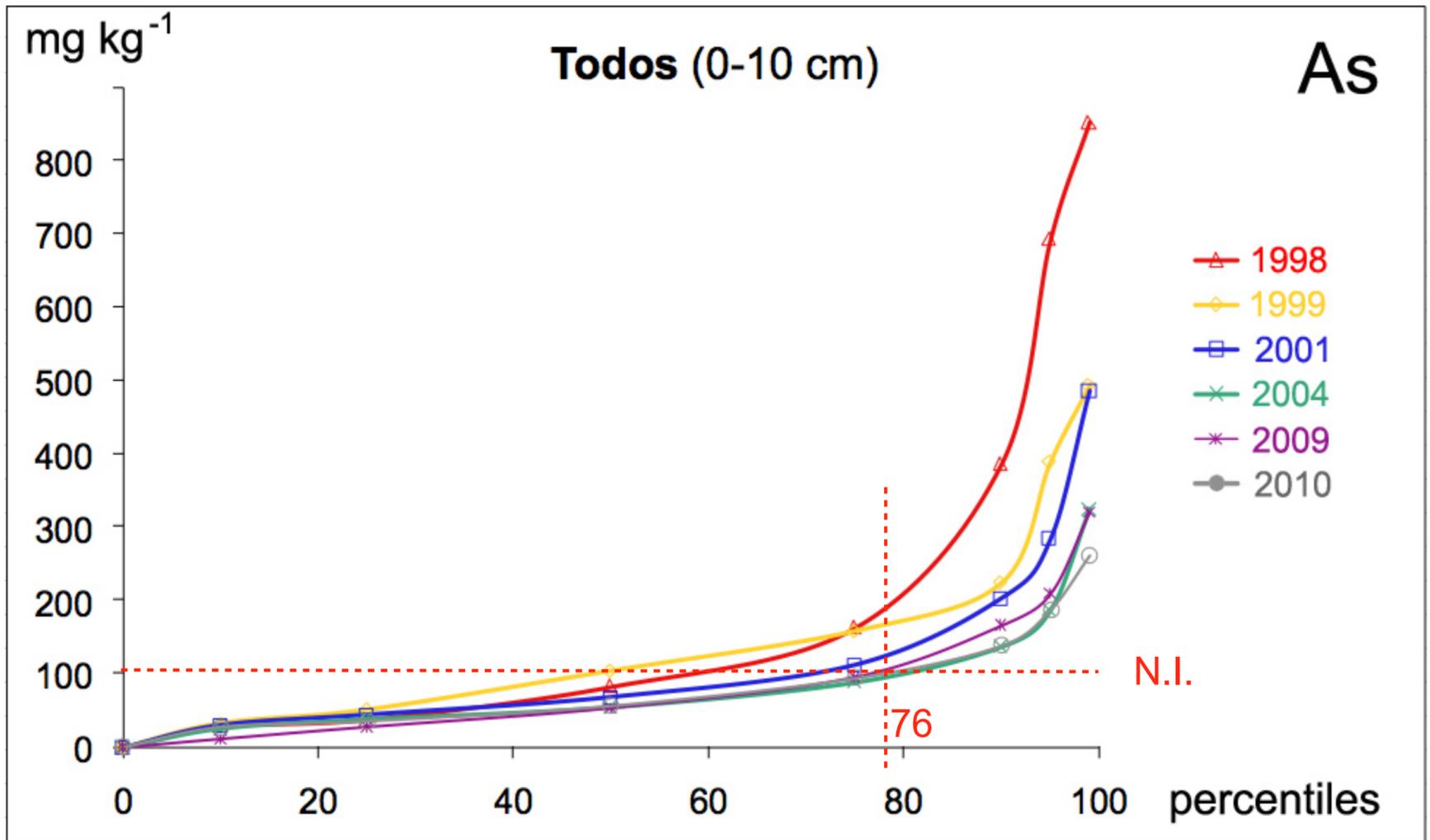
Si referimos estas concentraciones a las de los niveles de intervención de los suelos de parques naturales, destacamos como a partir del año 2001 (la línea azul) el 100% de los suelos presentan concentraciones por debajo del N.I. para el Cd TI, Cu y Pb.

En cuanto al Zn en el 2010 tenemos el 95 percentil con concentraciones por debajo del N.I., es decir sólo un 5% de los suelos podría considerarse como potencialmente contaminado; y sólo para el As encontramos una situación delicada.



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



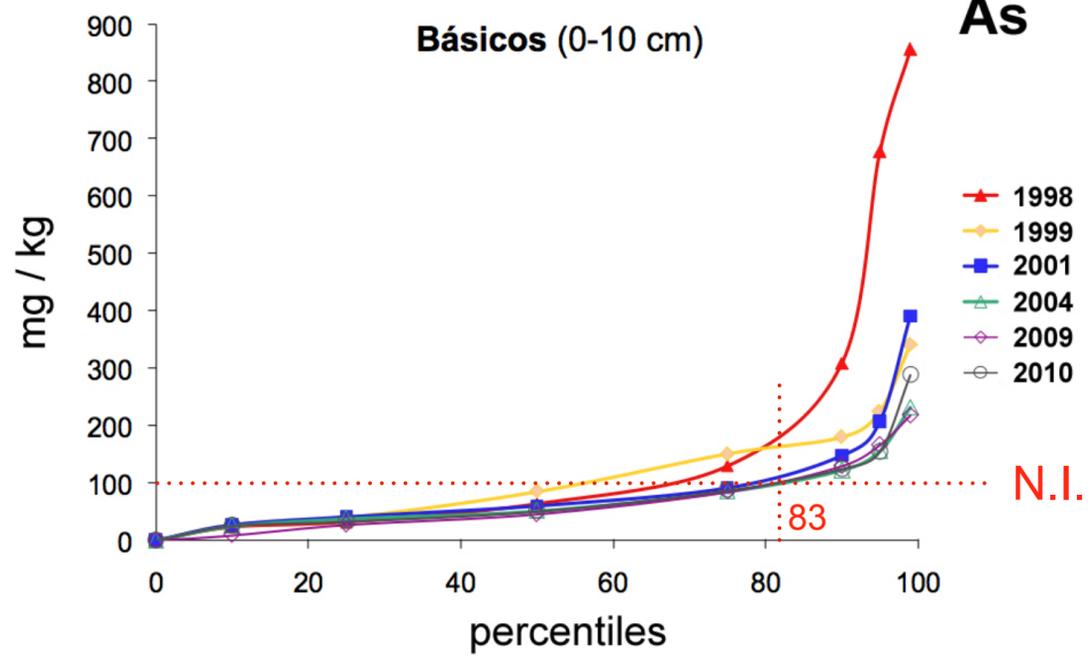
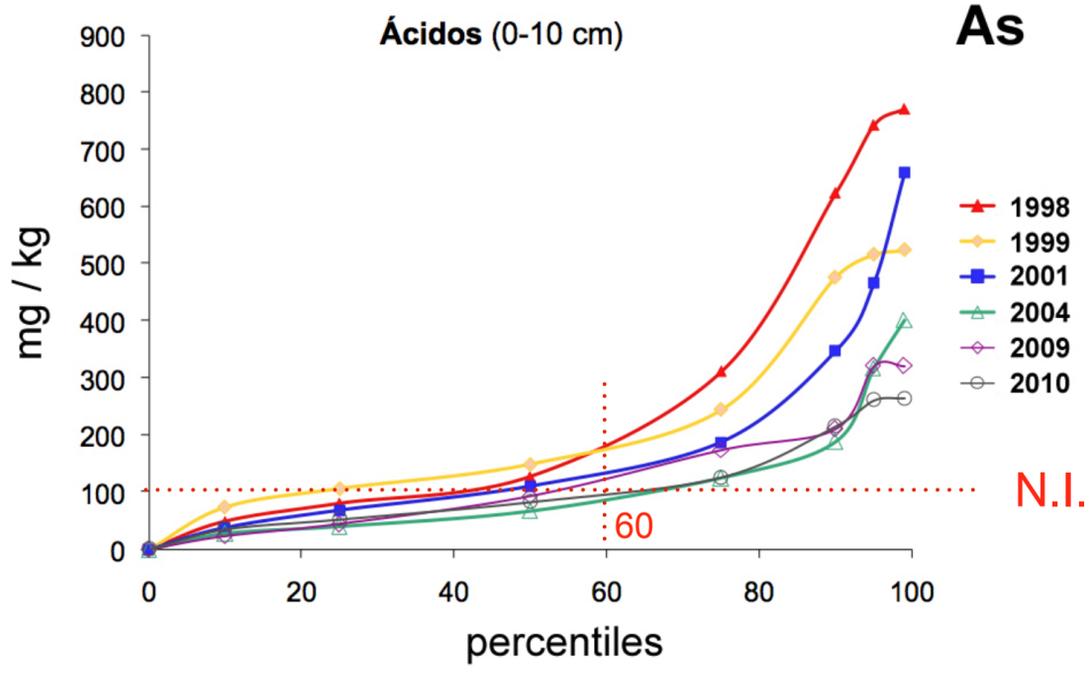
N.I. = niveles de intervención suelos de parques

Si vemos la gráfica del As ampliada podemos observar que en el 2010 el percentil 76 tiene una concentración por debajo del N.I., o sea que un 24% de los suelos en las muestras actuales de 2010 superan este N.I. de 100 mg/kg



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



Mucho mas preocupante la zona ácida, con un 40% de suelos superando el N.I., que en la zona básica de suelos con carbonatos, en los que los suelos potencialmente contaminados a niveles tóxicos se reducen a un 17%.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Estado actual

16 de julio de 2010

(doce años después)

En cuanto a cómo está a día de hoy la zona.



Uso del suelo: agrícola		
	nivel interv. mg kg ⁻¹	suelos potencialmente contaminados
1998		
Cd	7/10	7%
Cu	300/500	8%
Tl	5	11%
Pb	350/500	26%
Zn	600/1000	42%
As	50	68%

Uso del suelo: Parques nacionales		
	nivel interv. mg kg ⁻¹	suelos potencialmente contaminados
2010		
Cd	15	0%
Cu	500	0%
Tl	10	0%
Pb	1000	0%
Zn	1000	5%
As	100	24%

totales

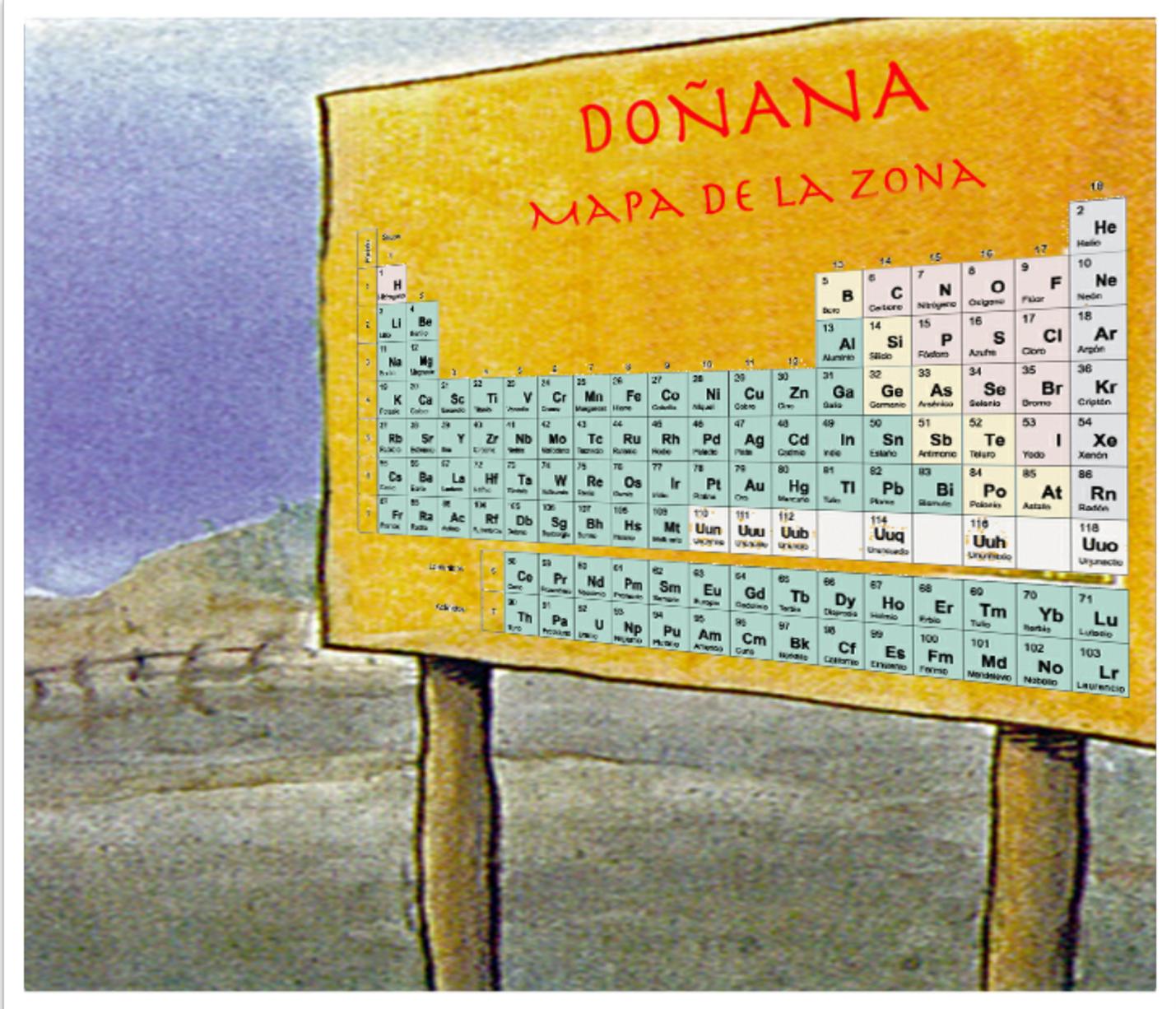
Si comparamos la situación actual con la que se presentaba en el año del vertido vemos que la situación ha mejorado sensiblemente. En aquel año superaban los N.I. el 7% de los suelos para el Cd, el 8% para Cu, 11% para Tl, y 26% para el Pb mientras que en 2009 no se supera en ningún caso para ninguno de estos metales. El Zn ha pasado de superarse el 42% en 1998 a sólo el 1% en las muestras actuales. Pero queda el problema del As, que aunque se ha mejorado bastante, del 68% hemos pasado al 24% de suelos potencialmente tóxicos.

Si bien hemos de aclarar que esta tablas tienen una pequeña discrepancia. Los N.I. de 1988 está referidos a suelos agrícolas mientras que para el 2009 hemos usado los N.I. para suelos de parques, y como sabemos con valores de los límites más altos, pero es que estos son los usos reales de los suelos en cada fecha, por tanto el criterio utilizado lo consideramos totalmente correcto.

Las medidas de remediación pueden ser valoradas muy positivamente.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



De cualquier forma, la situación no es tan grave como la veían algunos

Doñana. Sus trabajos, premiados este mes por la Sociedad Europea de Patología Veterinaria, apuntan a un posible origen congénito por consanguinidad, derivada, a su vez, del escaso número de ejemplares que quedan de este felino. La investigación se entra aún en sus primeras fases pero los hallazgos pueden ser más inquietantes. «Los resultados que nos hasta ahora muestran que la mayoría de los felinos estudiados tienen problemas en el sistema reproductivo, es decir, que tienen riesgo de padecer enfermedades infecciosas y tumores. Muchos tienen lesiones en los riñones -glomerulonefritis crónicas- aunque en un grado», asegura Laura, patóloga veterinaria del equipo investigador. «Se han enviado un número de ejemplares diseccionados para analizarlos -17- los convertirán en una muestra «muy tentativa» de la exigua población total de la fauna ibérica.

FERNANDO HIRALDO DIRECTOR DE LA RESERVA BIOLÓGICA DE DOÑANA

IDEAL, 28/9/2004

«Aznalcóllar es asunto cerrado»

L. ÁLVAREZ

El director de la Estación Biológica de Doñana nació en las tierras secas de Almería, pero el graznido de los ánseres junto a la marisma en un día de lluvia infame le cautivó para siempre. Han pasado 35 años desde entonces.

—¿Cuál es el estado de salud actual del Parque Nacional?

—El mejor que ha tenido en cuanto a grado de protección. Ocurre que han aumentado las presiones externas. Doñana está al fondo de un río y su grado de conservación depende de lo que le pasa a ese río. Además, depende también de un acuífero, una burbuja de agua de 40 kilómetros de radio sobre la que actúa la actividad agrícola de la zona.

—¿La explotación del acuífero podría acabar con Doñana?

—Es una sombra que se cierne sobre la reserva. Con la agricultura, las aguas vienen con mayor cantidad de nitratos. El acuífero es muy grande, pero en algunos lugares ya se está resistiendo debido a las extracciones para riego.

—¿Cómo afecta a la marisma?



EXPERTO. Fernando Hiraldo lleva 35 años en la reserva. / M. VÁZQUEZ

atropellados, lo que evita su posible unión con otras poblaciones.

—¿Cuánto aguantarán en Doñana?

—No se sabe.

—Si ustedes no pueden paliar este problema. ¿Quién puede hacerlo?

—Los políticos deben decidir.

—¿Cuál es el reto entonces?

—A lo mejor el desdoblamiento puede consistir en una carretera de entrada y otra de salida por el norte, que no pase por la reserva.

—¿Cómo ve el futuro?

—Ha habido problemas peores.

—¿Aún se perciben las consecuencias del vertido de Aznalcóllar?

—Es asunto cerrado. Ahora, los niveles de contaminación son más bajos que los que había antes del vertido e, incluso, más bajos aún que en los sitios que en Doñana se consideran no contaminados. Murieron 10.000 gansos, pero en años de sequía mueren el doble.

Pero tampoco la situación era tan optimista como la veían otros como ...

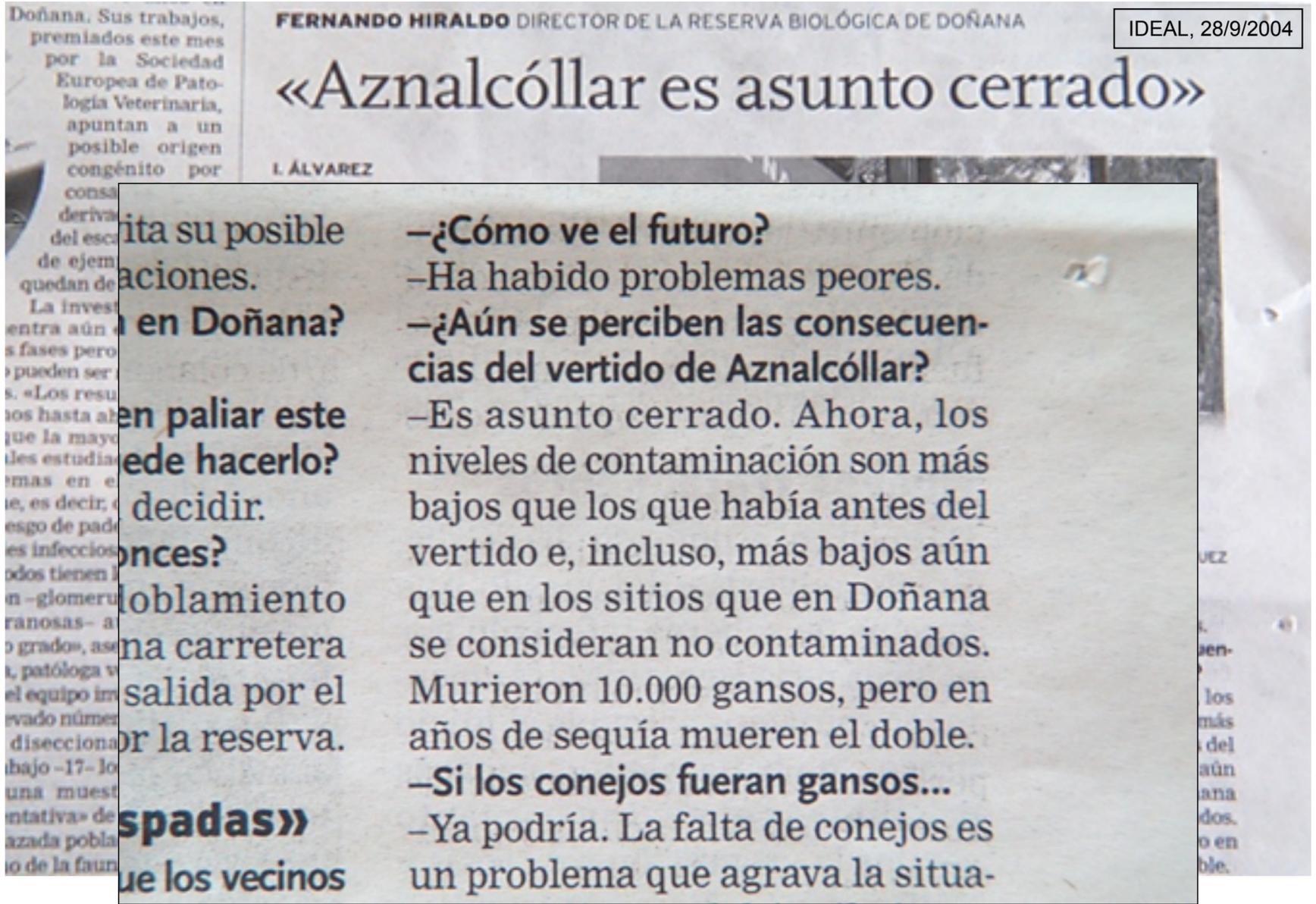
Como hemos mostrado en anteriores imágenes, la situación real es que si bien sólo hay posibles problemas de toxicidad para el As en un 24% de los suelos, el resto de metales pesados aunque no se han superado los límites de peligrosidad si han quedado los suelos con unos incrementos que oscilan entre el 30 y el 300% con respecto a las concentraciones antes del vertido. ¡Decir que la zona ha quedado más limpia ... con un incremento de casi el 300% de As!

Bien parece probado que en la zona ha quedado un problema importante con el As, que supera el NI en un 24% de los suelos. Pero ahora debemos plantearnos como de peligroso es este As, es decir como se encuentra este As. ¿Está soluble y por tanto es tóxico o está en gran parte insoluble y por tanto sólo es potencialmente tóxico para un posible futuro?.



Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

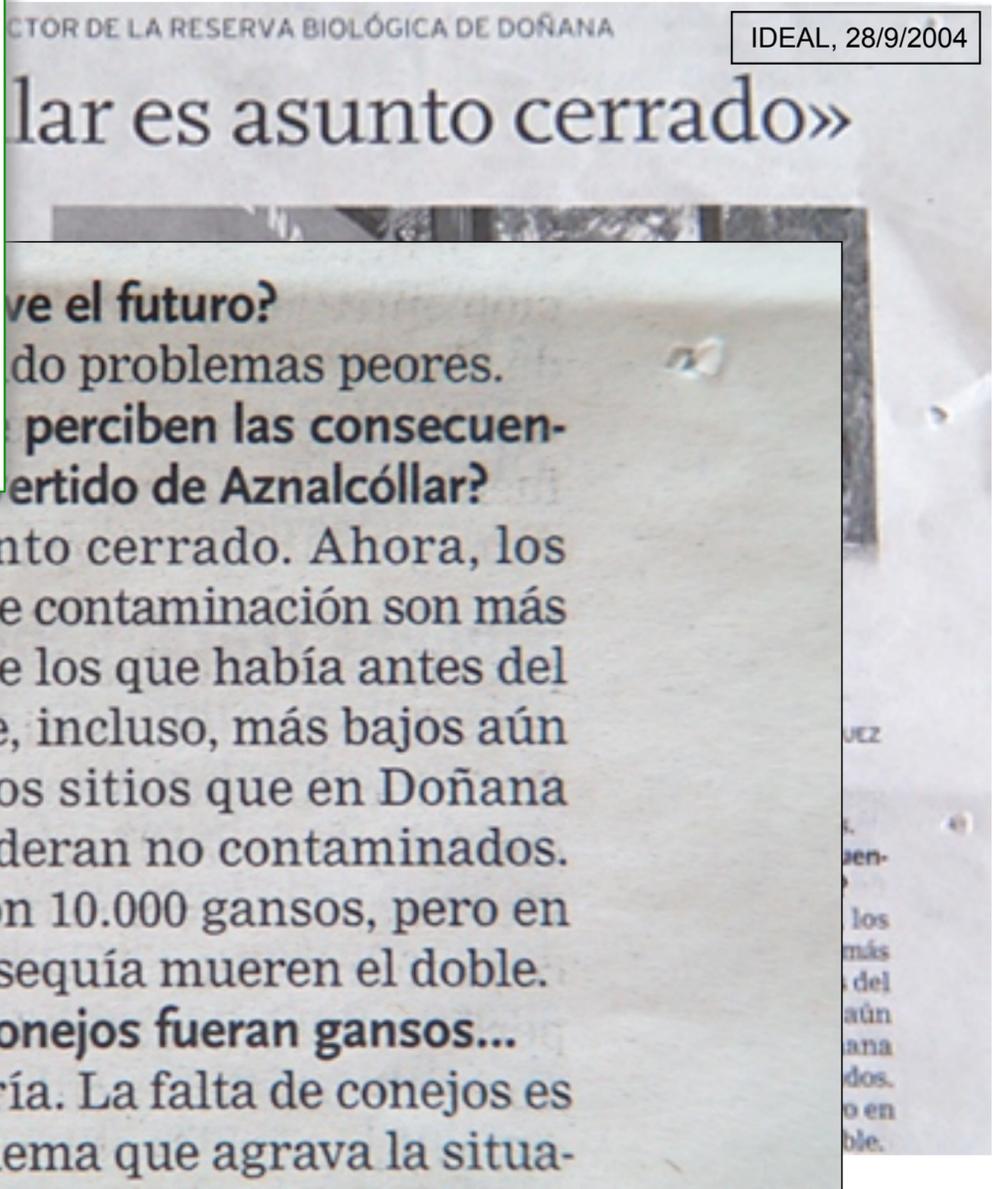


Pero tampoco la situación era tan optimista como la veían otros como ...

Como hemos mostrado en anteriores imágenes, la situación real es que si bien sólo hay posibles problemas de toxicidad para el As en un 24% de los suelos, el resto de metales pesados aunque no se han superado los límites de peligrosidad si han quedado los suelos con unos incrementos que oscilan entre el 30 y el 300% con respecto a las concentraciones antes del vertido. ¡Decir que la zona ha quedado más limpia ... con un incremento de casi el 300% de As!

Bien parece probado que en la zona ha quedado un problema importante con el As, que supera el NI en un 24% de los suelos. Pero ahora debemos plantearnos como de peligroso es este As, es decir como se encuentra este As. ¿Está soluble y por tanto es tóxico o está en gran parte insoluble y por tanto sólo es potencialmente tóxico para un posible futuro?.

Uso del suelo: Parques nacionales		
2010	nivel interv. mg kg ⁻¹	suelos potencialmente contaminados
Cd	15	0%
Cu	500	0%
Tl	10	0%
Pb	1000	0%
Zn	1000	5%
As	100	24%



Pero tampoco la situación era tan optimista como la veían otros como ...

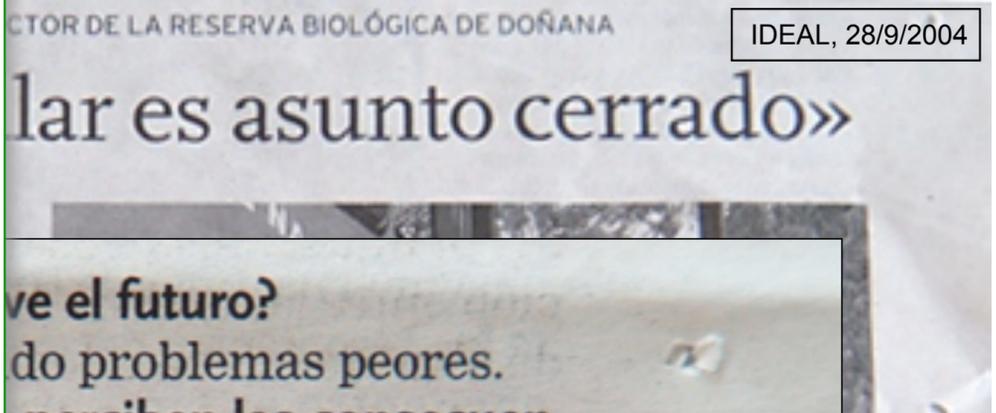
Como hemos mostrado en anteriores imágenes, la situación real es que si bien sólo hay posibles problemas de toxicidad para el As en un 24% de los suelos, el resto de metales pesados aunque no se han superado los límites de peligrosidad si han quedado los suelos con unos incrementos que oscilan entre el 30 y el 300% con respecto a los concentraciones antes del vertido. ¡Decir que la zona ha quedado más limpia ... con un incremento de casi el 300% de As!

Bien parece probado que en la zona ha quedado un problema importante con el As, que supera el NI en un 24% de los suelos. Pero ahora debemos plantearnos como de peligroso es este As, es decir como se encuentra este As. ¿Está soluble y por tanto es tóxico o está en gran parte insoluble y por tanto sólo es potencialmente tóxico para un posible futuro?.



Uso del suelo: Parques nacionales

2010	nivel interv. mg kg ⁻¹	suelos potencialmente contaminados
Cd	15	0%
Cu	500	0%
Tl	10	0%
Pb	1000	0%
Zn	1000	5%
As	100	24%



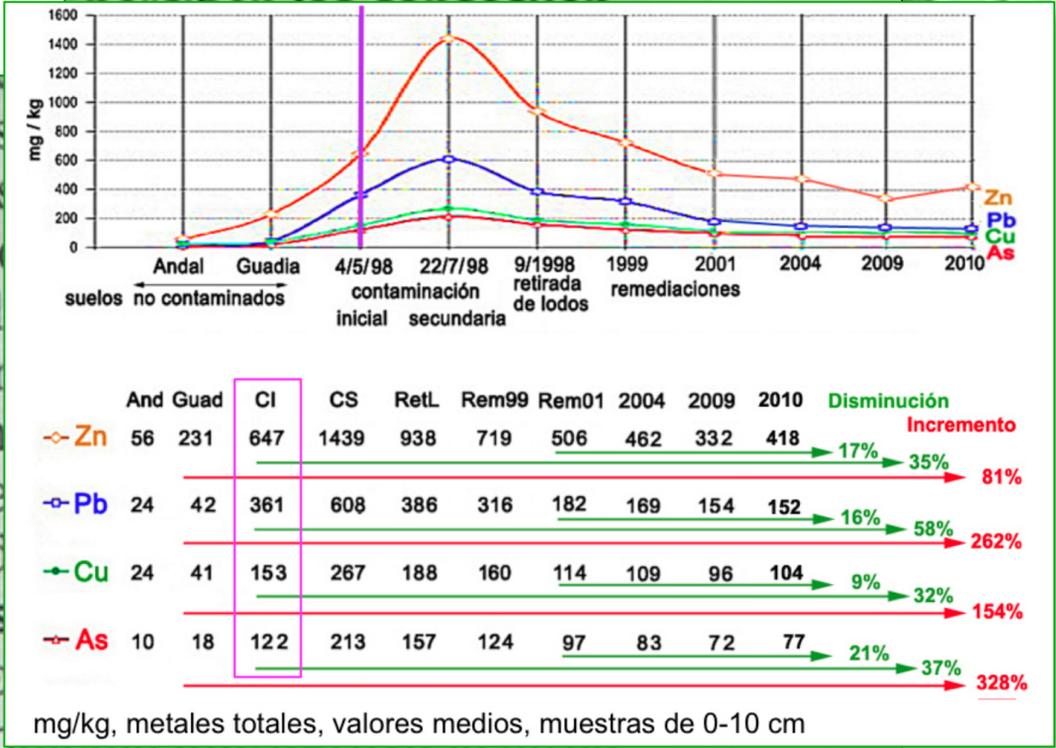
IDEAL, 28/9/2004

«Los resu...
os hasta ab...
que la mayo...
des estudia...
mas en e...
ie, es decir...
esgo de pad...
es infeccios...
odos tienen l...
n -glomeru...
ranosas- a...
o grado», ase...
t, patóloga v...
el equipo im...
evado núme...
disecciona...
bajo -17- lo...
una muest...
ntativa» de...
azada pobla...
o de la faun...

en paliar este...
ede hacerlo?
decidir.
onces?
oblamiento...
na carretera...
salida por el...
or la reserva.

«Espadas»
ue los vecinos

-Es as...
niveles...
bajos...
vertid...
que en...
se con...
Murie...
años d...
-Si los...
-Ya po...
un pro...



Pero tampoco la situación era tan optimista como la veían otros como ...

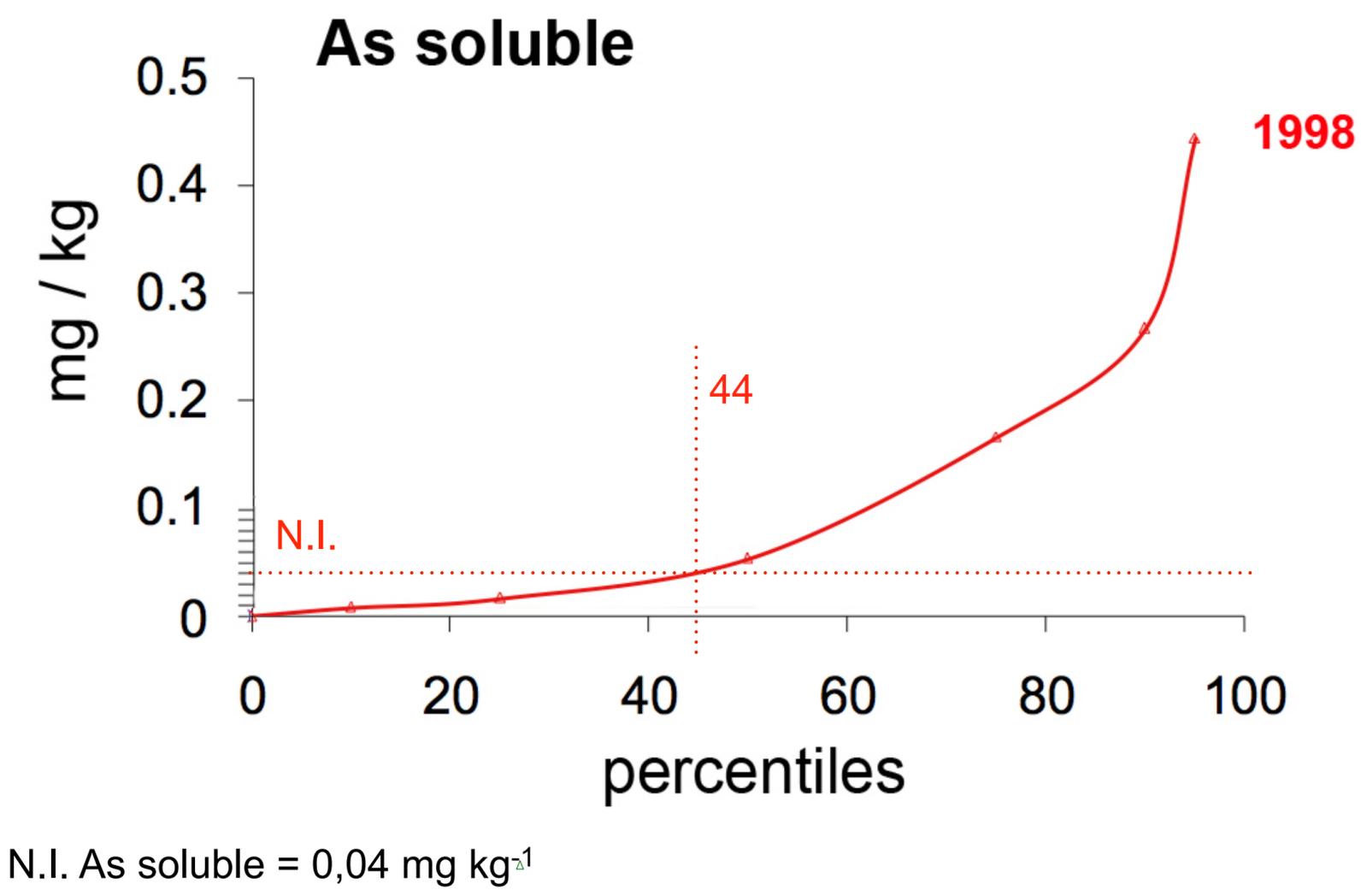
Como hemos mostrado en anteriores imágenes, la situación real es que si bien sólo hay posibles problemas de toxicidad para el As en un 24% de los suelos, el resto de metales pesados aunque no se han superado los límites de peligrosidad si han quedado los suelos con unos incrementos que oscilan entre el 30 y el 300% con respecto a los concentraciones antes del vertido. ¡Decir que la zona ha quedado más limpia ... con un incremento de casi el 300% de As!

Bien parece probado que en la zona ha quedado un problema importante con el As, que supera el NI en un 24% de los suelos. Pero ahora debemos plantearnos como de peligroso es este As, es decir como se encuentra este As. ¿Está soluble y por tanto es tóxico o está en gran parte insoluble y por tanto sólo es potencialmente tóxico para un posible futuro?.



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

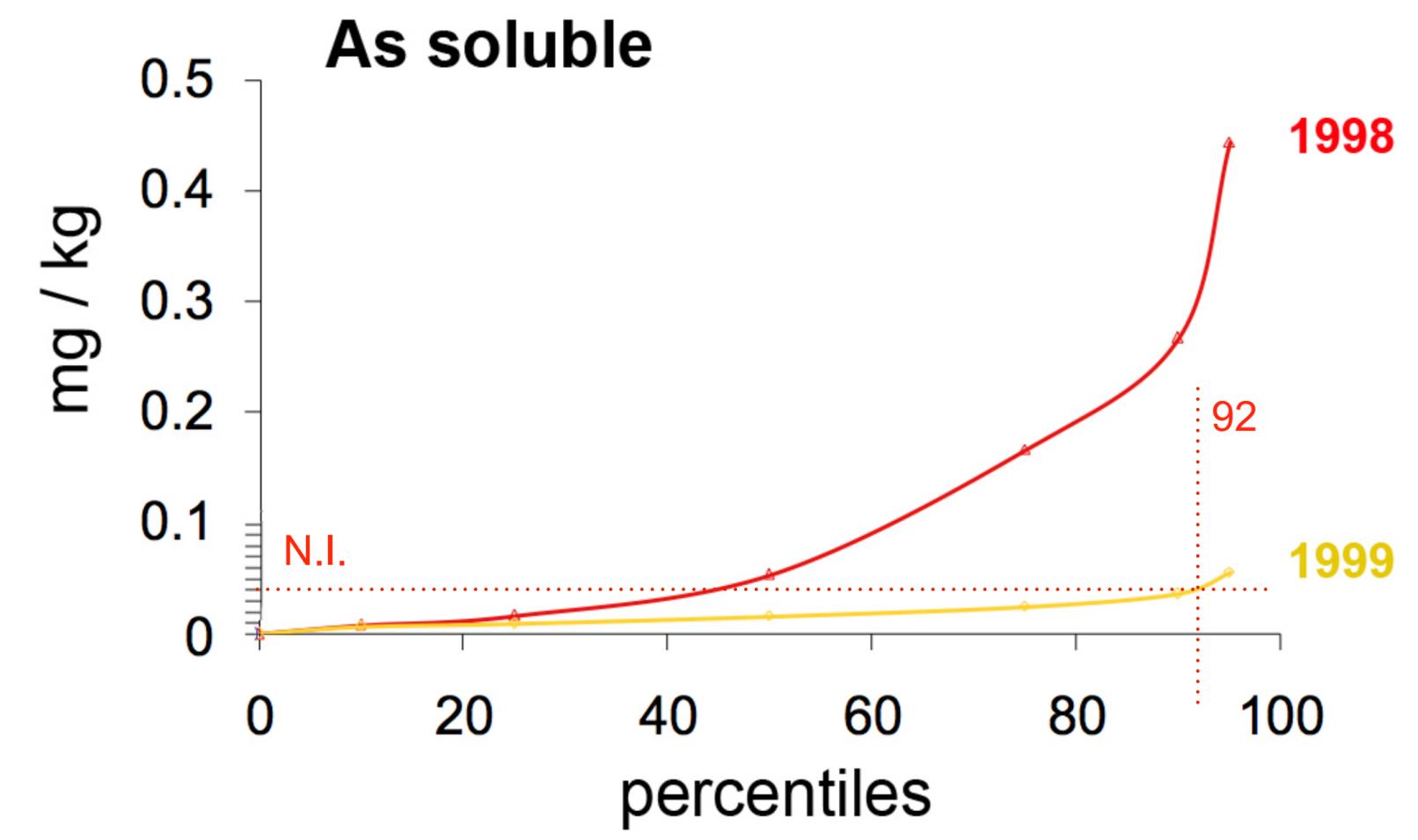


Bien, en esta gráfica representamos los percentiles de la fracción As soluble en las muestras de 1998 con el N. I. en el percentil 44



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



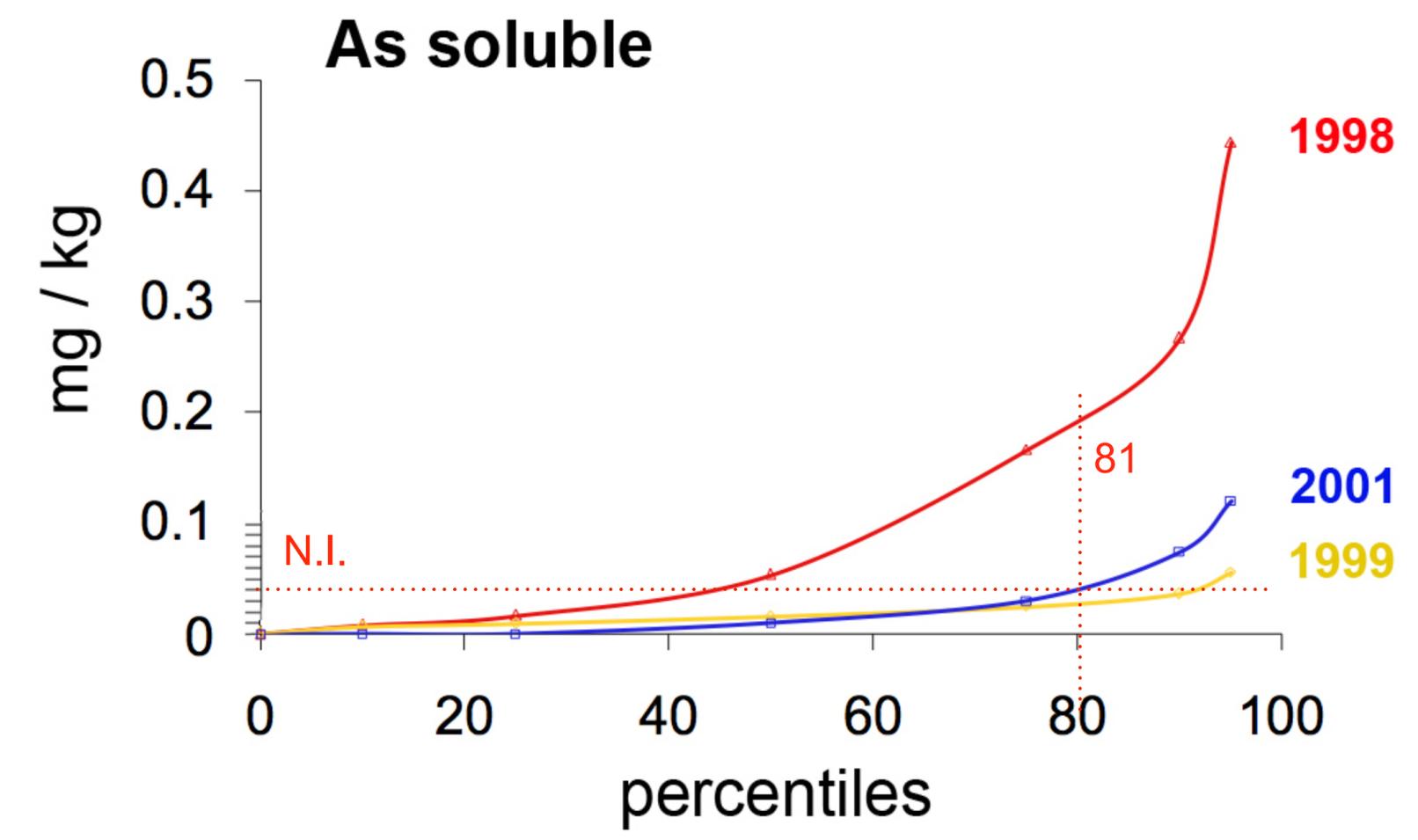
N.I. As soluble = 0,04 mg kg⁻¹

Las concentraciones de As soluble decrecen espectacularmente en las muestras del año siguiente, y ya no se alcanza el N.I. hasta el percentil 92



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



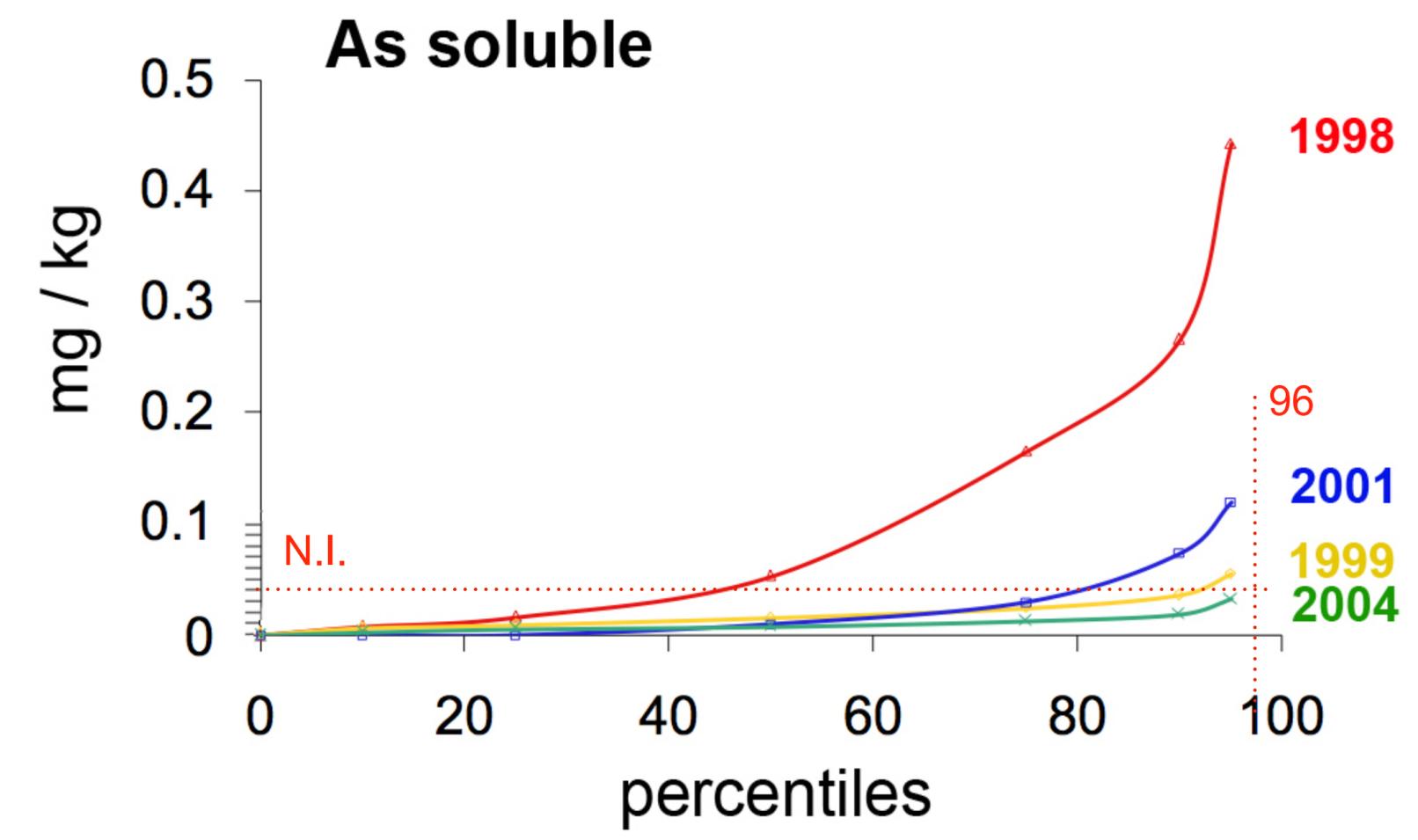
N.I. As soluble = 0,04 mg kg⁻¹

En el 20101 aumentan ligeramente,



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



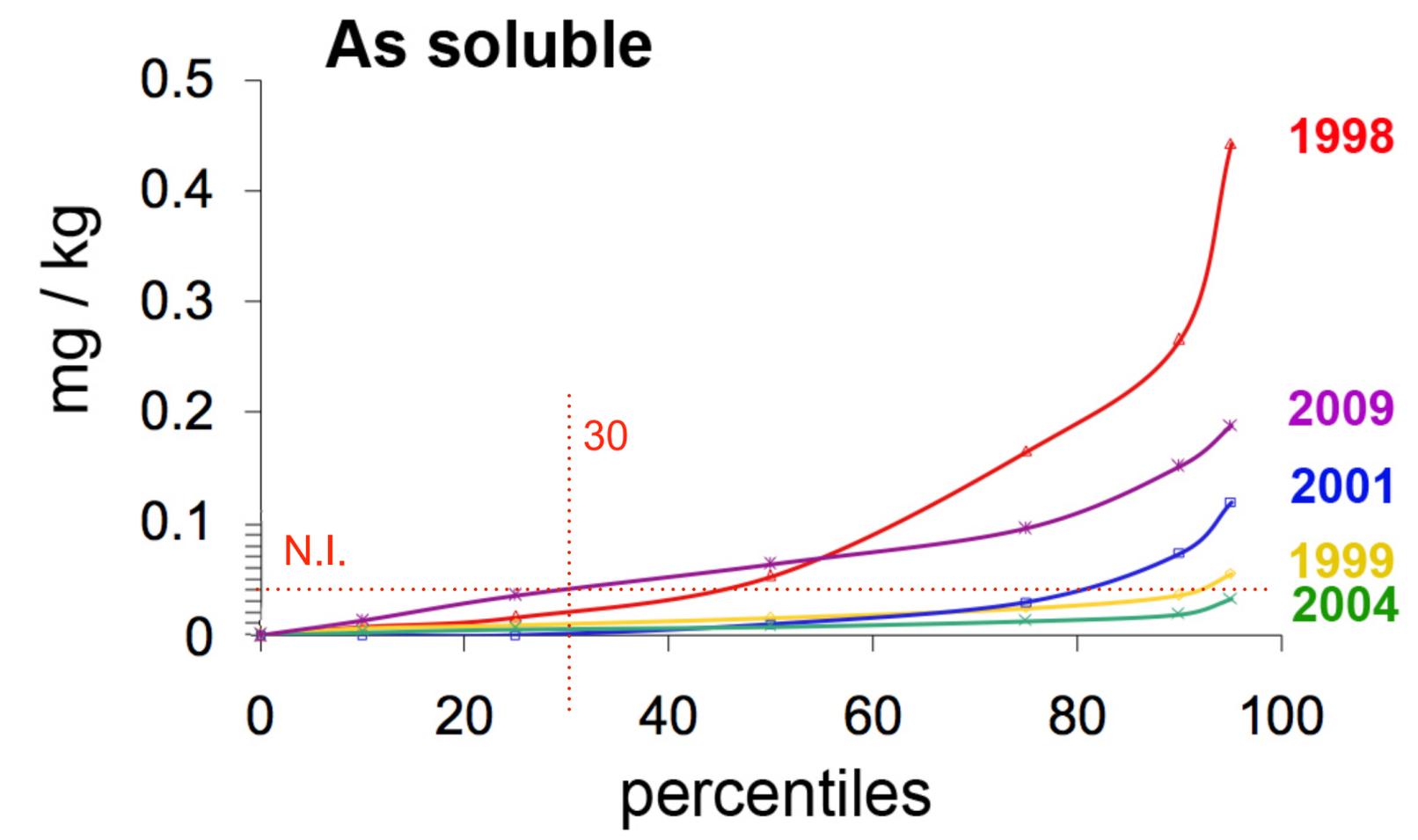
N.I. As soluble = 0,04 mg kg⁻¹

que nuevamente decrecen en el 2004



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



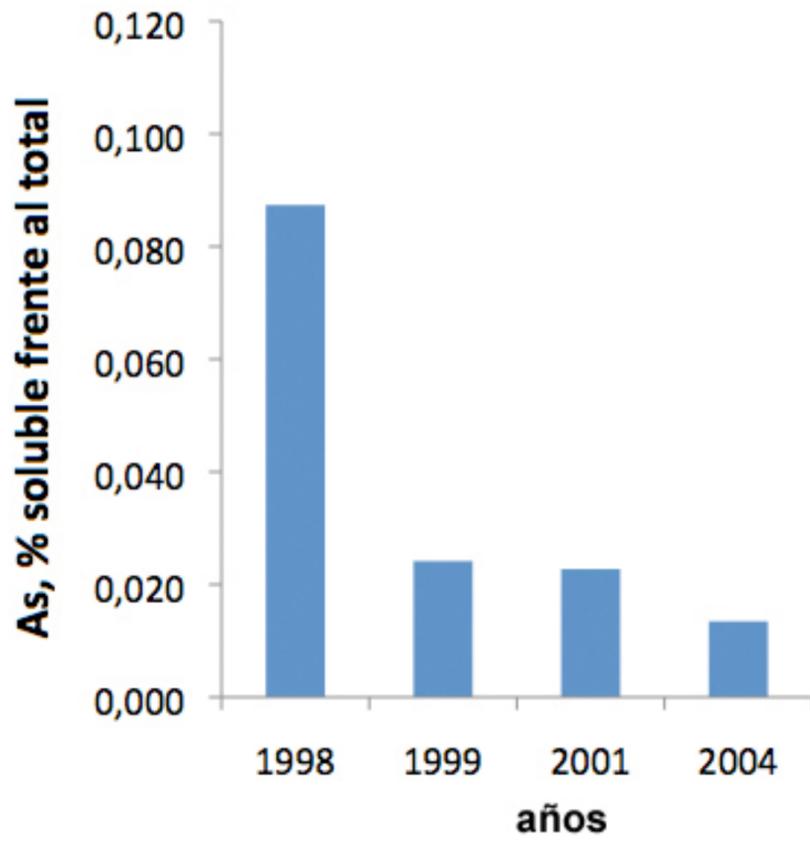
N.I. As soluble = 0,04 mg kg⁻¹

pero en las últimas muestras analizadas, las del 2009, (pues las de este año se están elaborando) muestran un marcado incremento.

La movilización del As en estos dos últimos años se pone drásticamente de manifiesto si representamos la relación entre el As soluble y el total.

Aznalcóllar, hoy.

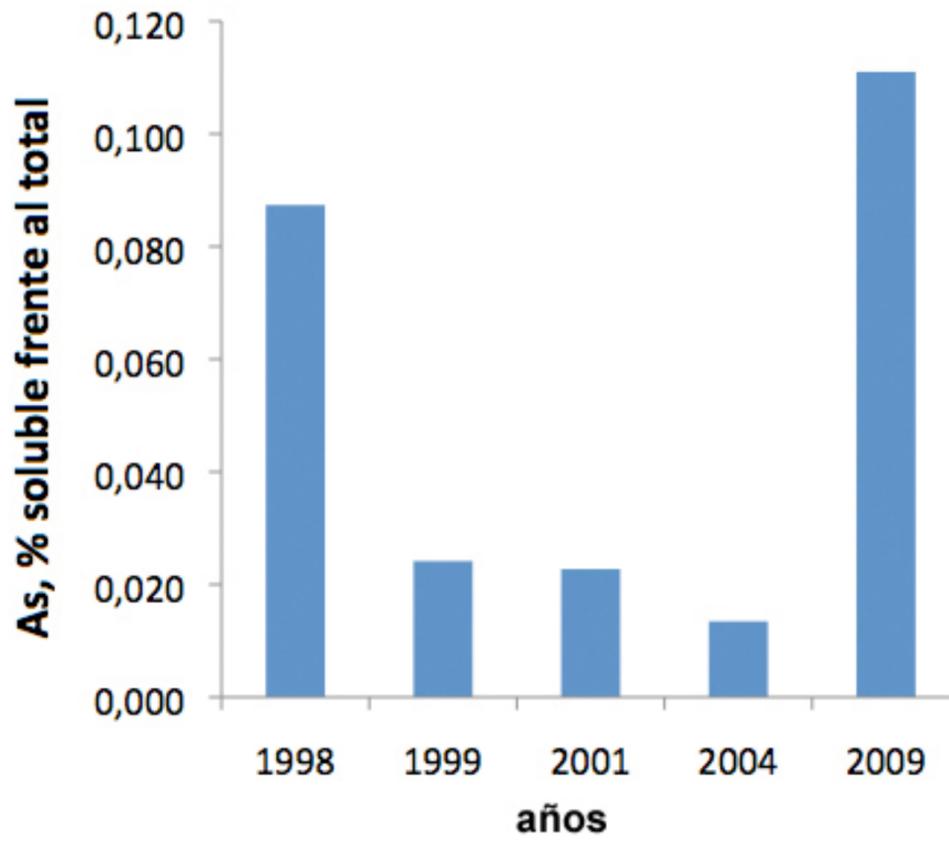
1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Los primeros años el As se va inmovilizando y en el 2009 la tendencia se invierte drásticamente (sobre este tema estamos investigando actualmente).

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro

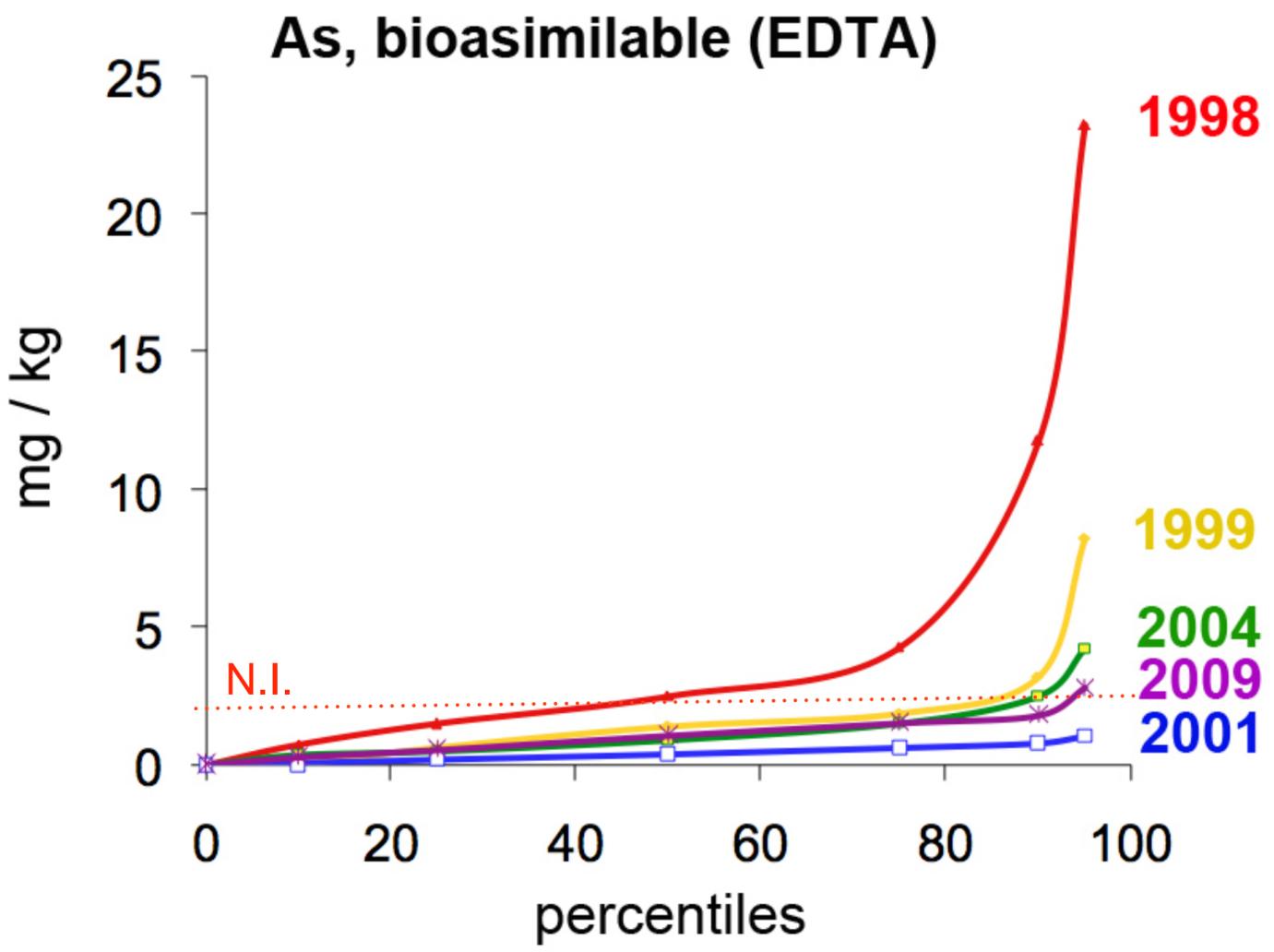


Los primeros años el As se va inmovilizando y en el 2009 la tendencia se invierte drásticamente (sobre este tema estamos investigando actualmente).



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



N.I. As EDTA = 2,0 mg kg⁻¹

En el caso de la fracción bioasimilable, se mantiene la tendencia del As soluble pero mucho menos manifiesta.

De cualquier forma si visitamos hoy la zona. Su aspecto es bastante positivo.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Este es el aspecto actual del río Guadiamar. Así es como estaba antes del vertido y así estuvo durante las primeras medidas de rehabilitación.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Este es el aspecto actual del río Guadiamar. Así es como estaba antes del vertido y así estuvo durante las primeras medidas de rehabilitación.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Este es el aspecto actual del río Guadiamar. Así es como estaba antes del vertido y así estuvo durante las primeras medidas de rehabilitación.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



en muchas partes, especialmente en la zona carbonatada, la implantación de la vegetación es muy completa

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



aunque, siguen habiendo claros, especialmente en la zona ácida.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

• 4 Evolución sin intervención

Bien, ahora podemos plantearnos, si me permiten la expresión, la pregunta del millón, que hubiese pasado en la cuenca si no se hubiese actuado. En definitiva, ¿Seremos capaces de responder a esta interrogante?.

- **4 Evolución sin intervención**

¿La retirada de los lodos fue una decisión correcta?

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Pues gracias a que la Junta de Andalucía dejó dos parcelas para investigación con la recubierta de lodos sin retirar, en la zona del Vado del Quema

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro



Y a que también nosotros al rastrear a fondo la zona hemos encontrado varios puntos aislados repartidos por la cuenca que escaparon a la retirada de los lodos. Podemos intentar responder a esta cuestión.



suelo básico con carbonatos



suelo ácido sin carbonatos

Al transcurrir los años tanto en los suelos básicos como en los ácidos los perfiles muestran una intensa modificación. Así al cabo de los 3 años aparece muy nítida una capa de color blanco en la parte superior del suelo, en el contacto del suelo con la capa de lodos y debajo de esta aparece otra capa de color rojizo. Estas capas son el resultado de intensas alteraciones y contaminaciones.

En lo referente a la alteración ...



suelo básico con carbonatos



suelo ácido sin carbonatos

- Alteración
- Contaminación

Al transcurrir los años tanto en los suelos básicos como en los ácidos los perfiles muestran una intensa modificación. Así al cabo de los 3 años aparece muy nítida una capa de color blanco en la parte superior del suelo, en el contacto del suelo con la capa de lodos y debajo de esta aparece otra capa de color rojizo. Estas capas son el resultado de intensas alteraciones y contaminaciones.

En lo referente a la alteración ...

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

● Alteración



suelo con carbonatos

En el fondo del perfil, a unos 70/80cm, los suelos carbonatados muestran tanto a nivel macro, en campo, como en laboratorio, al microscopio óptico, un aspecto similar al del los suelos no contaminados.

Por encima la capa acre-rojiza muestra una importante alteración. El Fe de la solución, contaminante, precipita formando compuestos de color ocre-rojizo gene. mal cristalizados que agregan a los granos mine. que han resistido, en > o < grado, la alteración de la solución ácida y aparecen abundantes cristales de yeso.

En la capa más superficial, la gris-blanca la alteración es máxima. La infiltración de la sol ácida procedente de los lodos, con un pH tan bajo como 1,8 destruye totalmente a los minerales y aparece un residuo formando unas masas de baja cristalinidad. Como resultado de la hidrólisis mineral aparecen espacios vacíos en el suelo (en negro en la imagen) que se agrupan también horizontalmente. La estructura del suelo se destruye y adopta un tipo laminar.

En el SEM se observa el aspecto vítreo de este residuo y el micro análisis por energías dispersivas de rayos X muestra una composición de Fe y S aportados por la sol ácida contaminante procedente de los lodos, junto a Si, Al, Mg, Ca y K procedentes de la alteración mineral.

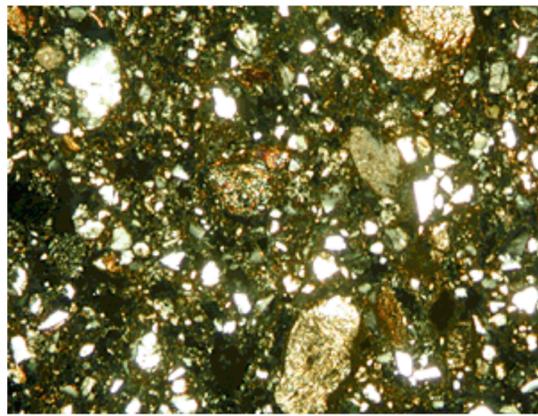
● Alteración

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



suelo con carbonatos



horiz. profundo

En el fondo del perfil, a unos 70/80cm, los suelos carbonatados muestran tanto a nivel macro, en campo, como en laboratorio, al microscopio óptico, un aspecto similar al del los suelos no contaminados.

Por encima la capa acre-rojiza muestra una importante alteración. El Fe de la solución, contaminante, precipita formando compuestos de color ocre-rojizo gene. mal cristalizados que agregan a los granos mine. que han resistido, en > o < grado, la alteración de la solución ácida y aparecen abundantes cristales de yeso.

En la capa más superficial, la gris-blanca la alteración es máxima. La infiltración de la sol ácida procedente de los lodos, con un pH tan bajo como 1,8 destruye totalmente a los minerales y aparece un residuo formando unas masas de baja cristalinidad. Como resultado de la hidrólisis mineral aparecen espacios vacíos en el suelo (en negro en la imagen) que se agrupan también horizontalmente. La estructura del suelo se destruye y adopta un tipo laminar.

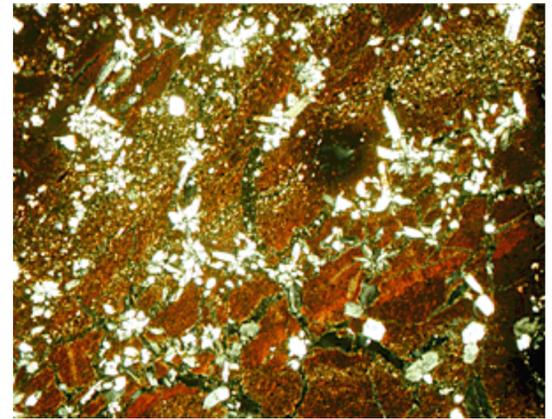
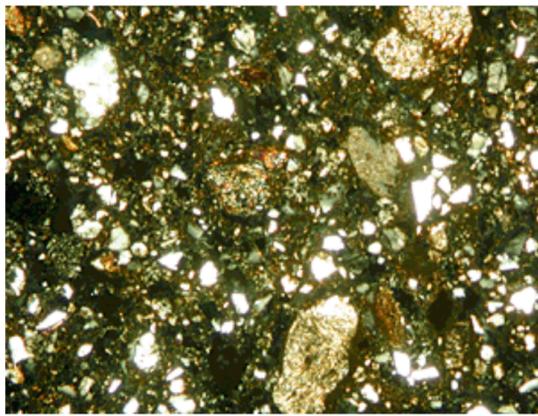
En el SEM se observa el aspecto vítreo de este residuo y el micro análisis por energías dispersivas de rayos X muestra una composición de Fe y S aportados por la sol ácida contaminante procedente de los lodos, junto a Si, Al, Mg, Ca y K procedentes de la alteración mineral.

● Alteración



suelo con carbonatos

horiz. profundo



capa roja con yeso y Fe

En el fondo del perfil. a unos 70/80cm, los suelos carbonatados muestran tanto a nivel macro, en campo, como en laboratorio, al microscopio óptico, un aspecto similar al del los suelos no contaminados.

Por encima la capa acre-rojiza muestra una importante alteración. El Fe de la solución. contaminante. precipita formando compuestos de color ocre-rojizo gene. mal cristalizados que agregan a los granos mine. que han resistido, en > o < grado, la alteración de la solución ácida y aparecen abundantes cristales de yeso.

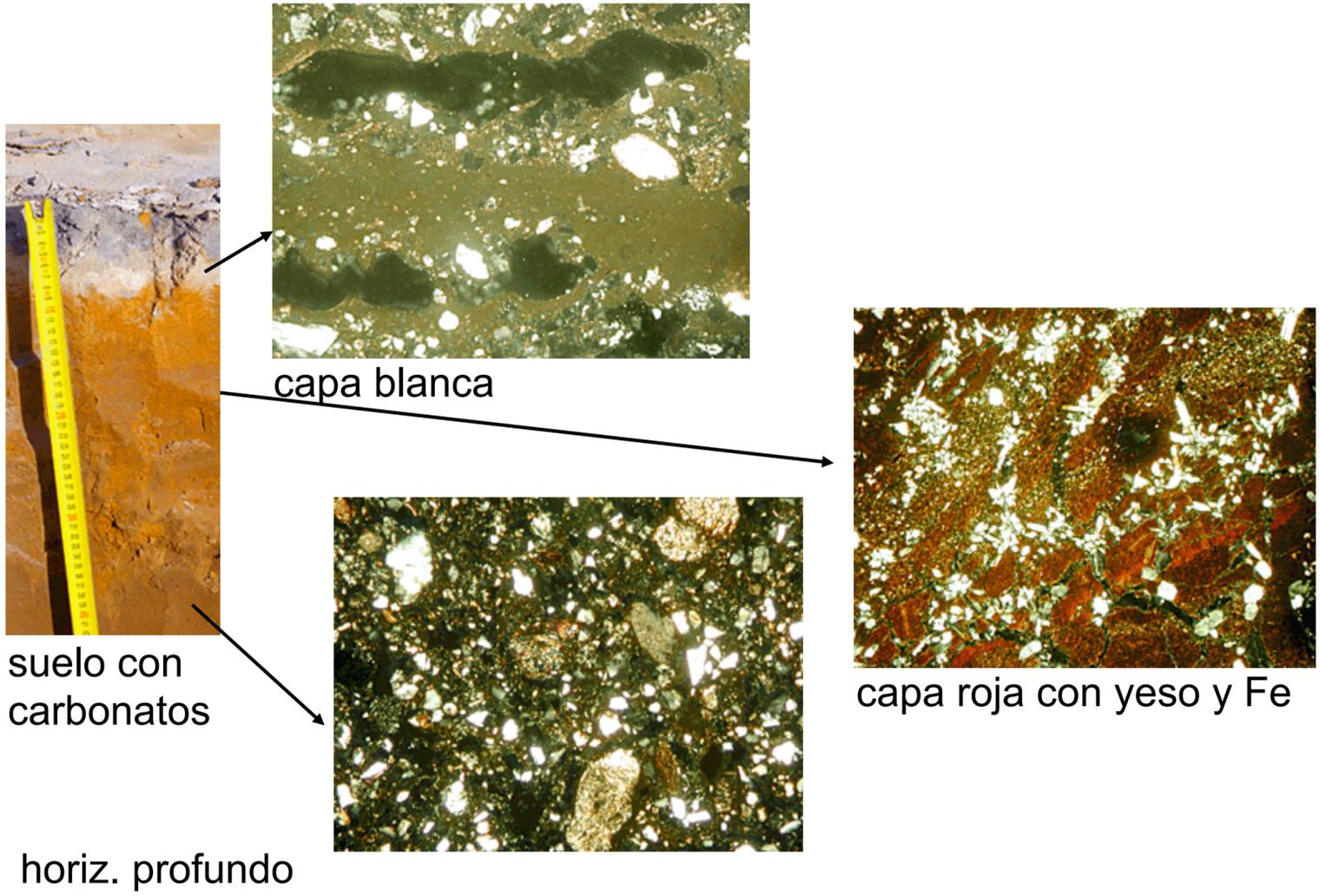
En la capa más superficial, la gris-blanca la alteración es máxima. La infiltración de la sol ácida procedente de los lodos, con un pH tan bajo como 1,8 destruye totalmente a los minerales y aparece un residuo formando unas masas de baja cristalinidad. Como resultado de la hidrólisis mineral aparecen espacios vacíos en el suelo (en negro en la imagen) que se agrupan también horizontalmente. La estructura del suelo se destruye y adopta un tipo laminar.

En el SEM se observa el aspecto vítreo de este residuo y el micro análisis por energías dispersivas de rayos X muestra una composición de Fe y S aportados por la sol ácida contaminante procedente de los lodos, junto a Si, Al, Mg, Ca y K procedentes de la alteración mineral.

● Alteración

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



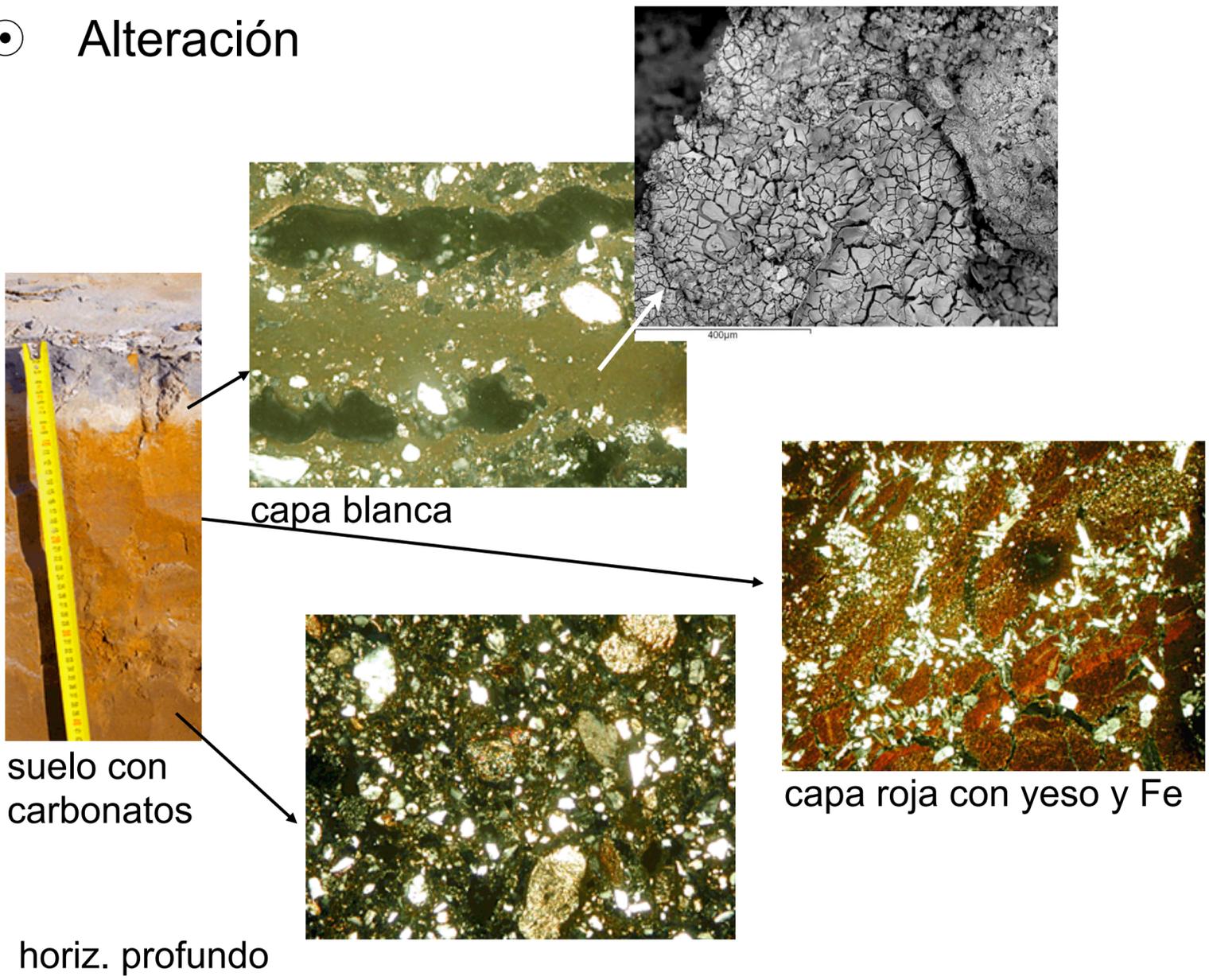
En el fondo del perfil, a unos 70/80cm, los suelos carbonatados muestran tanto a nivel macro, en campo, como en laboratorio, al microscopio óptico, un aspecto similar al del los suelos no contaminados.

Por encima la capa acre-rojiza muestra una importante alteración. El Fe de la solución, contaminante, precipita formando compuestos de color ocre-rojizo gen. mal cristalizados que agregan a los granos mine. que han resistido, en > o < grado, la alteración de la solución ácida y aparecen abundantes cristales de yeso.

En la capa más superficial, la gris-blanca la alteración es máxima. La infiltración de la sol ácida procedente de los lodos, con un pH tan bajo como 1,8 destruye totalmente a los minerales y aparece un residuo formando unas masas de baja cristalinidad. Como resultado de la hidrólisis mineral aparecen espacios vacíos en el suelo (en negro en la imagen) que se agrupan también horizontalmente. La estructura del suelo se destruye y adopta un tipo laminar.

En el SEM se observa el aspecto vítreo de este residuo y el micro análisis por energías dispersivas de rayos X muestra una composición de Fe y S aportados por la sol ácida contaminante procedente de los lodos, junto a Si, Al, Mg, Ca y K procedentes de la alteración mineral.

Alteración



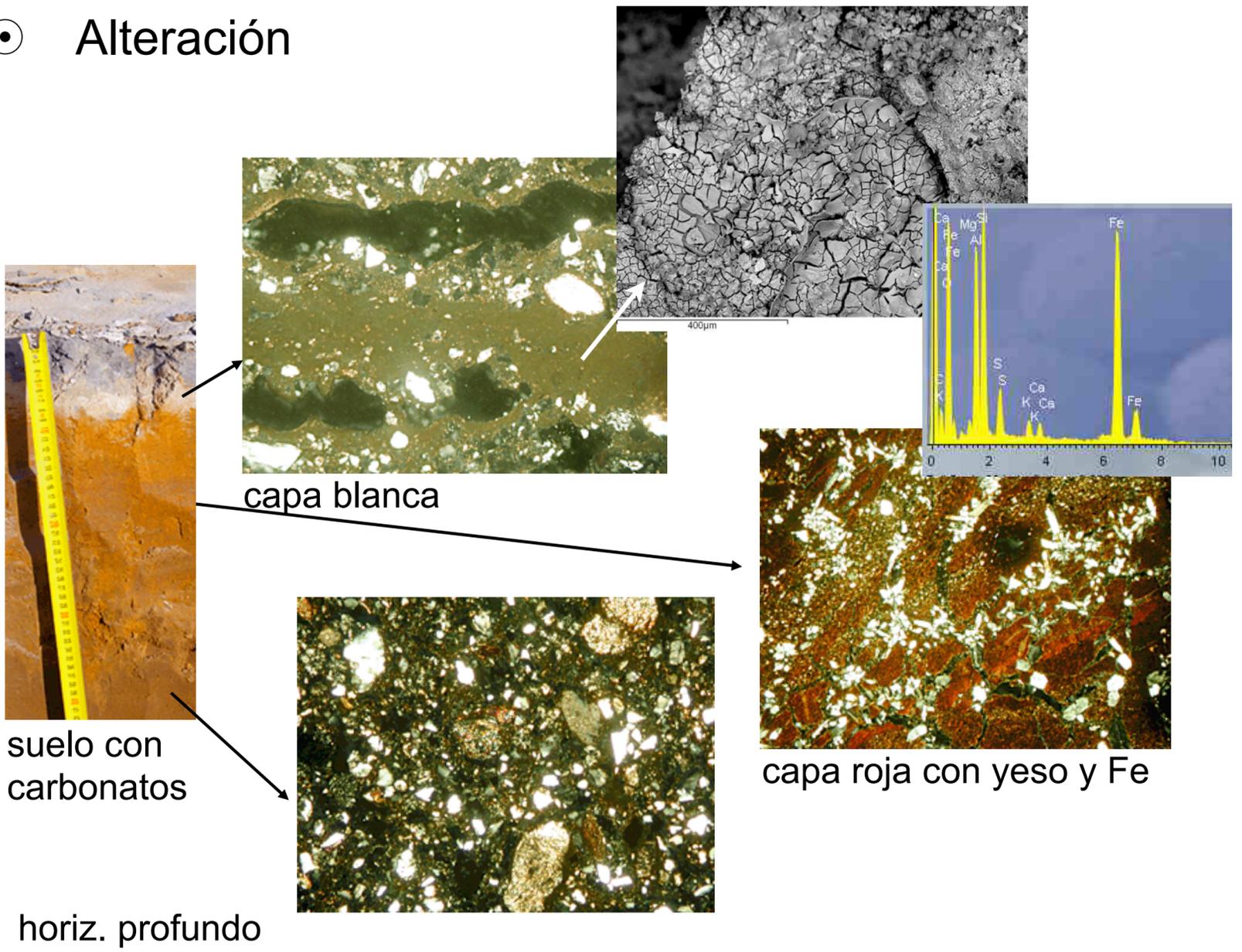
En el fondo del perfil, a unos 70/80cm, los suelos carbonatados muestran tanto a nivel macro, en campo, como en laboratorio, al microscopio óptico, un aspecto similar al del los suelos no contaminados.

Por encima la capa acre-rojiza muestra una importante alteración. El Fe de la solución, contaminante, precipita formando compuestos de color ocre-rojizo generalmente mal cristalizados que agregan a los granos minerales que han resistido, en mayor o menor grado, la alteración de la solución ácida y aparecen abundantes cristales de yeso.

En la capa más superficial, la gris-blanca la alteración es máxima. La infiltración de la solución ácida procedente de los lodos, con un pH tan bajo como 1,8 destruye totalmente a los minerales y aparece un residuo formando unas masas de baja cristalinidad. Como resultado de la hidrólisis mineral aparecen espacios vacíos en el suelo (en negro en la imagen) que se agrupan también horizontalmente. La estructura del suelo se destruye y adopta un tipo laminar.

En el SEM se observa el aspecto vítreo de este residuo y el micro análisis por energías dispersivas de rayos X muestra una composición de Fe y S aportados por la solución ácida contaminante procedente de los lodos, junto a Si, Al, Mg, Ca y K procedentes de la alteración mineral.

Alteración



En el fondo del perfil, a unos 70/80cm, los suelos carbonatados muestran tanto a nivel macro, en campo, como en laboratorio, al microscopio óptico, un aspecto similar al del los suelos no contaminados.

Por encima la capa acre-rojiza muestra una importante alteración. El Fe de la solución, contaminante, precipita formando compuestos de color ocre-rojizo gen. mal cristalizados que agregan a los granos mine. que han resistido, en > o < grado, la alteración de la solución ácida y aparecen abundantes cristales de yeso.

En la capa más superficial, la gris-blanca la alteración es máxima. La infiltración de la sol ácida procedente de los lodos, con un pH tan bajo como 1,8 destruye totalmente a los minerales y aparece un residuo formando unas masas de baja cristalinidad. Como resultado de la hidrólisis mineral aparecen espacios vacíos en el suelo (en negro en la imagen) que se agrupan también horizontalmente. La estructura del suelo se destruye y adopta un tipo laminar.

En el SEM se observa el aspecto vítreo de este residuo y el micro análisis por energías dispersivas de rayos X muestra una composición de Fe y S aportados por la sol ácida contaminante procedente de los lodos, junto a Si, Al, Mg, Ca y K procedentes de la alteración mineral.



Alteración

alteración de los minerales originales del suelo, horizonte más superficial

	Suelo no contaminado	2 meses	15 meses	4 años
carbonatos	15%	5%	0%	0%

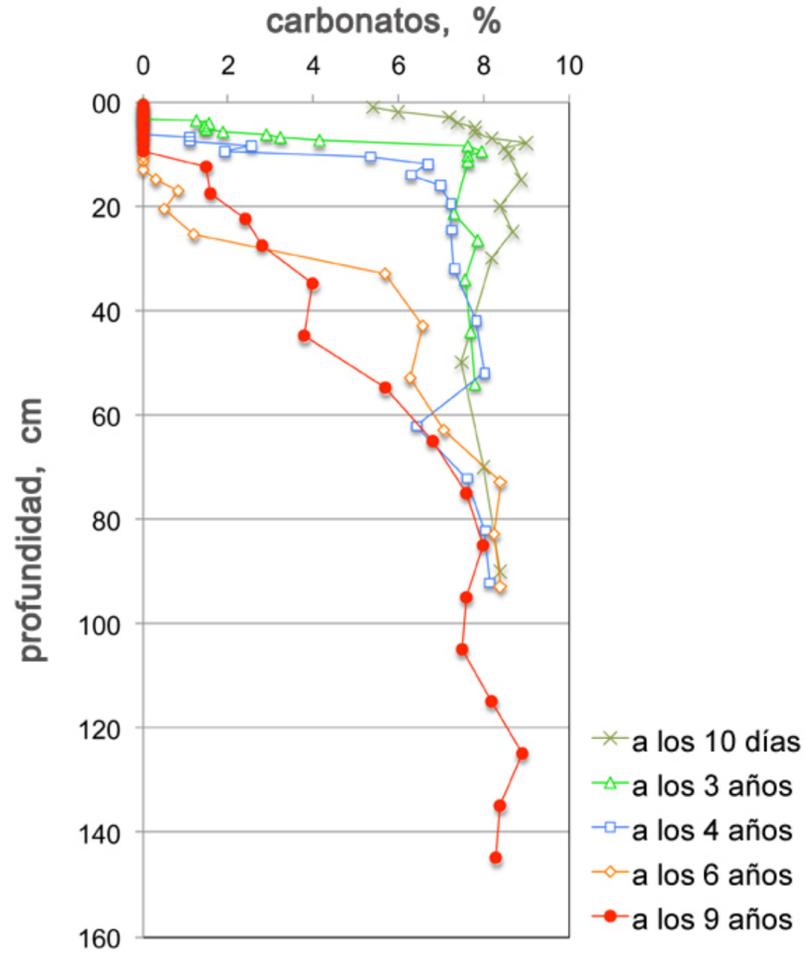
Los carbonatos son los primeros que desaparecen. En el nivel más superficial del suelo, ya a los dos meses, se reducen a la tercera parte, para desaparecer por completo a los 15 meses.

En los perfiles se comprueba que conforme va pasando el tiempo (a los 3 años, a los 6 y a los 9) el paquete de suelo decarbonatado va aumentando de espesor, alcanzando la decarbonatación parcial hasta los 80 cm de profundidad a los 9 años.

Alteración

alteración de los minerales originales del suelo, horizonte más superficial

	Suelo no contaminado	2 meses	15 meses	4 años
carbonatos	15%	5%	0%	0%



Los carbonatos son los primeros que desaparecen. En el nivel más superficial del suelo, ya a los dos meses, se reducen a la tercera parte, para desaparecer por completo a los 15 meses.

En los perfiles se comprueba que conforme va pasando el tiempo (a los 3 años, a los 6 y a los 9) el paquete de suelo decarbonatado va aumentando de espesor, alcanzando la decarbonatación parcial hasta los 80 cm de profundidad a los 9 años.



● Alteración

alteración de los minerales originales del suelo
horizonte más superficial de la capa roja

	Suelo no contaminado	2 meses	15 meses	4 años
Carbonatos	15%	5%	0%	0%
Feldespatos	20%	20%	15%	10%
Filosilicatos	20%	20%	20%	10%
Cuarzo	45%	45%	45%	50%

Tras los carbonatos se alteran también los feldespatos y los filosilicatos, mientras que el cuarzo resiste aparentemente.

Alteración

Neoformación mineral

hidroxisulfatos y oxihidróxidos Fe (Ca , K)



suelo con carbonatos

Por otra parte, los iones disueltos en la solución contaminante junto a los procedentes de la alteración mineral precipitan formando nuevos compuestos. Dada la abundancia de S y de Fe en la solución contaminante, los minerales que se neoformados son hidroxisulfatos y oxihidróxidos fundamentalmente de Fe, pero también de otros cationes como el Ca y K liberados por los minerales primitivos.

Así el mineral neoformado más abundante es el yeso, que se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.

Alteración

Neoformación mineral

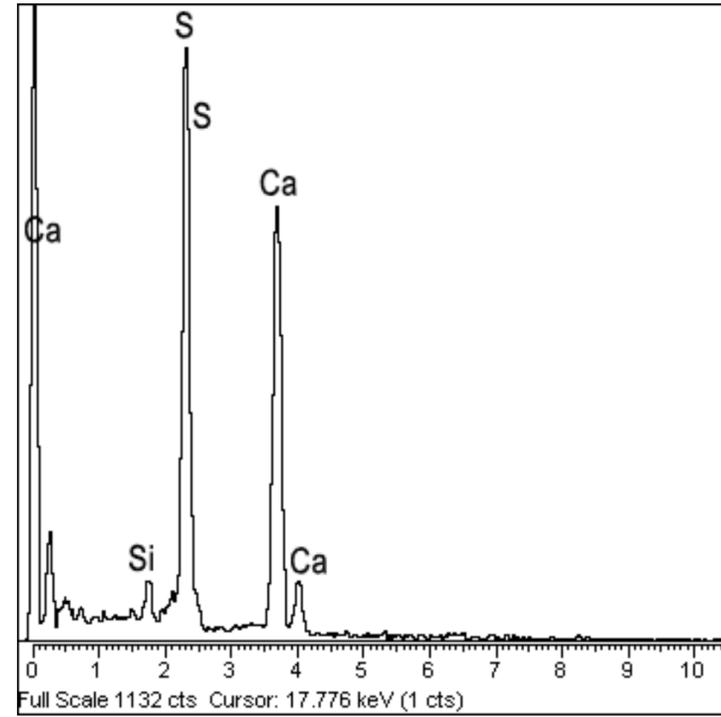
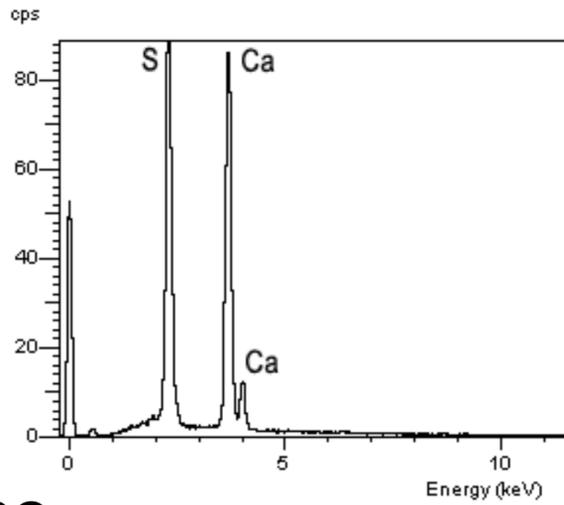


suelo con carbonatos



yeso

hidroxisulfatos y oxihidróxidos Fe (Ca, K)



Por otra parte, los iones disueltos en la solución contaminante junto a los procedentes de la alteración mineral precipitan formando nuevos compuestos. Dada la abundancia de S y de Fe en la solución contaminante, los minerales que se neoformados son hidroxisulfatos y oxihidróxidos fundamentalmente de Fe, pero también de otros cationes como el Ca y K liberados por los minerales primitivos.

Así el mineral neoformado más abundante es el yeso, que se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

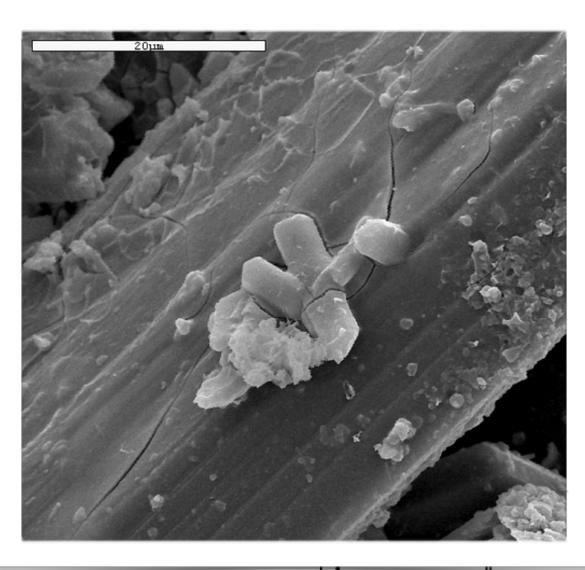
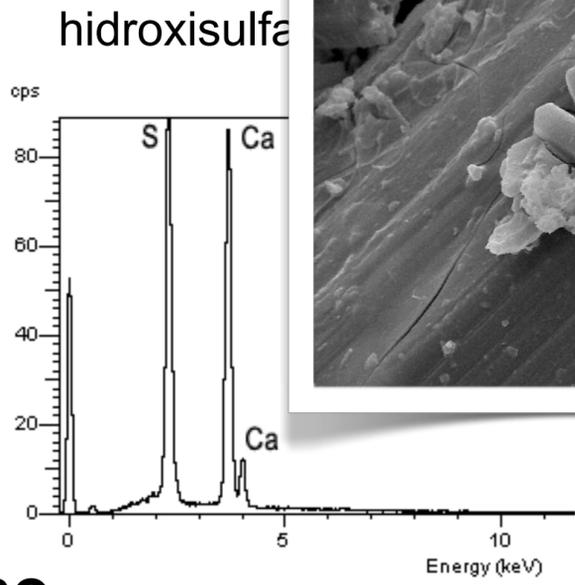
Alteración
Neoformación mineral



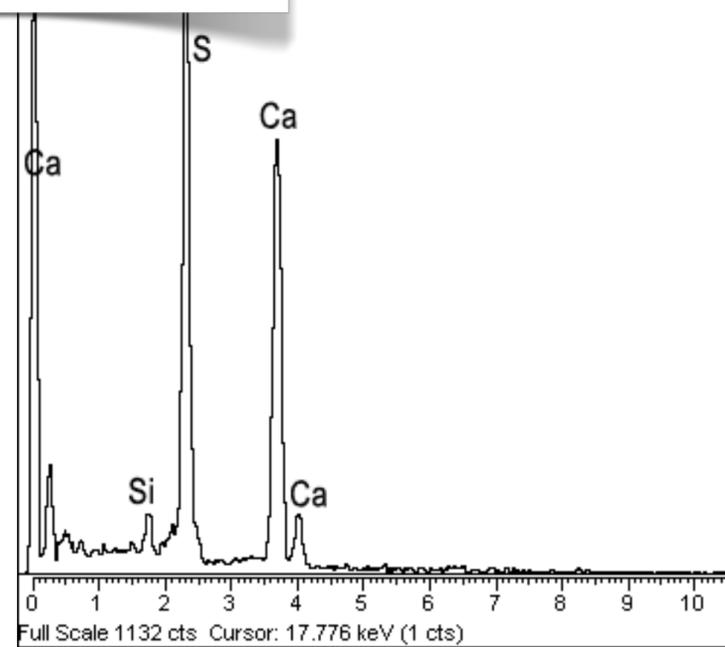
suelo con carbonatos



yeso



K)



Por otra parte, los iones disueltos en la solución contaminante junto a los procedentes de la alteración mineral precipitan formando nuevos compuestos. Dada la abundancia de S y de Fe en la solución contaminante, los minerales que se neoformados son hidroxisulfatos y oxihidróxidos fundamentalmente de Fe, pero también de otros cationes como el Ca y K liberados por los minerales primitivos.

Así el mineral neoformado más abundante es el yeso, que se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.

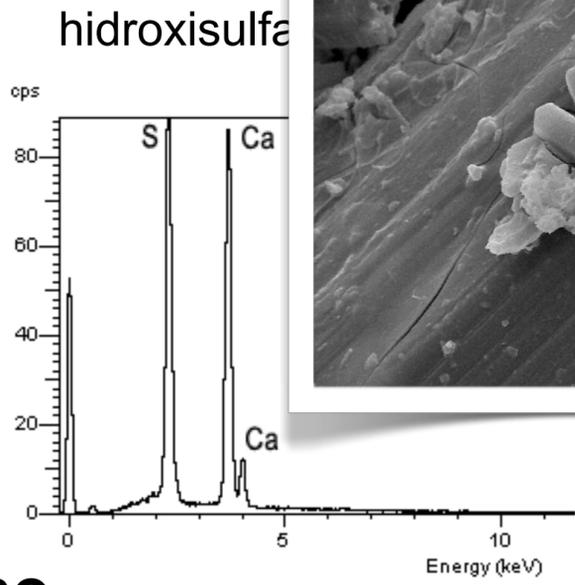
Alteración
Neoformación mineral



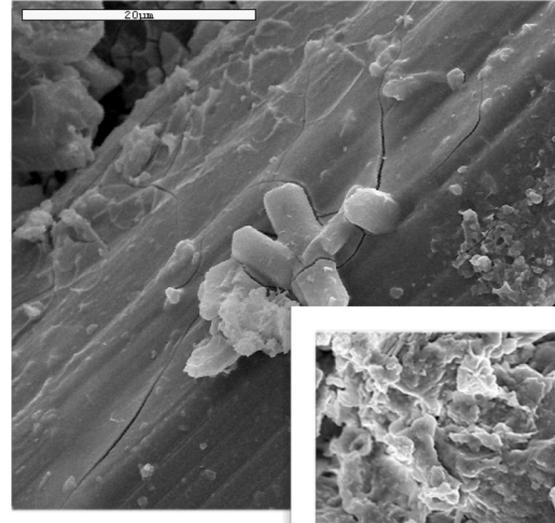
suelo con carbonatos



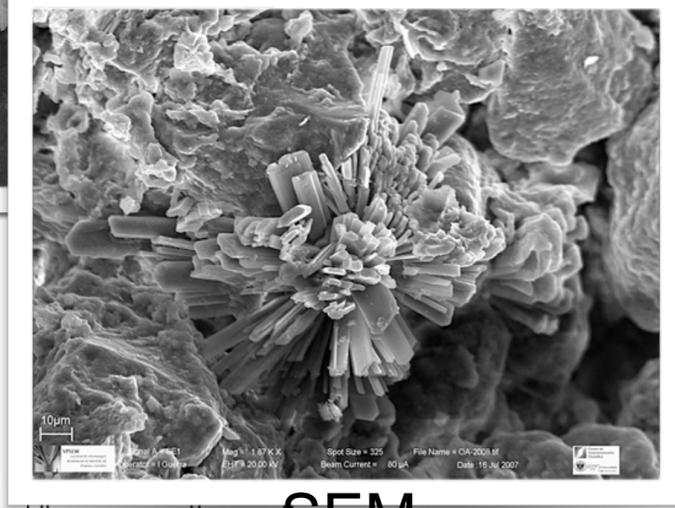
yeso



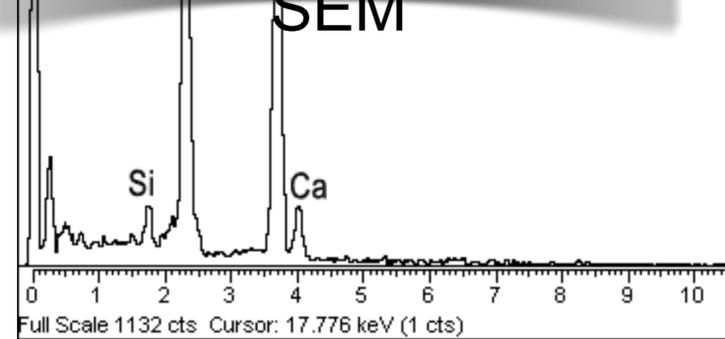
hidroxisulfato



K)



SEM



Por otra parte, los iones disueltos en la solución contaminante junto a los procedentes de la alteración mineral precipitan formando nuevos compuestos. Dada la abundancia de S y de Fe en la solución contaminante, los minerales que se neoformados son hidroxisulfatos y oxihidróxidos fundamentalmente de Fe, pero también de otros cationes como el Ca y K liberados por los minerales primitivos.

Así el mineral neoformado más abundante es el yeso, que se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

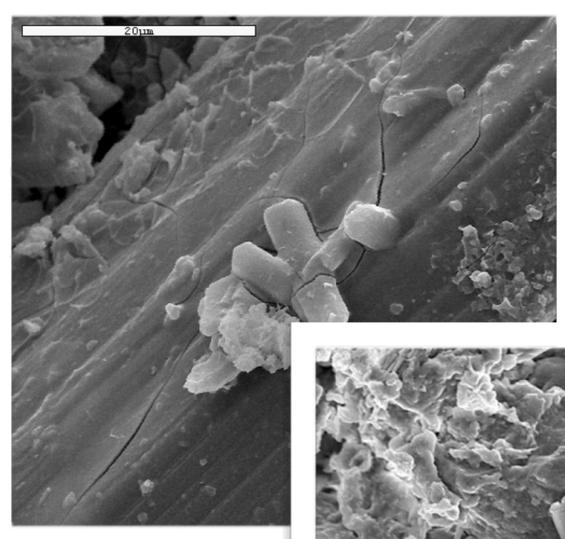
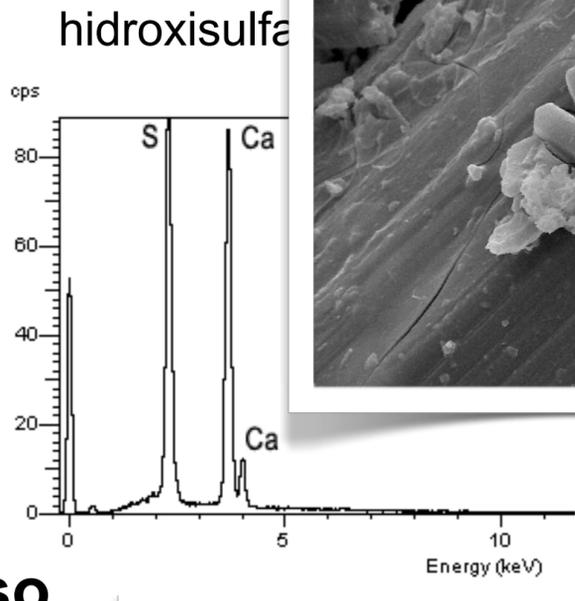
Alteración
Neoformación mineral



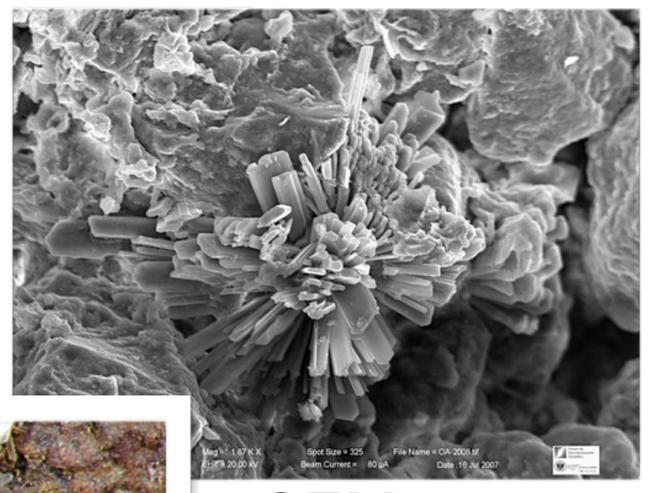
suelo con carbonatos



yeso



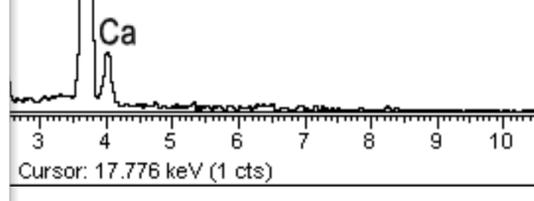
K)



SEM



lupa binocular



Por otra parte, los iones disueltos en la solución contaminante junto a los procedentes de la alteración mineral precipitan formando nuevos compuestos. Dada la abundancia de S y de Fe en la solución contaminante, los minerales que se neoformados son hidroxisulfatos y oxihidróxidos fundamentalmente de Fe, pero también de otros cationes como el Ca y K liberados por los minerales primitivos.

Así el mineral neoformado más abundante es el yeso, que se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.

Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

A lo largo del perfil se establece un gradiente en el pH y en los contenidos en Fe y S que van a condicionar el tipo de minerales neoformados.

En la capa blanca y en la parte superficial de la capa rojiza, aparece un hidroxisulfato de Fe con K, que identificamos como jarosita, formando agregados de pequeños cristales con formas pseudocúbicas, en esta otra imagen recubriendo a un prisma de yeso.

Se forma en los niveles más fuertemente ácidos y con abundancia de S, con razones molares Fe/S de entre 1,3 y 1,5.

Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

A lo largo del perfil se establece un gradiente en el pH y en los contenidos en Fe y S que van a condicionar el tipo de minerales neoformados.

En la capa blanca y en la parte superficial de la capa rojiza, aparece un hidroxisulfato de Fe con K, que identificamos como jarosita, formando agregados de pequeños cristales con formas pseudocúbicas, en esta otra imagen recubriendo a un prisma de yeso.

Se forma en los niveles más fuertemente ácidos y con abundancia de S, con razones molares Fe/S de entre 1,3 y 1,5.

Neoformación mineral

Alteración

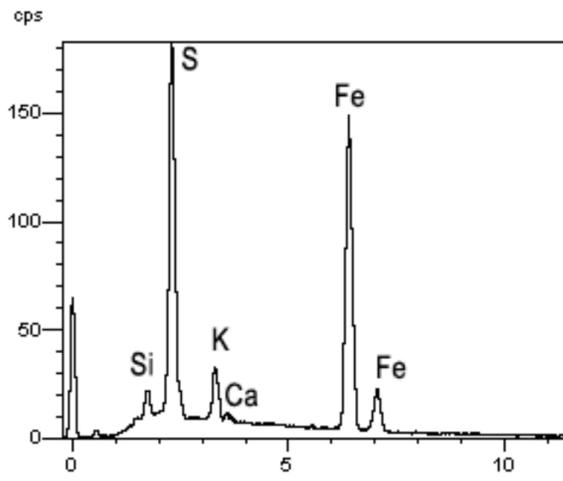
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos



A lo largo del perfil se establece un gradiente en el pH y en los contenidos en Fe y S que van a condicionar el tipo de minerales neoformados.

En la capa blanca y en la parte superficial de la capa rojiza, aparece un hidroxisulfato de Fe con K, que identificamos como jarosita, formando agregados de pequeños cristales con formas pseudocúbicas, en esta otra imagen recubriendo a un prisma de yeso.

Se forma en los niveles más fuertemente ácidos y con abundancia de S, con razones molares Fe/S de entre 1,3 y 1,5.

Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

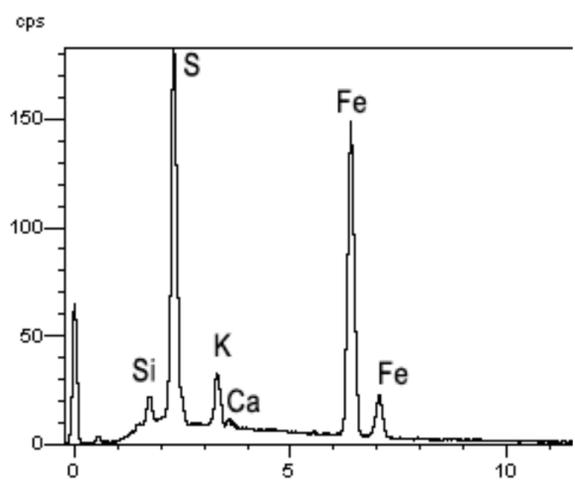
1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



↕ jarosita

suelo con carbonatos



A lo largo del perfil se establece un gradiente en el pH y en los contenidos en Fe y S que van a condicionar el tipo de minerales neoformados.

En la capa blanca y en la parte superficial de la capa rojiza, aparece un hidroxisulfato de Fe con K, que identificamos como jarosita, formando agregados de pequeños cristales con formas pseudocúbicas, en esta otra imagen recubriendo a un prisma de yeso.

Se forma en los niveles más fuertemente ácidos y con abundancia de S, con razones molares Fe/S de entre 1,3 y 1,5.

Alteración

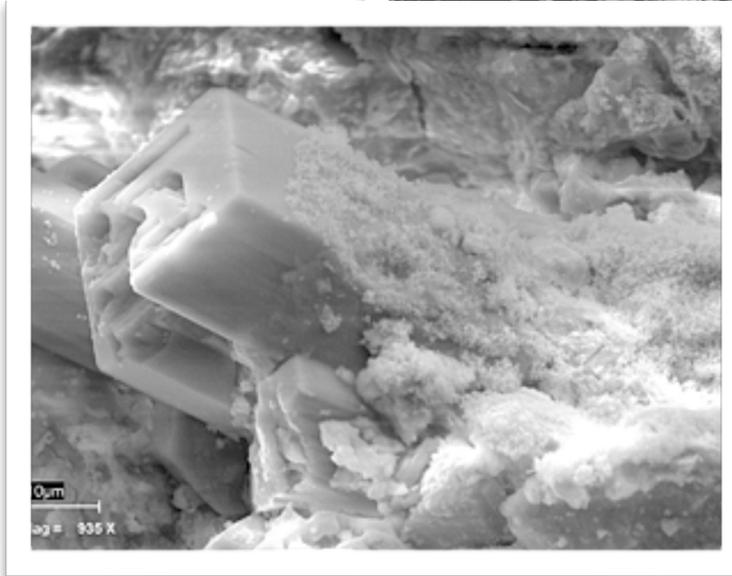
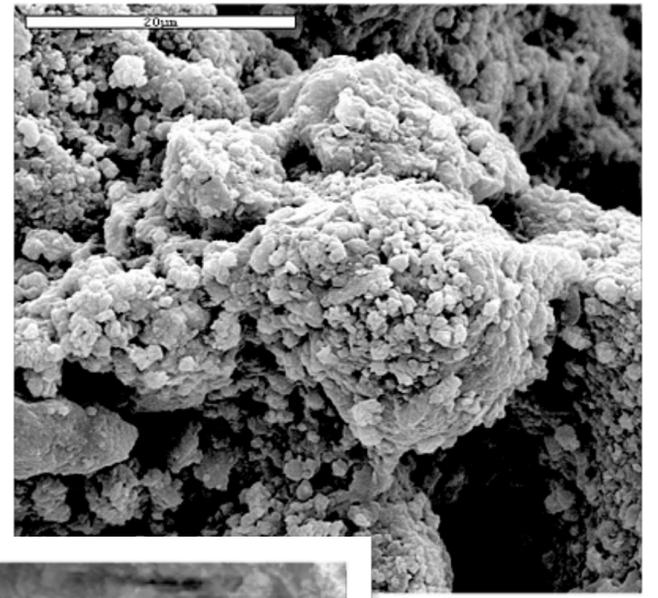
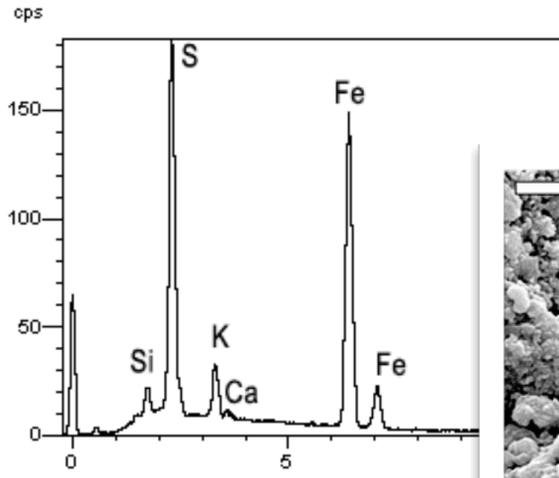
Neoformación mineral

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

jarosita



A lo largo del perfil se establece un gradiente en el pH y en los contenidos en Fe y S que van a condicionar el tipo de minerales neoformados.

En la capa blanca y en la parte superficial de la capa rojiza, aparece un hidroxisulfato de Fe con K, que identificamos como jarosita, formando agregados de pequeños cristales con formas pseudocúbicas, en esta otra imagen recubriendo a un prisma de yeso.

Se forma en los niveles más fuertemente ácidos y con abundancia de S, con razones molares Fe/S de entre 1,3 y 1,5.

Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

Los hidroxisulfatos de Fe se presentan en toda la capa rojiza, pero hemos tenido muchas dificultades para poderlos identificar.

En la parte media de la capa rojiza encontramos un hidroxisulfatos de Fe con importante contenido en S, aunque claramente menos S que la jarosita, por su ratio molar Fe/S de 1,9 a 2,3 y el pH de 4,3 a 5,4 y por la forma observada en el SEM pensamos en la fibroferrita

Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

Los hidroxisulfatos de Fe se presentan en toda la capa rojiza, pero hemos tenido muchas dificultades para poderlos identificar.

En la parte media de la capa rojiza encontramos un hidroxisulfatos de Fe con importante contenido en S, aunque claramente menos S que la jarosita, por su ratio molar Fe/S de 1,9 a 2,3 y el pH de 4,3 a 5,4 y por la forma observada en el SEM pensamos en la fibroferrita

Alteración

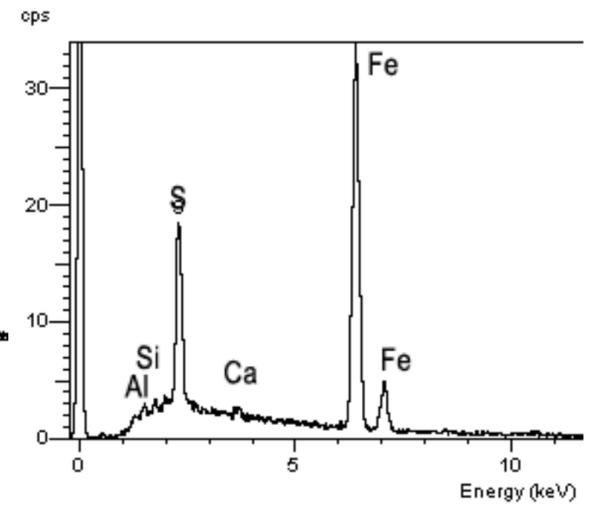
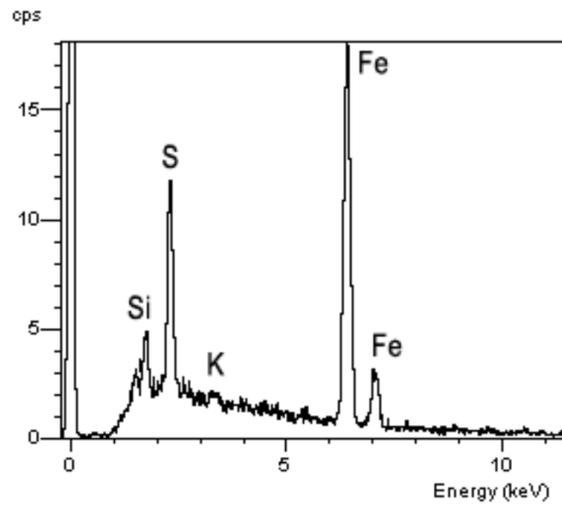
Neoformación mineral

Fe/S pH

1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos



Los hidrosulfatos de Fe se presentan en toda la capa rojiza, pero hemos tenido muchas dificultades para poderlos identificar.

En la parte media de la capa rojiza encontramos un hidrosulfato de Fe con importante contenido en S, aunque claramente menos S que la jarosita, por su ratio molar Fe/S de 1,9 a 2,3 y el pH de 4,3 a 5,4 y por la forma observada en el SEM pensamos en la fibroferrita

Alteración

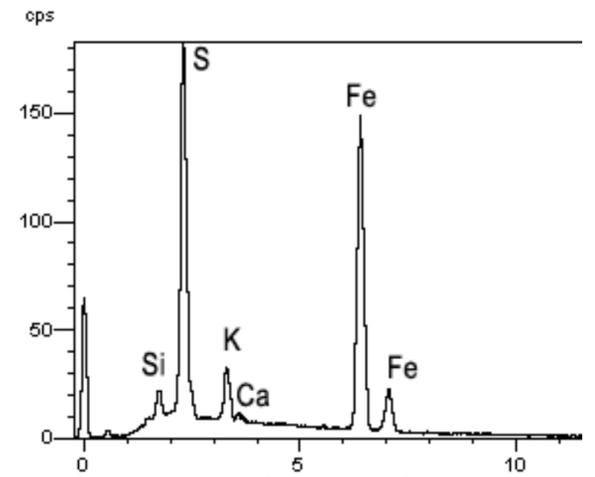
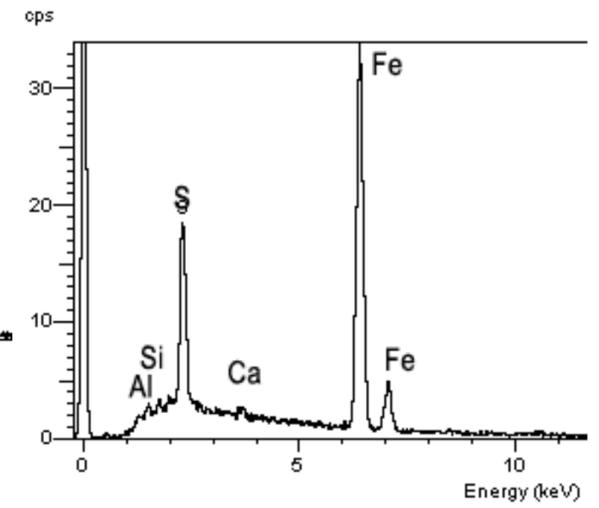
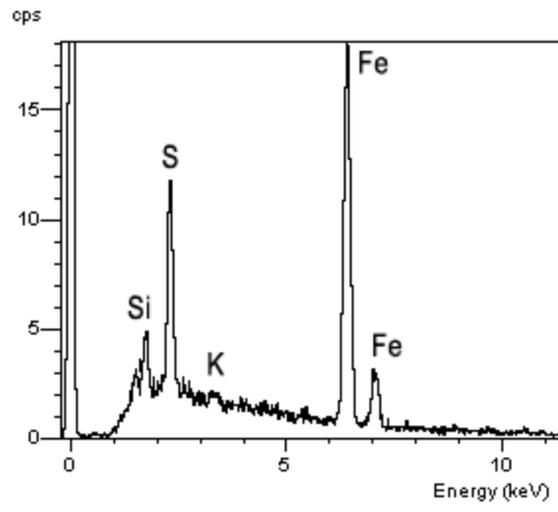
Neoformación mineral

Fe/S pH

1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos



jarosita

Los hidrosulfatos de Fe se presentan en toda la capa rojiza, pero hemos tenido muchas dificultades para poderlos identificar.

En la parte media de la capa rojiza encontramos un hidrosulfatos de Fe con importante contenido en S, aunque claramente menos S que la jarosita, por su ratio molar Fe/S de 1,9 a 2,3 y el pH de 4,3 a 5,4 y por la forma observada en el SEM pensamos en la fibroferrita

Neoformación mineral

Alteración

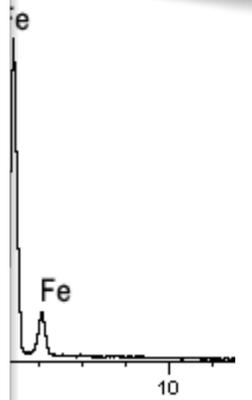
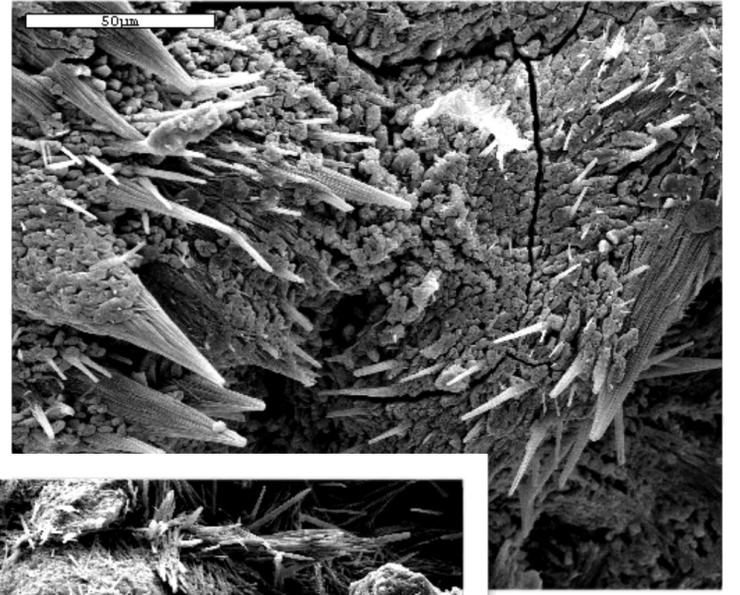
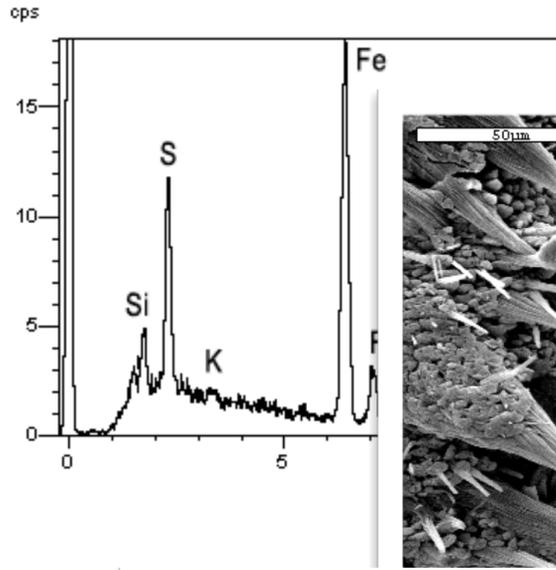
Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos



jarosita

Los hidroxisulfatos de Fe se presentan en toda la capa rojiza, pero hemos tenido muchas dificultades para poderlos identificar.

En la parte media de la capa rojiza encontramos un hidroxisulfatos de Fe con importante contenido en S, aunque claramente menos S que la jarosita, por su ratio molar Fe/S de 1,9 a 2,3 y el pH de 4,3 a 5,4 y por la forma observada en el SEM pensamos en la fibroferrita

Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

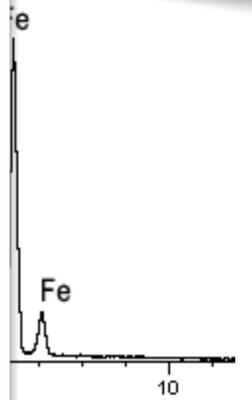
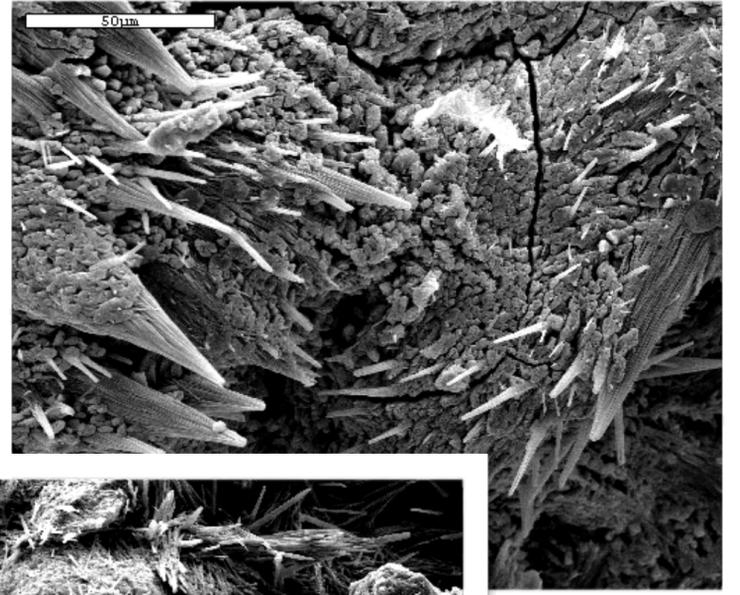
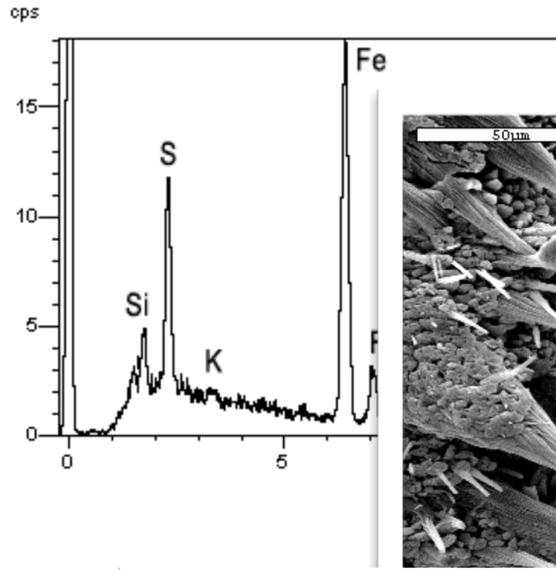
1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

fibroferrita ?



jarosita

Los hidrosulfatos de Fe se presentan en toda la capa rojiza, pero hemos tenido muchas dificultades para poderlos identificar.

En la parte media de la capa rojiza encontramos un hidrosulfato de Fe con importante contenido en S, aunque claramente menos S que la jarosita, por su ratio molar Fe/S de 1,9 a 2,3 y el pH de 4,3 a 5,4 y por la forma observada en el SEM pensamos en la fibroferrita

Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

Similar a la situación anterior, algo más profundo, aparecen otros hidroxisulfatos de Fe, ya con menos S que la fibroferrita, que podría corresponder a una variedad del tipo de la schwertmanita.

Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

Similar a la situación anterior, algo más profundo, aparecen otros hidroxisulfatos de Fe, ya con menos S que la fibroferrita, que podría corresponder a una variedad del tipo de la schwertmanita.

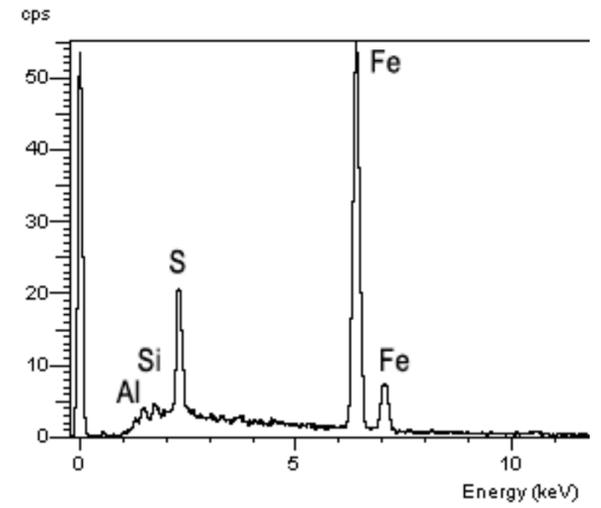
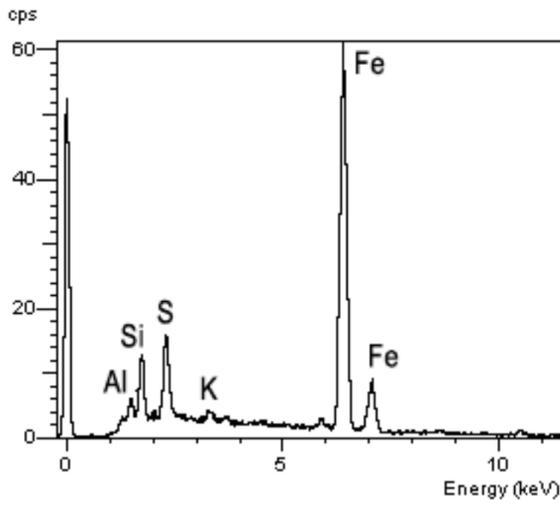
Alteración

Neoformación mineral

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos



Similar a la situación anterior, algo más profundo, aparecen otros hidroxisulfatos de Fe, ya con menos S que la fibroferrita, que podría corresponder a una variedad del tipo de la schwertmanita.

Alteración

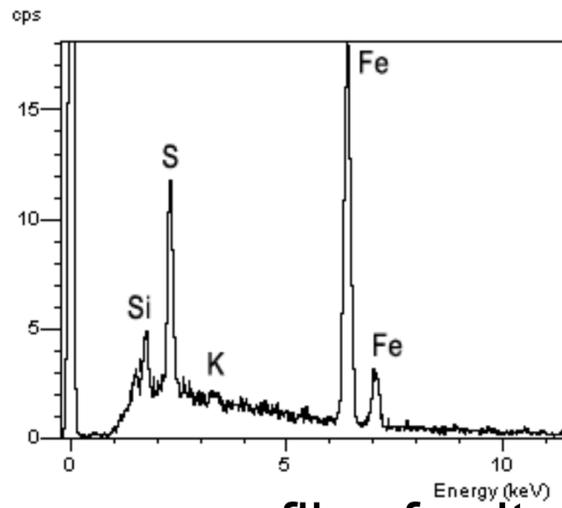
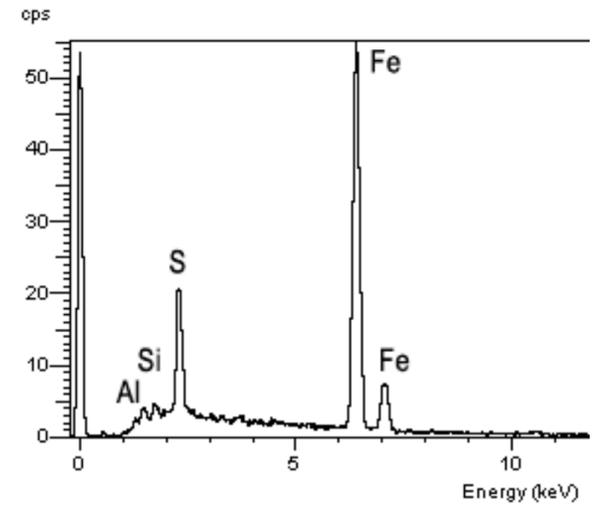
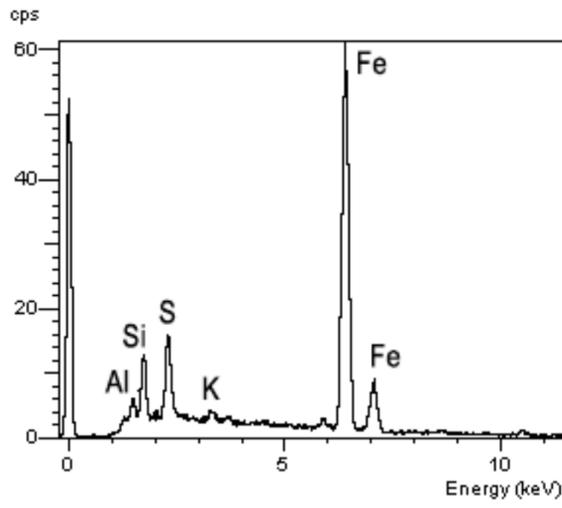
Neoformación mineral

Fe/S pH

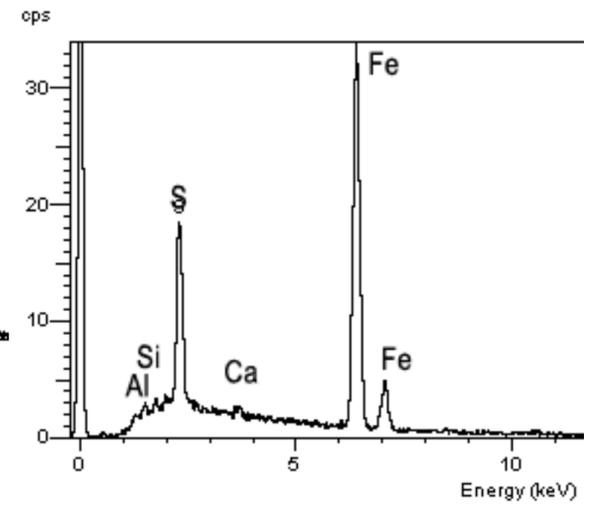
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos



fibroferrita



Similar a la situación anterior, algo más profundo, aparecen otros hidroxisulfatos de Fe, ya con menos S que la fibroferrita, que podría corresponder a una variedad del tipo de la schwertmanita.

Alteración

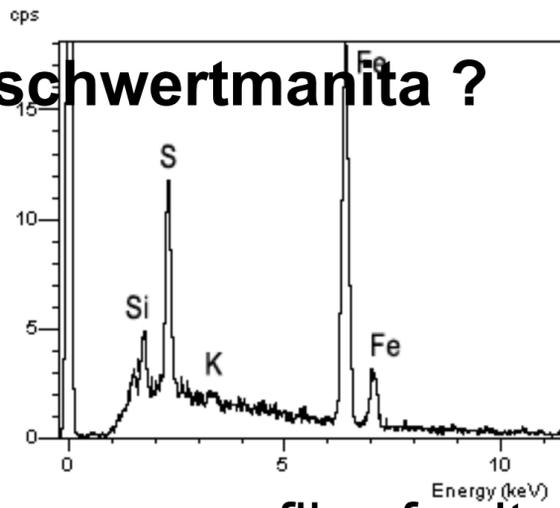
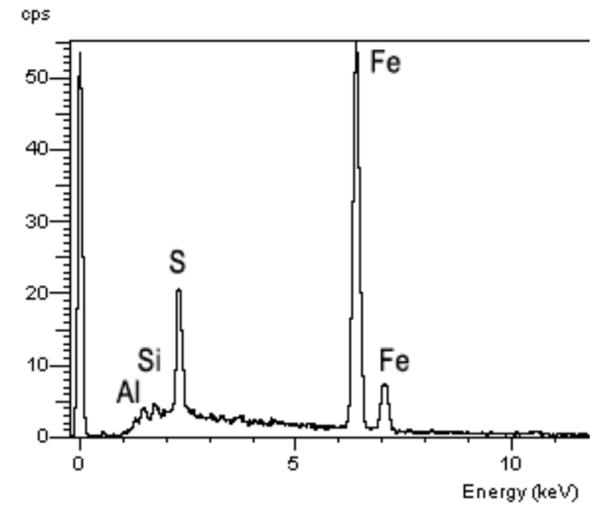
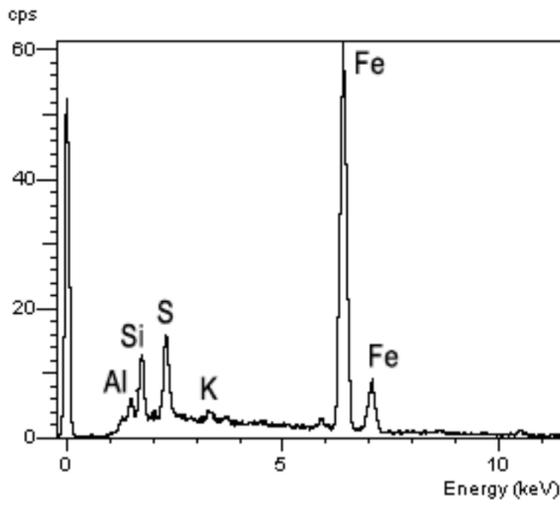
Neoformación mineral

Fe/S pH

1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2

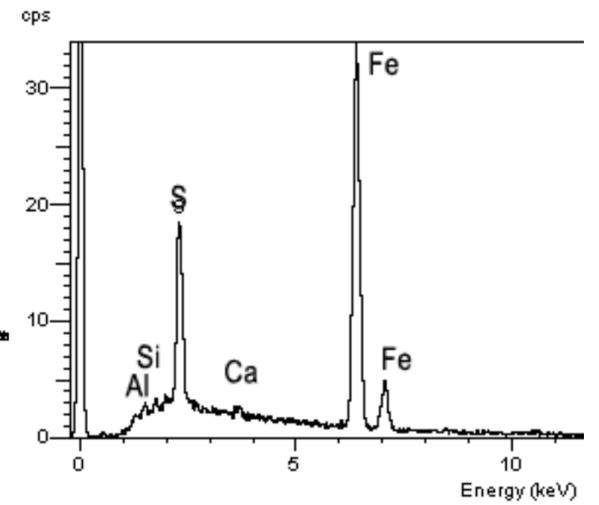


suelo con carbonatos



schwertmanita ?

fibroferrita



Similar a la situación anterior, algo más profundo, aparecen otros hidrosulfatos de Fe, ya con menos S que la fibroferrita, que podría corresponder a una variedad del tipo de la schwertmanita.

Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

En el límite inferior de la capa rojiza apenas si se acumula azufre y se forman oxihidróxidos de Fe, del tipo de la ferrihidrita, goethita y hematites

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

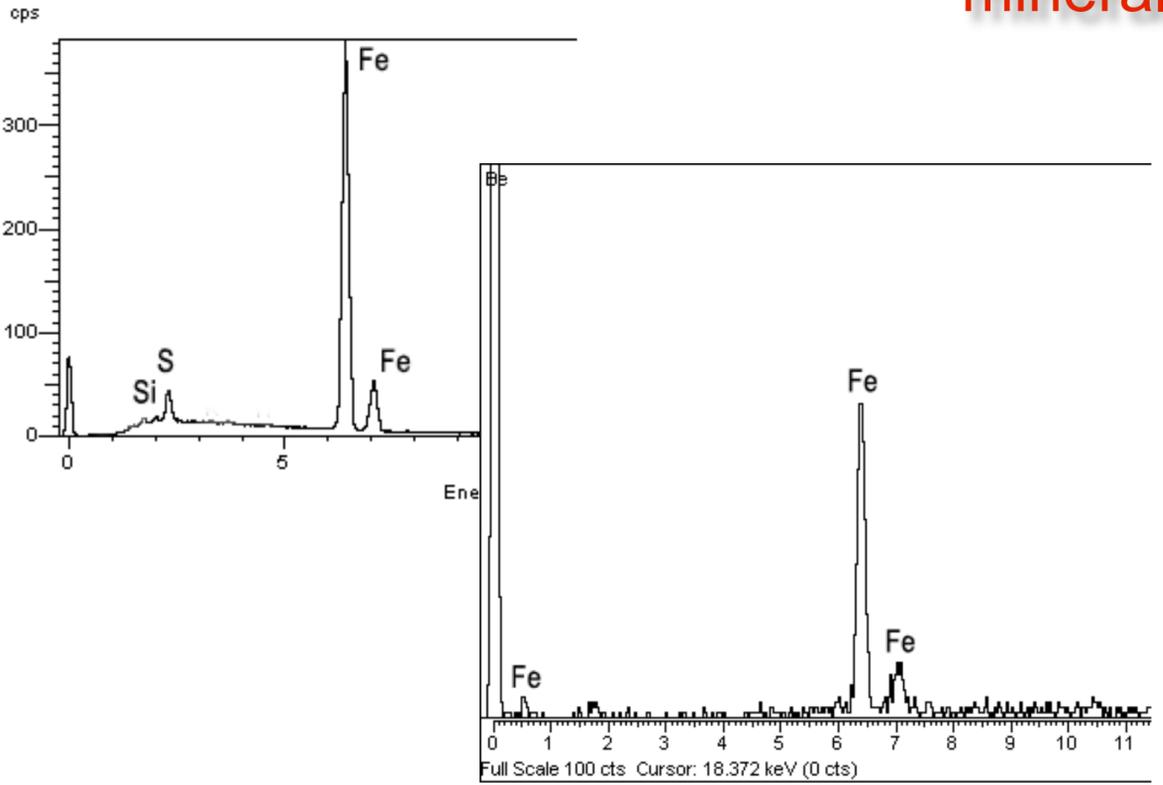
Alteración

Neoformación mineral

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos



En el límite inferior de la capa rojiza apenas si se acumula azufre y se forman oxihidróxidos de Fe, del tipo de la ferrihidrita, goethita y hematites



Neoformación mineral

Alteración

Aznalcóllar, hoy.

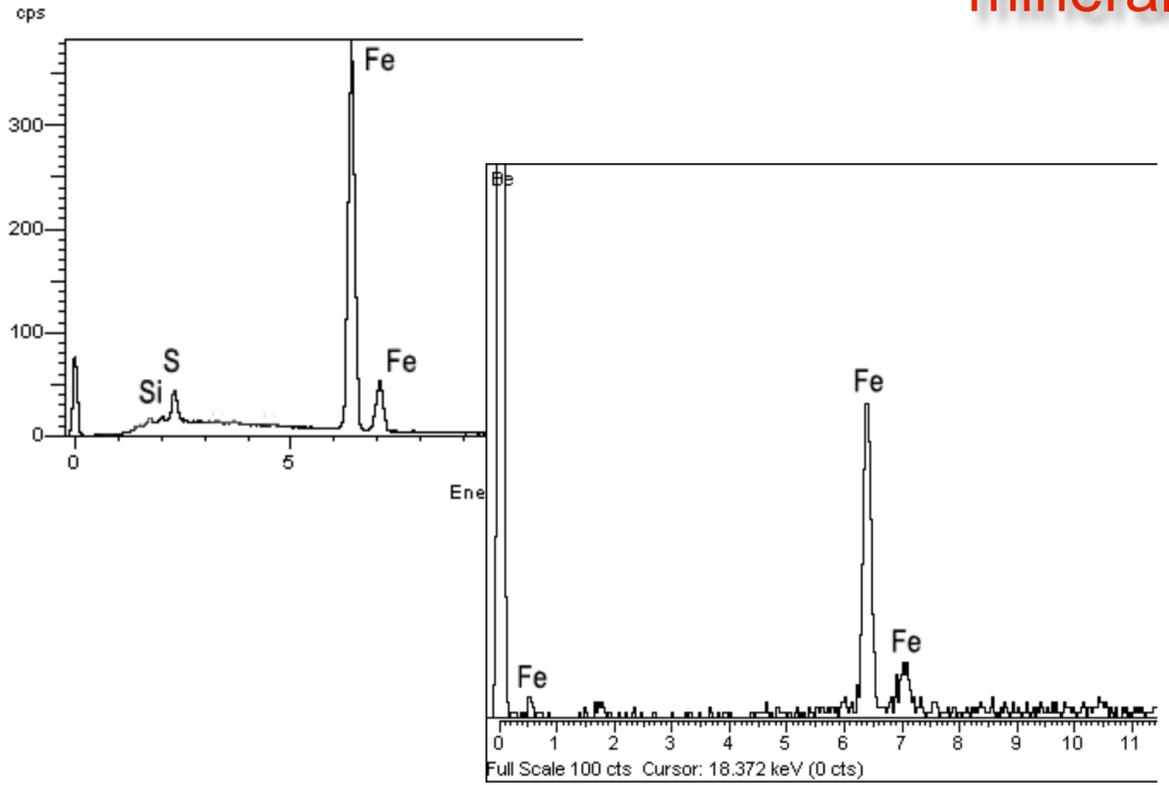
1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos

↕ ferrihidrita, goethita, hematites



En el límite inferior de la capa rojiza apenas si se acumula azufre y se forman oxihidróxidos de Fe, del tipo de la ferrihidrita, goethita y hematites



Alteración

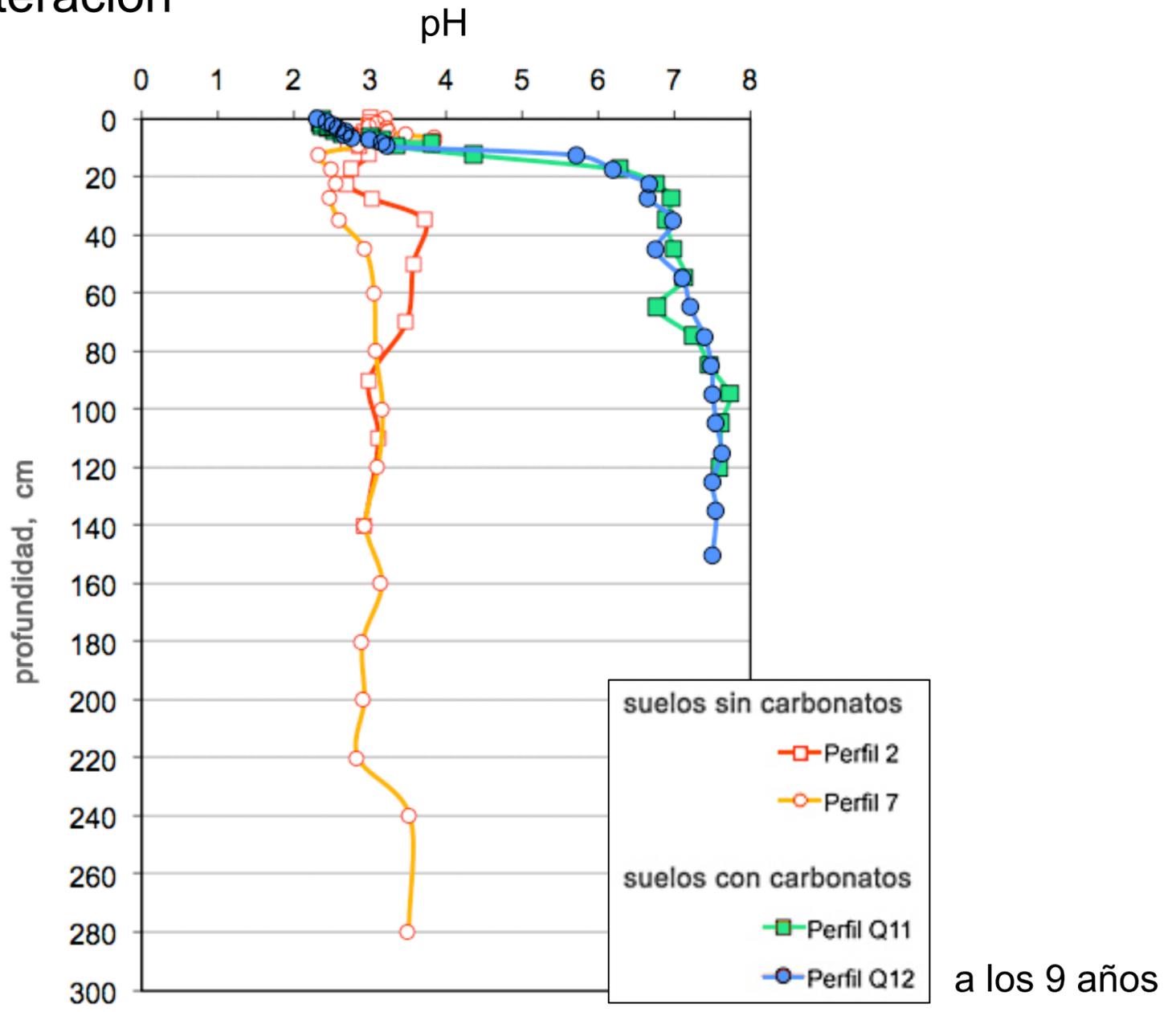
neoformados originales

	Suelo no contaminado	2 meses	15 meses	4 años
Cuarzo	45%	45%	45%	50%
Feldespatos	20%	20%	15%	10%
Filosilicatos	20%	20%	20%	10%
Carbonatos	15%	5%	0%	0%
Yeso	0%	5%	10%	15%
Jarosita	0%	0%	5%	15%
oxihidróxisulfatos de Fe	–	–	n. d.	n. d.
oxihidróxidos de Fe	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.

n. d. = porcentaje no determinado

En definitiva la composición mineral cambia totalmente, desaparecen los minerales del suelo original que van siendo sustituidos por minerales neoformados.

Alteración



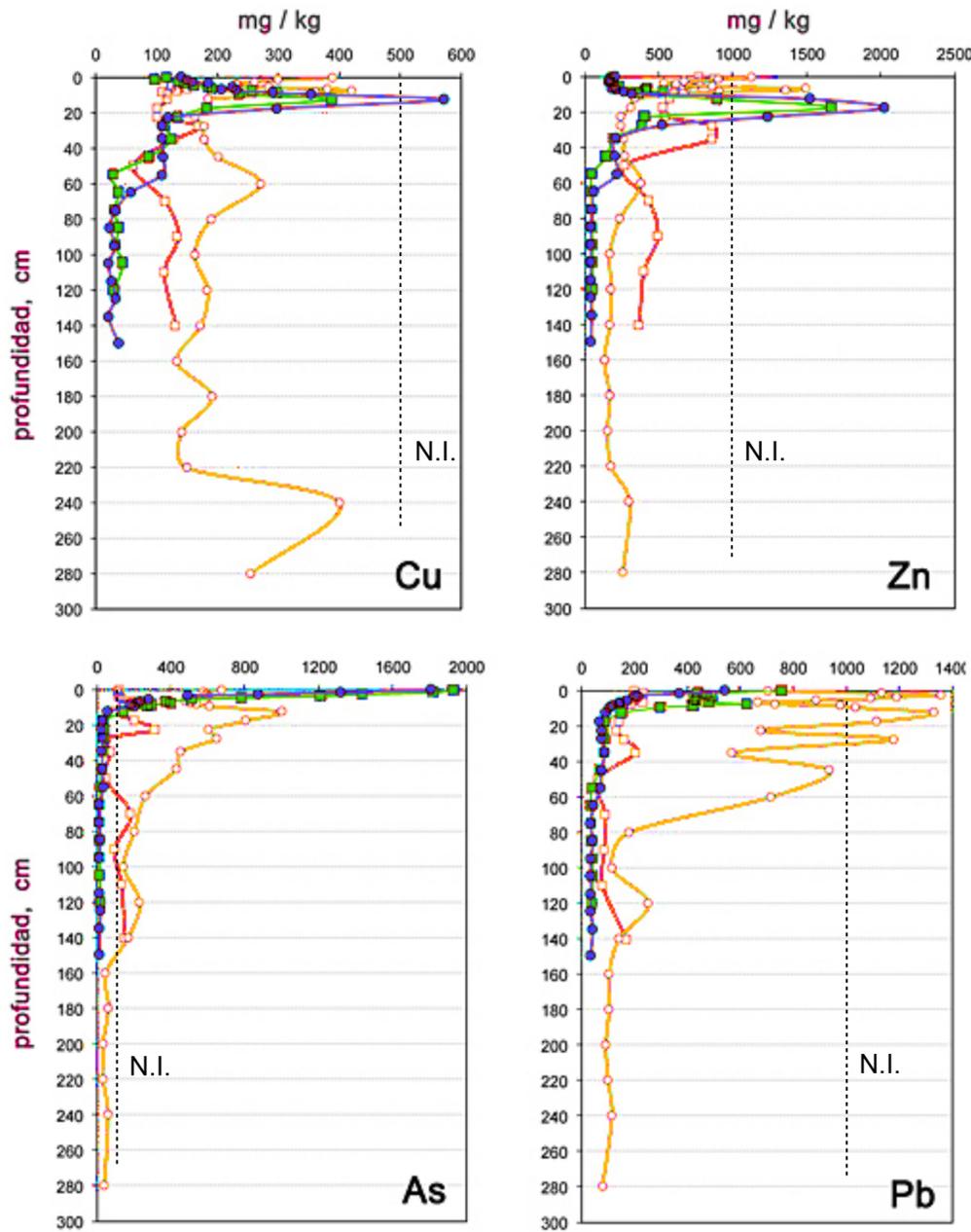
a los 9 años

La alteración se pone también claramente de manifiesto en el pH del suelo.

Los suelos básicos, con carbonatos, (representados en azul y verde) experimentan una intensa acidificación en sus horizontes superficiales. Mientras que en los suelos sin carbonatos (en rojo y naranja) la extrema acidez llega hasta casi los 3 metros (la máxima profundidad de muestreo que hemos alcanzado, en un suelo a los 9 años).

Contaminación, a los 9 años

pH



suelos sin carbonatos
 - Perfil 2
 - Perfil 7

suelos con carbonatos
 - Perfil Q11
 - Perfil Q12

N.I. = Nivel de intervención

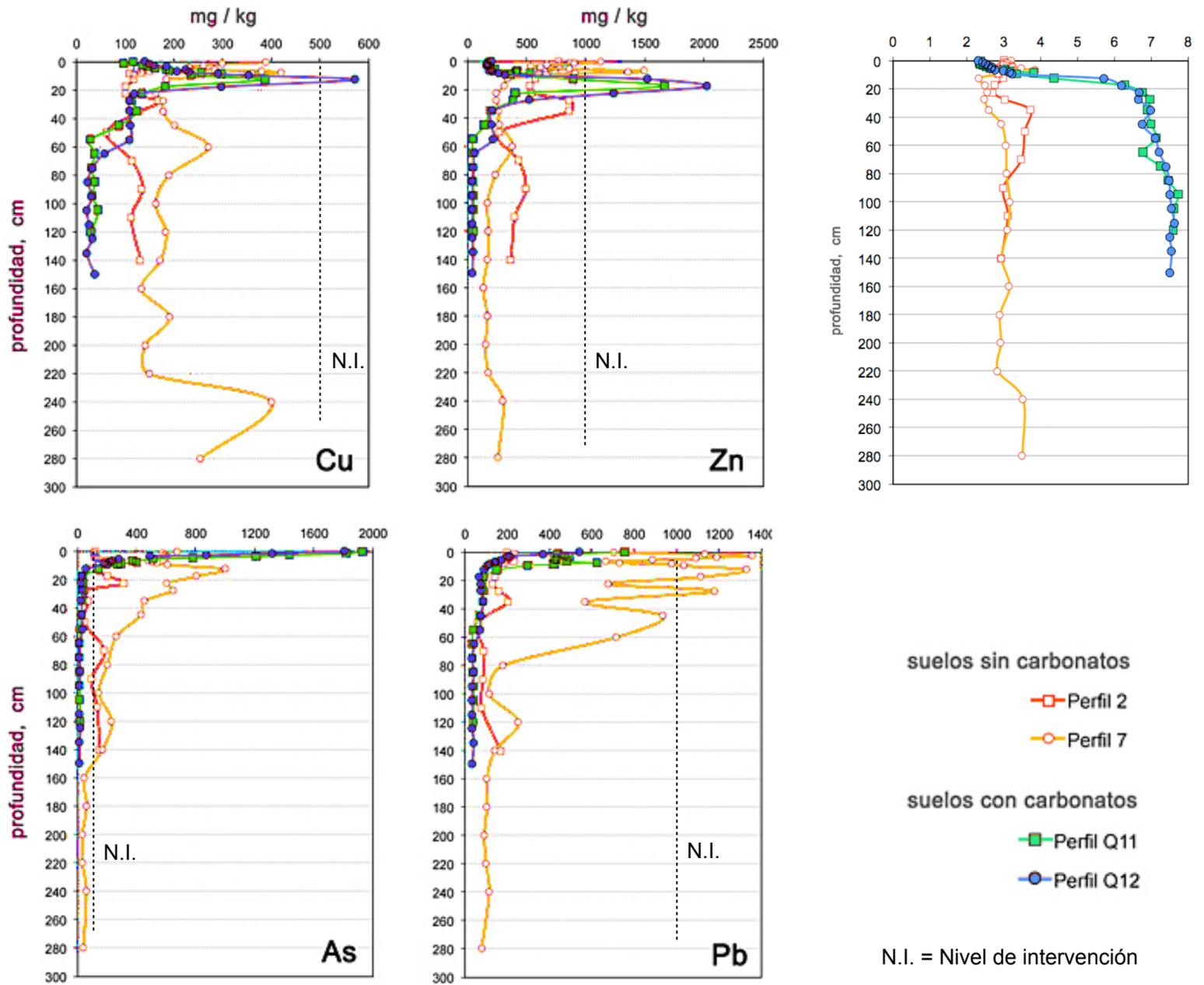
En cuanto a la contaminación en estos suelos que han conservado la capa superficial de lodos, podemos ver como es extrema, con un comportamiento muy distinto en los suelos ácidos frente a los básicos.

En los suelos sin CO₃ (con líneas roja y naranja) claramente es más intensa y profunda que los que si contienen CO₃ (líneas verde y azul). La conta en los suelos con CO₃ se concentra en los primeros cm del suelo en los que es muy intensa (en los primeros mm para el As y el Pb), en los hor de pH ácido; y como rasgo importante tenemos que la conta no sobrepasa los 60 cm de prof en las muestras de 9 años, queda pues la contaminación bloqueada en el suelo, no llega al subsuelo ni a los niveles freáticos.

Por el contrario, en los suelos sin CO₃ el As y los metales pesados llegan a alcanzar grandes profundidades y salir del suelo hacia el subsuelo y contaminar a las aguas freáticas.

En cuanto al grado de movilidad, el Cu parece ser el más móvil, seguido del Zn, Pb y As que parece ser el menos móvil.

Contaminación, a los 9 años



En cuanto a la contaminación en estos suelos que han conservado la capa superficial de lodos, podemos ver como es extrema, con un comportamiento muy distinto en los suelos ácidos frente a los básicos.

En los suelos sin CO₃ (con líneas roja y naranja) claramente es más intensa y profunda que los que si contienen CO₃ (líneas verde y azul). La conta en los suelos con CO₃ se concentra en los primeros cm del suelo en los que es muy intensa (en los primeros mm para el As y el Pb), en los hor de pH ácido; y como rasgo importante tenemos que la conta no sobrepasa los 60 cm de prof en las muestras de 9 años, queda pues la contaminación bloqueada en el suelo, no llega al subsuelo ni a los niveles freáticos.

Por el contrario, en los suelos sin CO₃ el As y los metales pesados llegan a alcanzar grandes profundidades y salir del suelo hacia el subsuelo y contaminar a las aguas freáticas.

En cuanto al grado de movilidad, el Cu parece ser el más móvil, seguido del Zn, Pb y As que parece ser el menos móvil.

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro



En definitiva la extrema contaminación en estos suelos con lodos hace que no haya desarrollo vegetal.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

- **5 Una mirada al futuro**

Y para terminar, vamos a permitirnos una mirada al futuro.

¿Qué futuro podemos esperar para la zona?

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

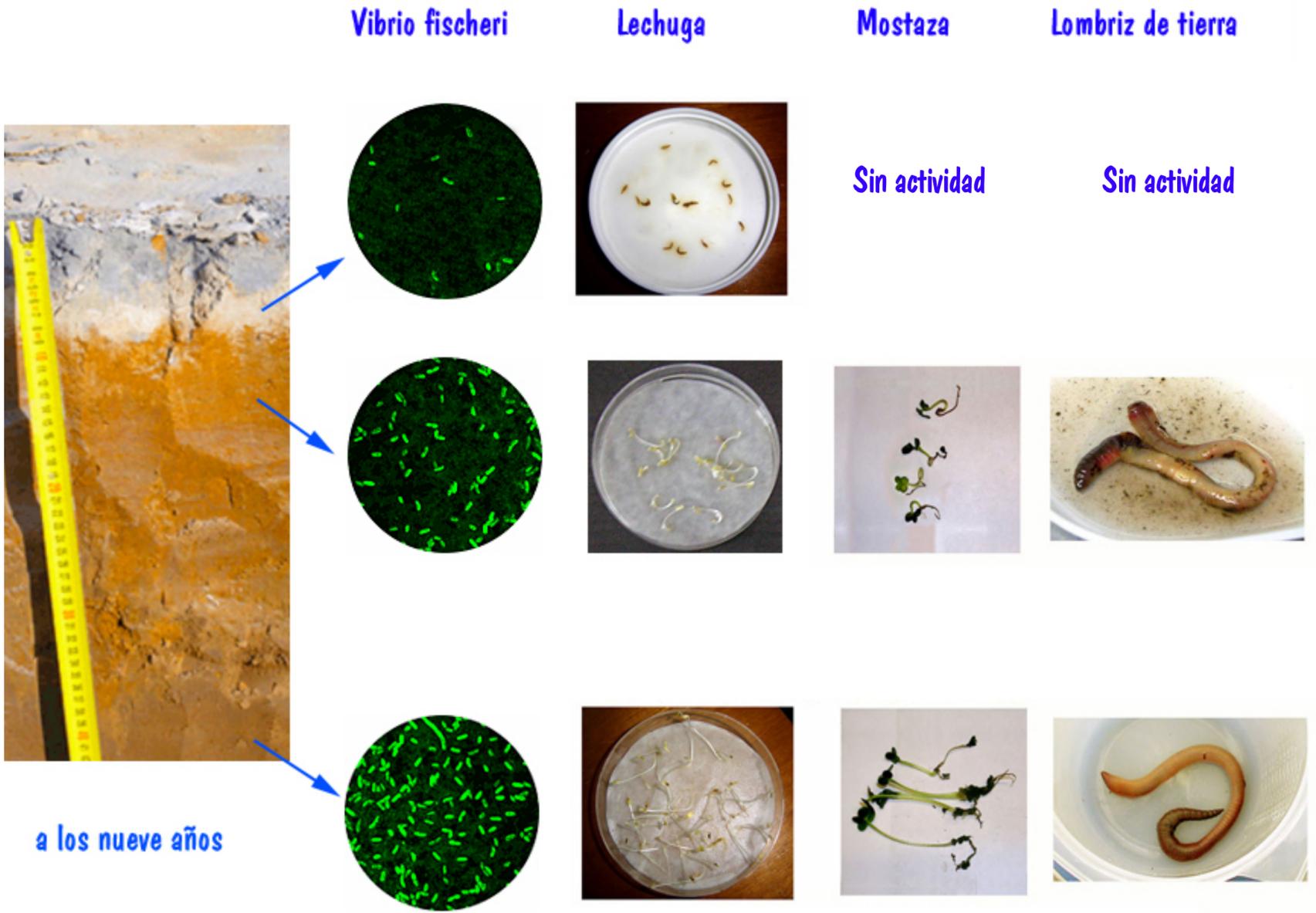


Como acabamos de ver, en las parcelas experimentales con lodos en la superficie, si no se hubiesen quitado los lodos el futuro inmediato iría hacia la infertilidad total del suelo.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

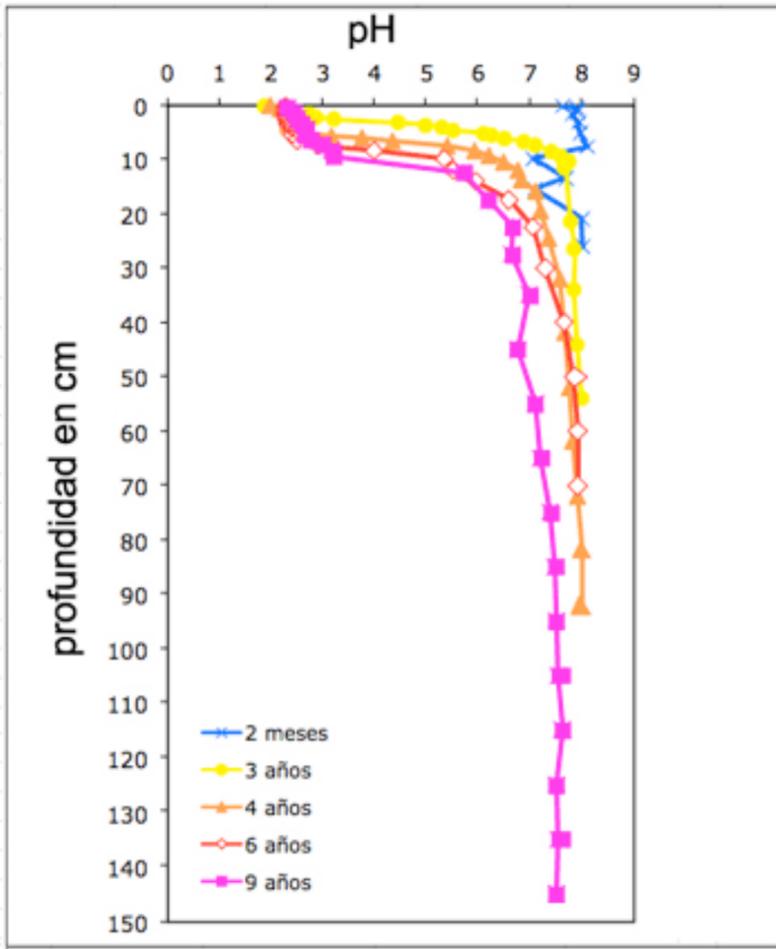
parcelas sin intervención



Nosotros para para probar la toxicidad de estos suelos en los que ha permanecido el lodo en superficie hemos llevado a cabo pruebas de toxicidad realizadas con una bacteria (VF), dos especies vegetales (L y M) y con lombrices de tierra. Un resumen de los resultados lo esquematizamos en esta imagen. En ella se observa como en la capa blanca hay una ausencia total de actividad biótica y un desarrollo biológico muy limitado en la capa roja.

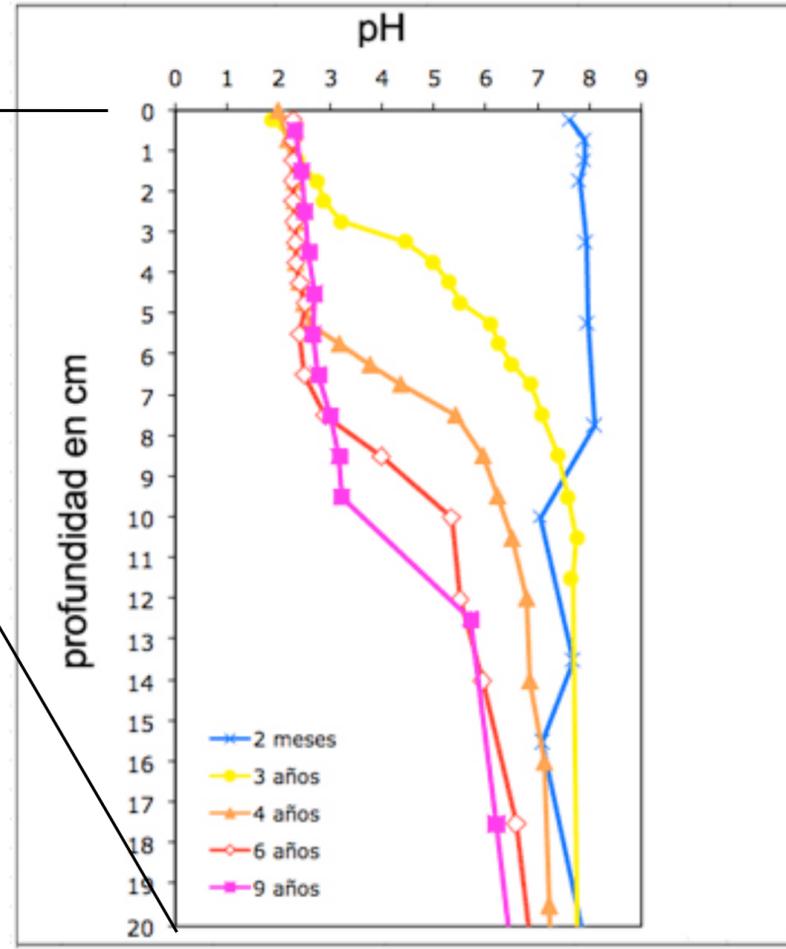
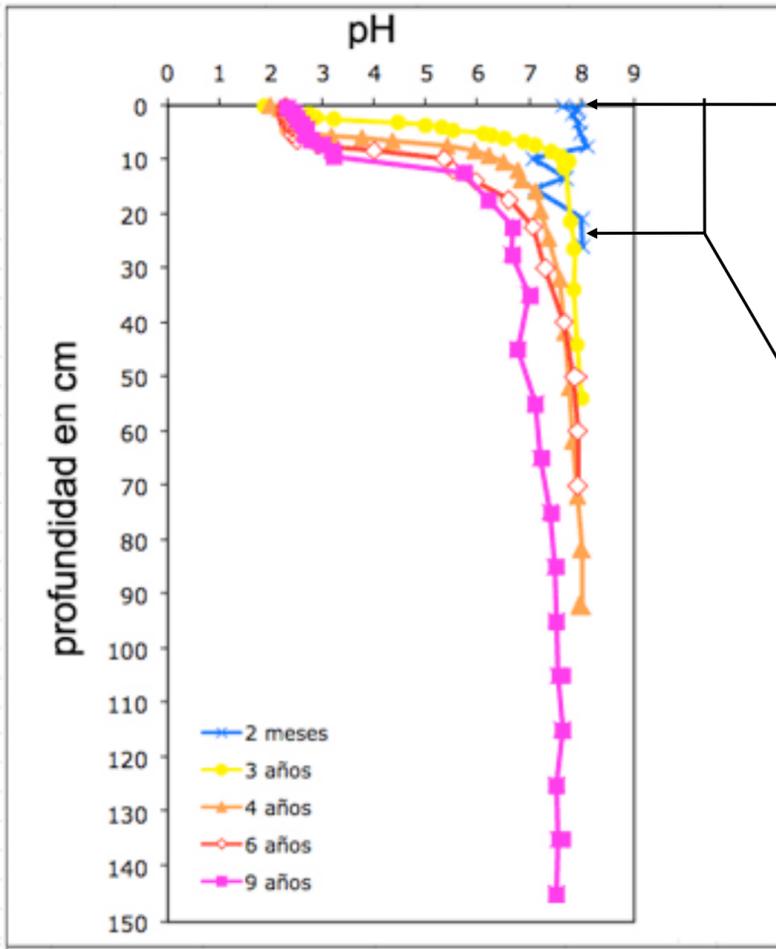
Abajo, fuera de la capa roja, el suelo muestra una actividad normal.

Alteración



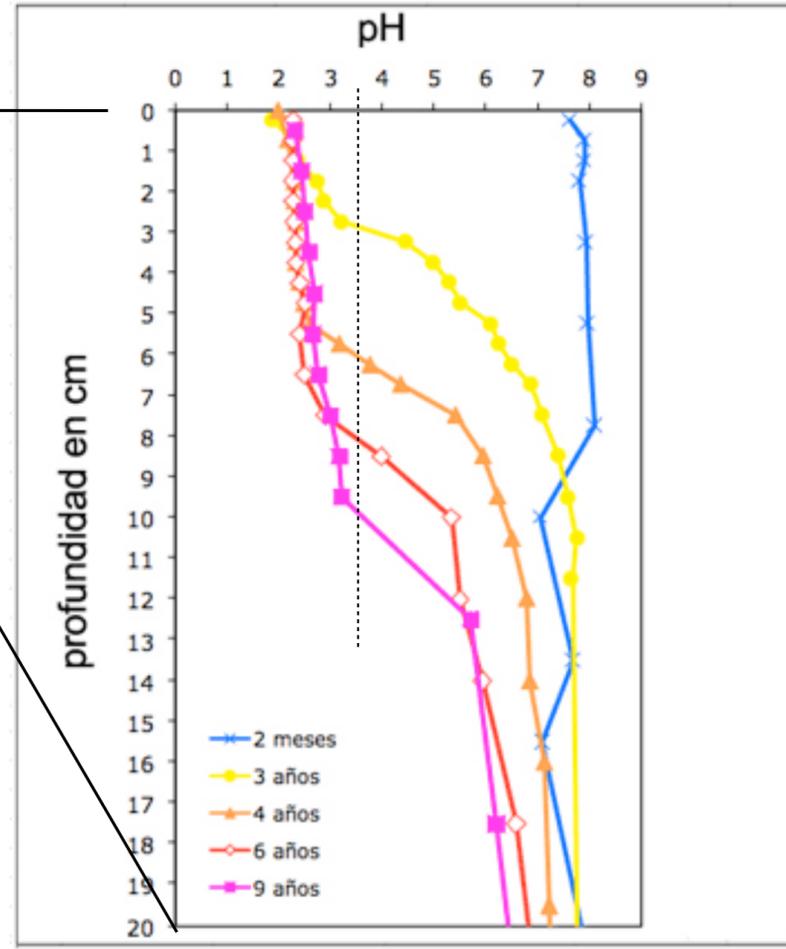
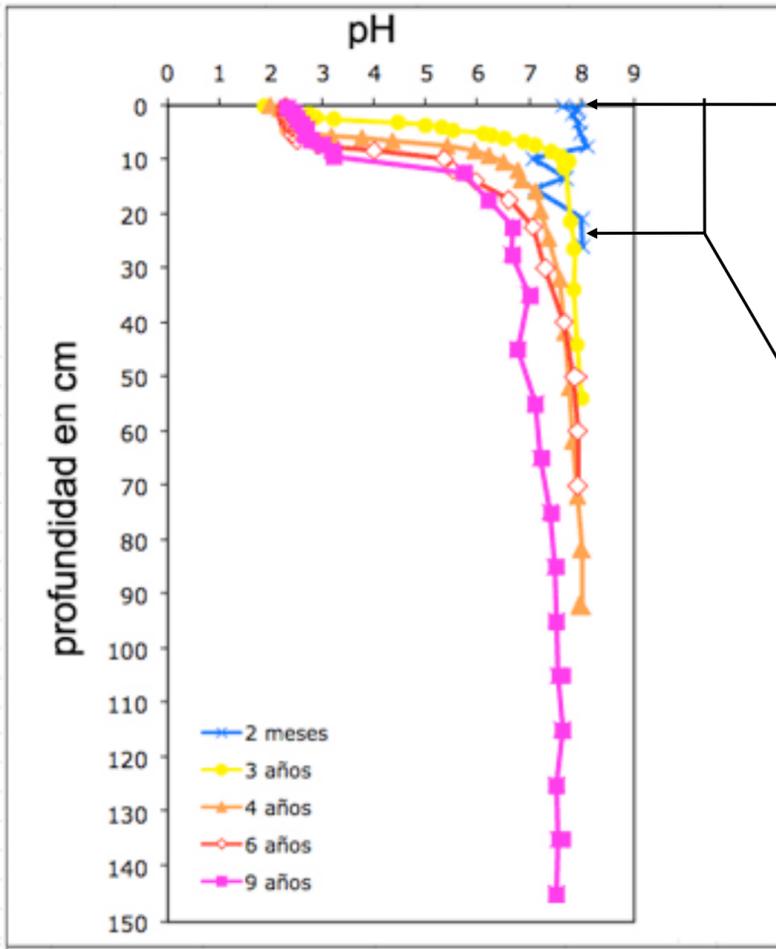
Como hemos visto la capa superficial sufre una intensa acidificación. Podemos aceptar que por debajo de un pH de 3,5 no habrá actividad biológica. Este pH se alcanza a los 3 años en los 3 cm superficiales, se profundiza hasta los 6 cm a los 4 años, después la capa con $\text{pH} \leq 3,5$ alcanza los 8 cm a los 6 años y termina a los 9 años afectando a los 10 primeros cm.

Alteración



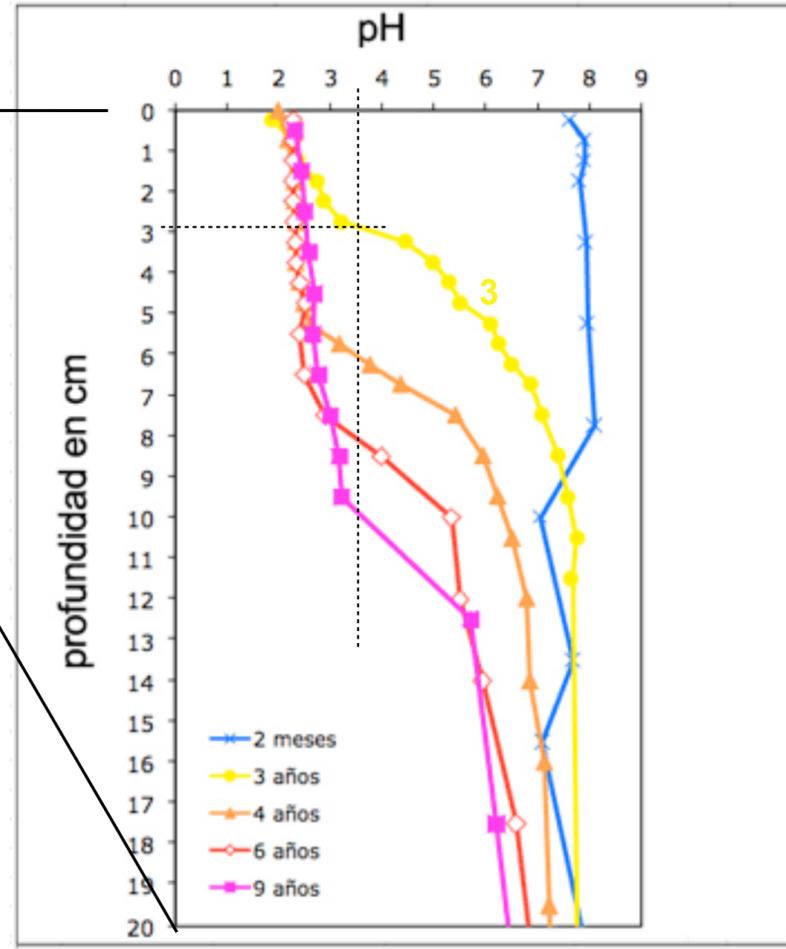
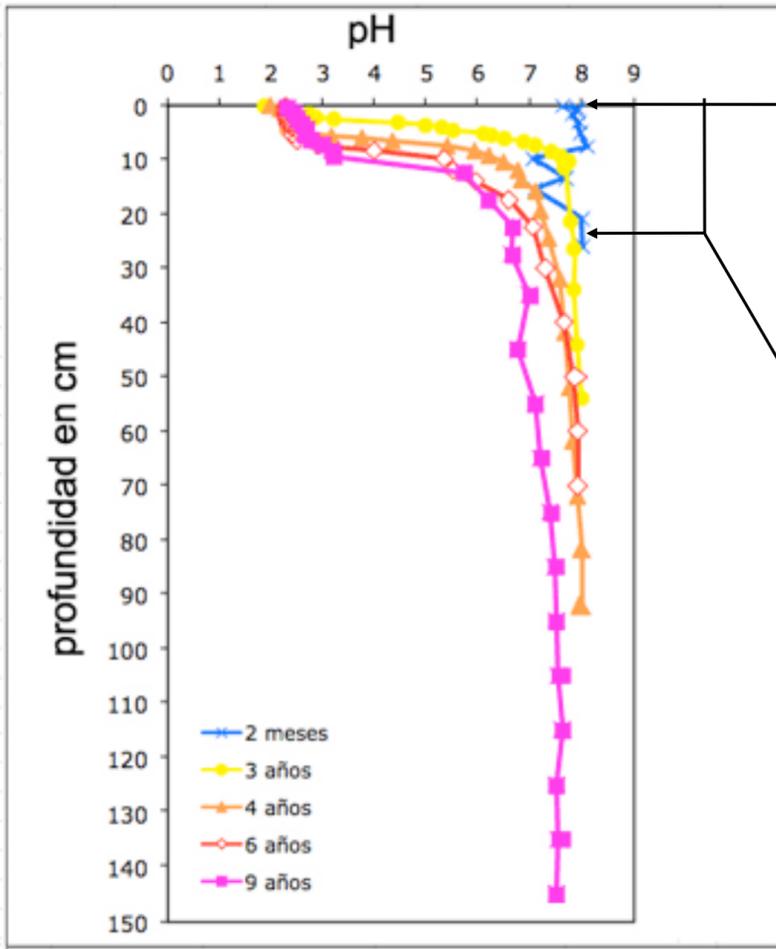
Como hemos visto la capa superficial sufre una intensa acidificación. Podemos aceptar que por debajo de un pH de 3,5 no habrá actividad biológica. Este pH se alcanza a los 3 años en los 3 cm superficiales, se profundiza hasta los 6 cm a los 4 años, después la capa con $pH \leq 3,5$ alcanza los 8 cm a los 6 años y termina a los 9 años afectando a los 10 primeros cm.

Alteración



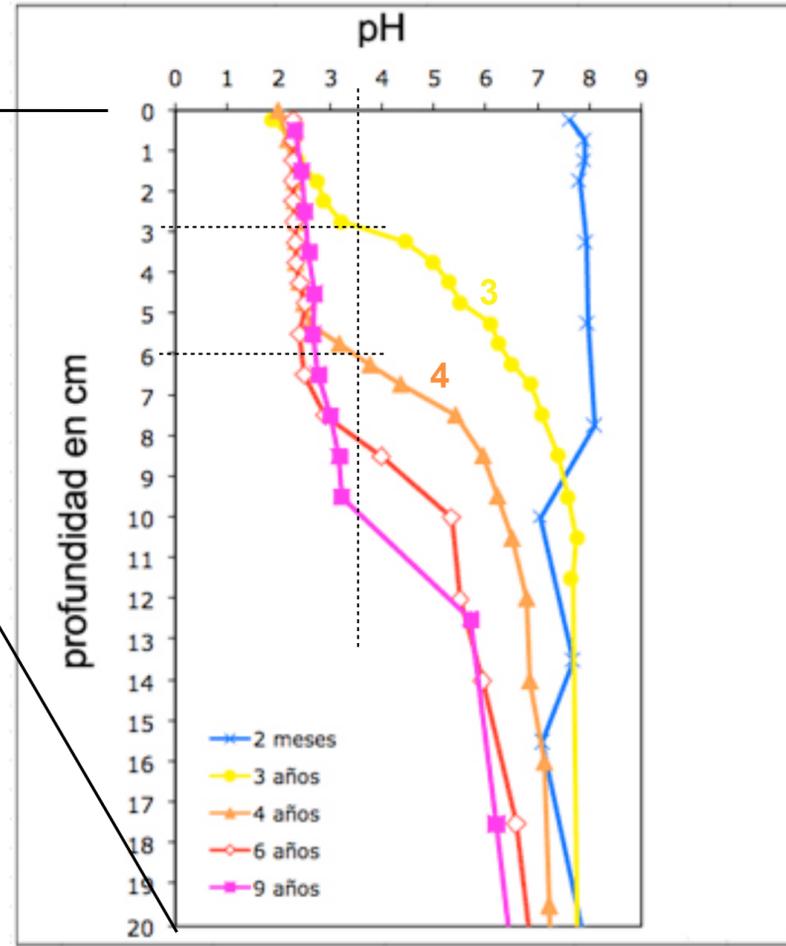
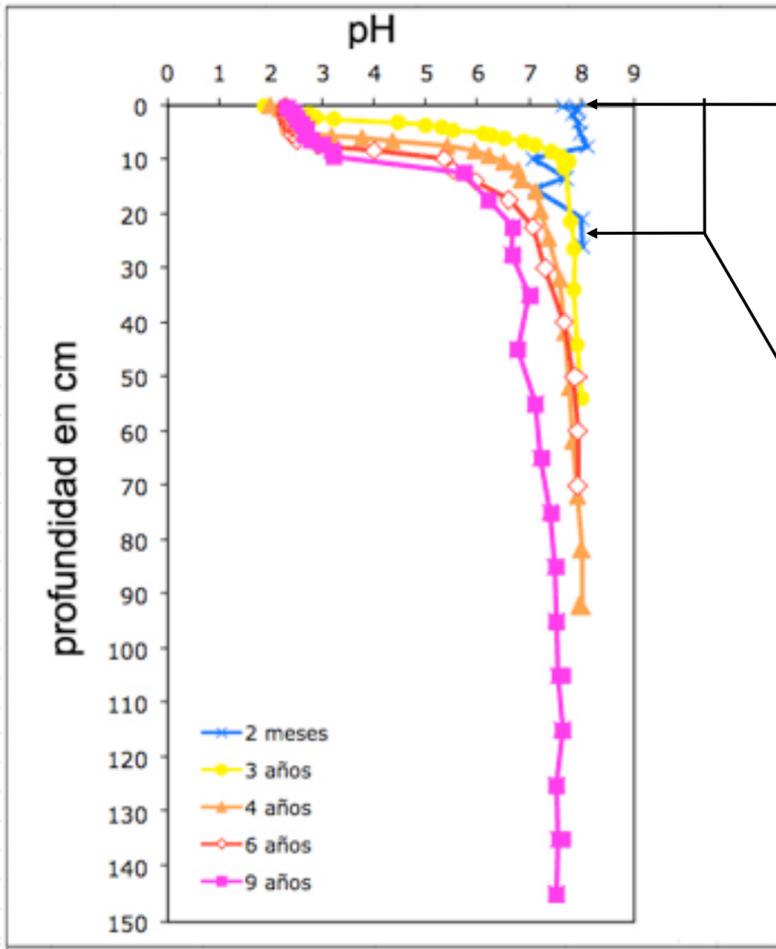
Como hemos visto la capa superficial sufre una intensa acidificación. Podemos aceptar que por debajo de un pH de 3,5 no habrá actividad biológica. Este pH se alcanza a los 3 años en los 3 cm superficiales, se profundiza hasta los 6 cm a los 4 años, después la capa con $pH \leq 3,5$ alcanza los 8 cm a los 6 años y termina a los 9 años afectando a los 10 primeros cm.

Alteración



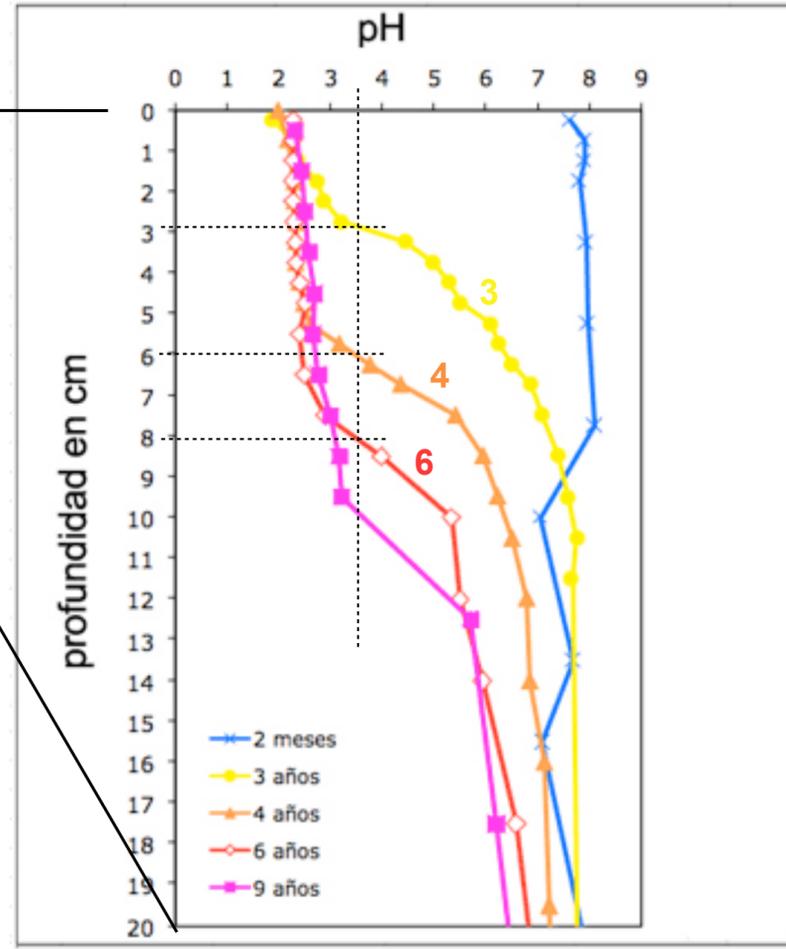
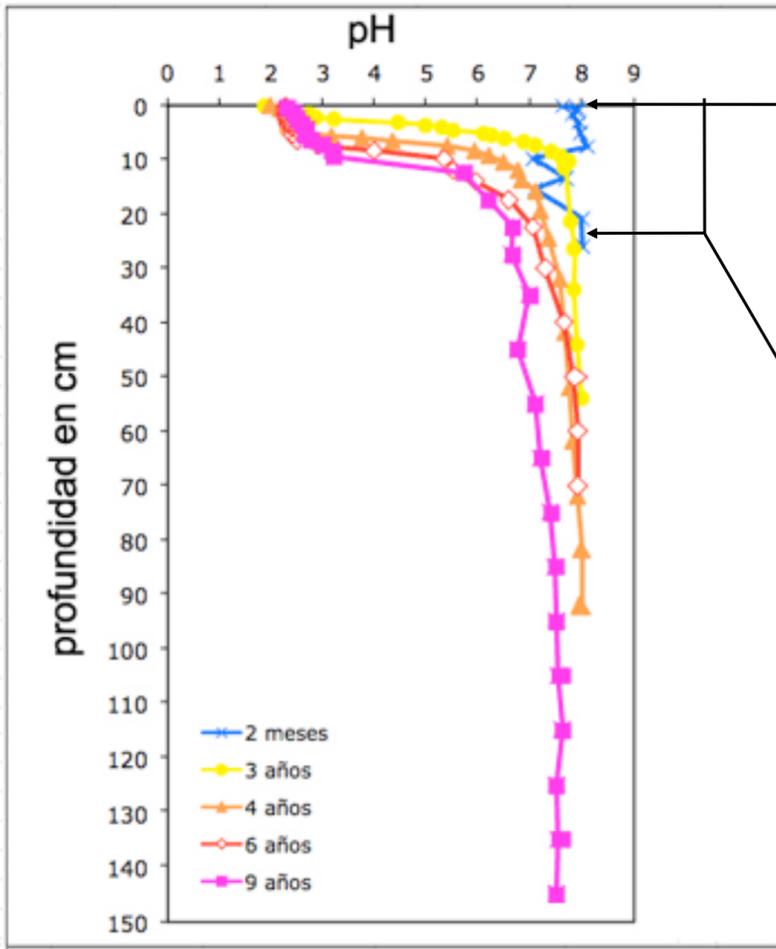
Como hemos visto la capa superficial sufre una intensa acidificación. Podemos aceptar que por debajo de un pH de 3,5 no habrá actividad biológica. Este pH se alcanza a los 3 años en los 3 cm superficiales, se profundiza hasta los 6 cm a los 4 años, después la capa con $pH \leq 3,5$ alcanza los 8 cm a los 6 años y termina a los 9 años afectando a los 10 primeros cm.

Alteración



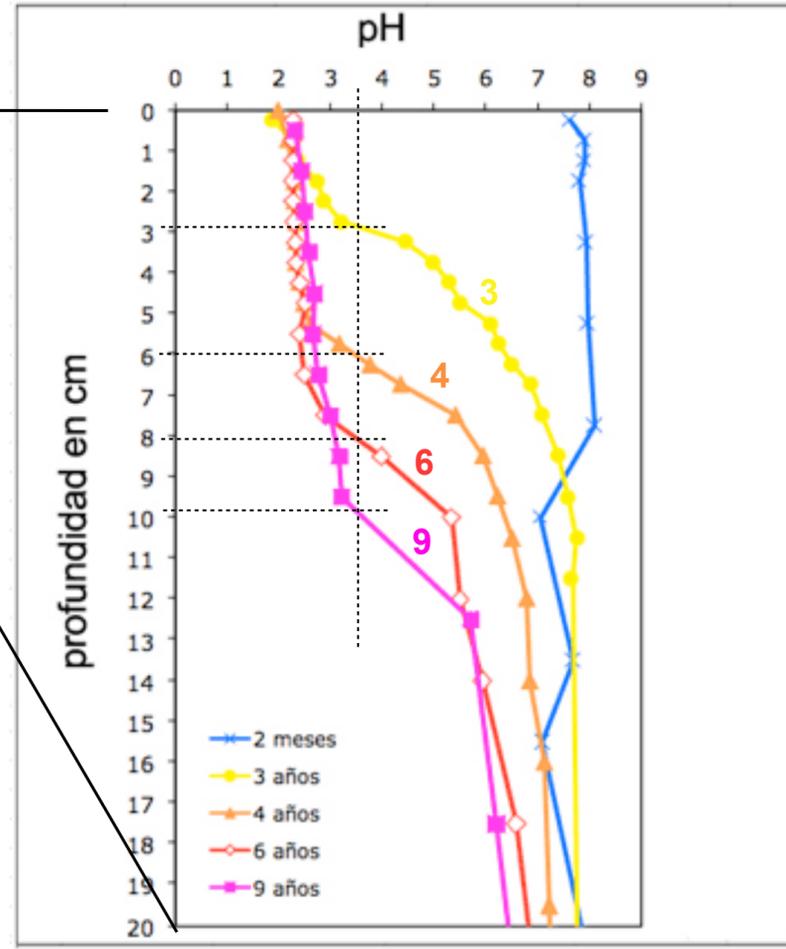
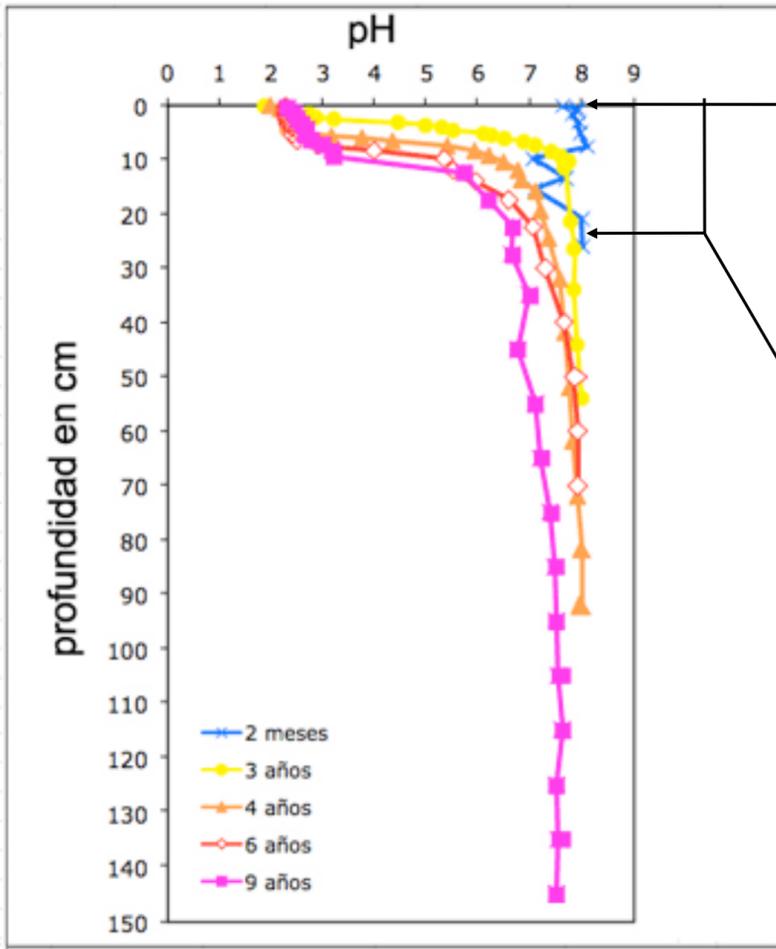
Como hemos visto la capa superficial sufre una intensa acidificación. Podemos aceptar que por debajo de un pH de 3,5 no habrá actividad biológica. Este pH se alcanza a los 3 años en los 3 cm superficiales, se profundiza hasta los 6 cm a los 4 años, después la capa con $pH \leq 3,5$ alcanza los 8 cm a los 6 años y termina a los 9 años afectando a los 10 primeros cm.

Alteración



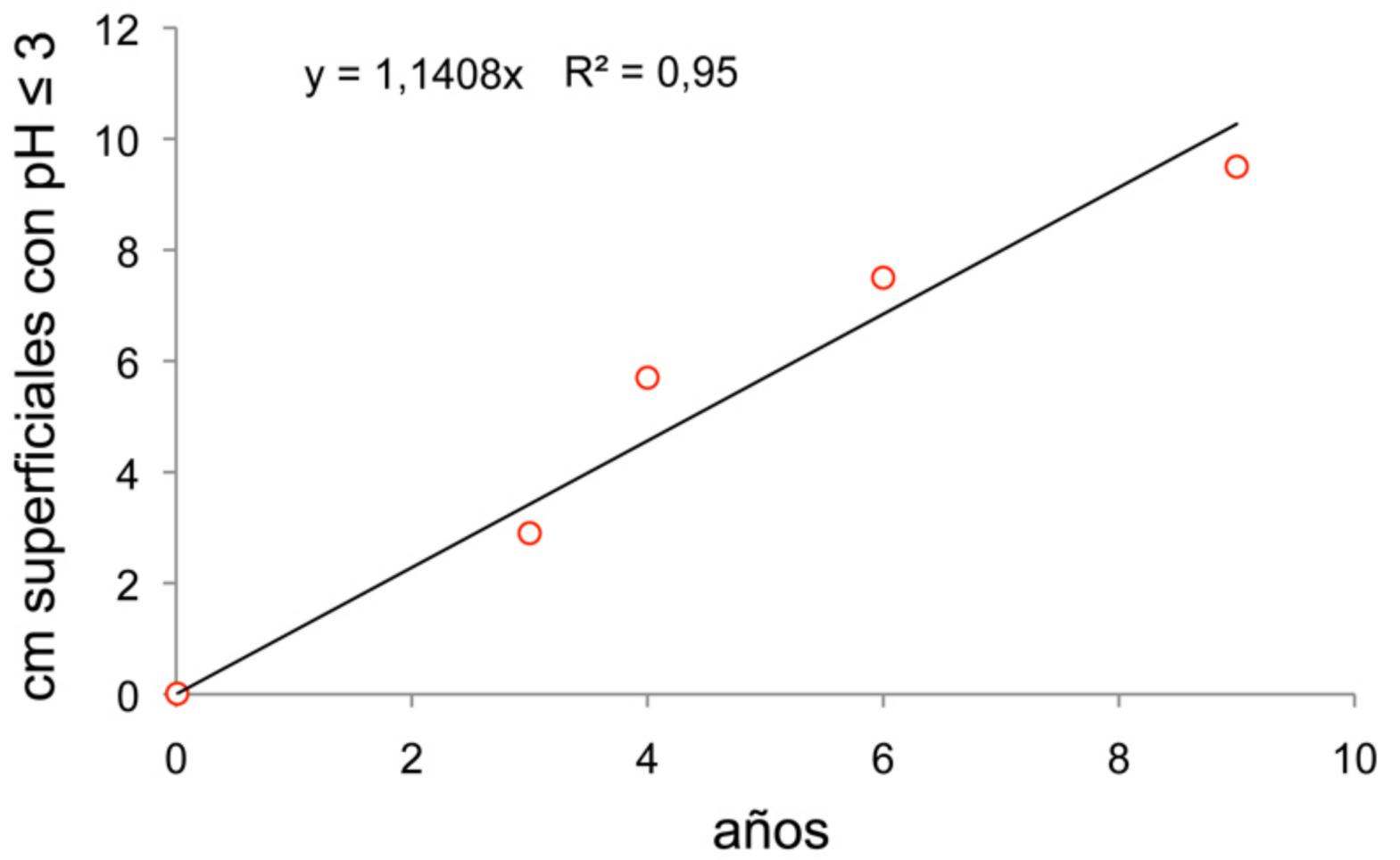
Como hemos visto la capa superficial sufre una intensa acidificación. Podemos aceptar que por debajo de un pH de 3,5 no habrá actividad biológica. Este pH se alcanza a los 3 años en los 3 cm superficiales, se profundiza hasta los 6 cm a los 4 años, después la capa con $pH \leq 3,5$ alcanza los 8 cm a los 6 años y termina a los 9 años afectando a los 10 primeros cm.

Alteración



Como hemos visto la capa superficial sufre una intensa acidificación. Podemos aceptar que por debajo de un pH de 3,5 no habrá actividad biológica. Este pH se alcanza a los 3 años en los 3 cm superficiales, se profundiza hasta los 6 cm a los 4 años, después la capa con $\text{pH} \leq 3,5$ alcanza los 8 cm a los 6 años y termina a los 9 años afectando a los 10 primeros cm.

parcelas sin intervención



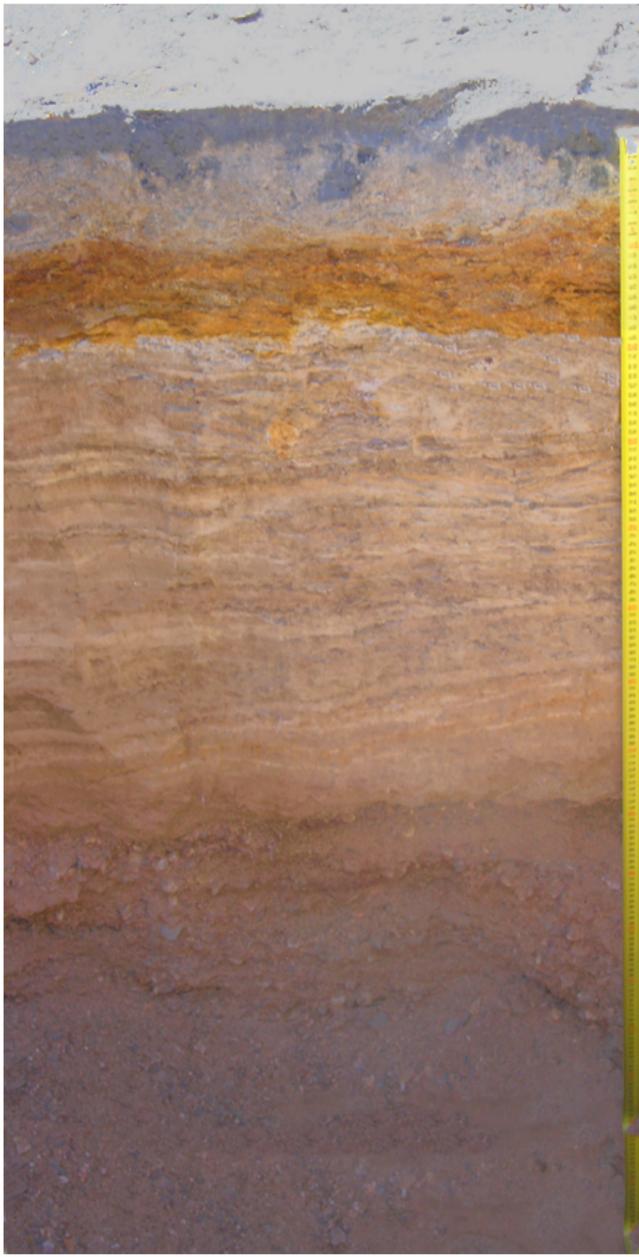
Si establecemos una ecuación de regresión entre el espesor de la capa de pH ≤ 3,5 y el tiempo, vemos que sigue una tendencia lineal, con un alto coeficiente de correlación.

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 12 años



14 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

Si extrapolamos esta tendencia podríamos tener una representación similar a esta secuencia. La capa hiperácida con 14 cm en la situación actual.

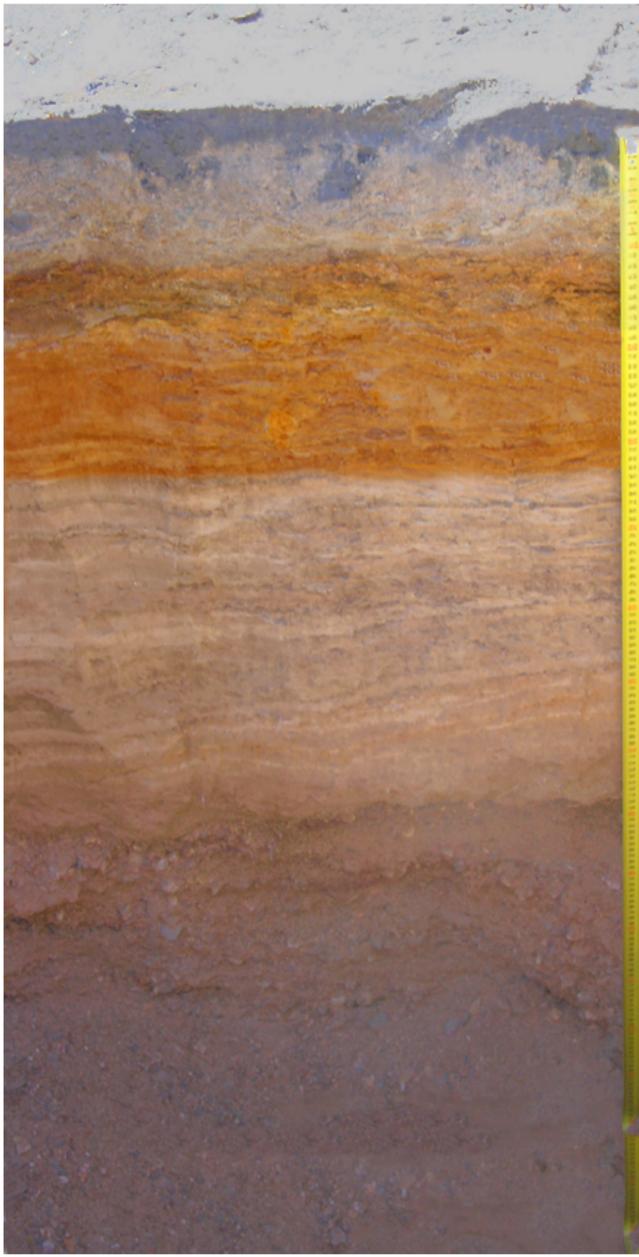


Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 20 años



23 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

que pasaría a ser de 23 cm a los 20 años del vertido

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 30 años



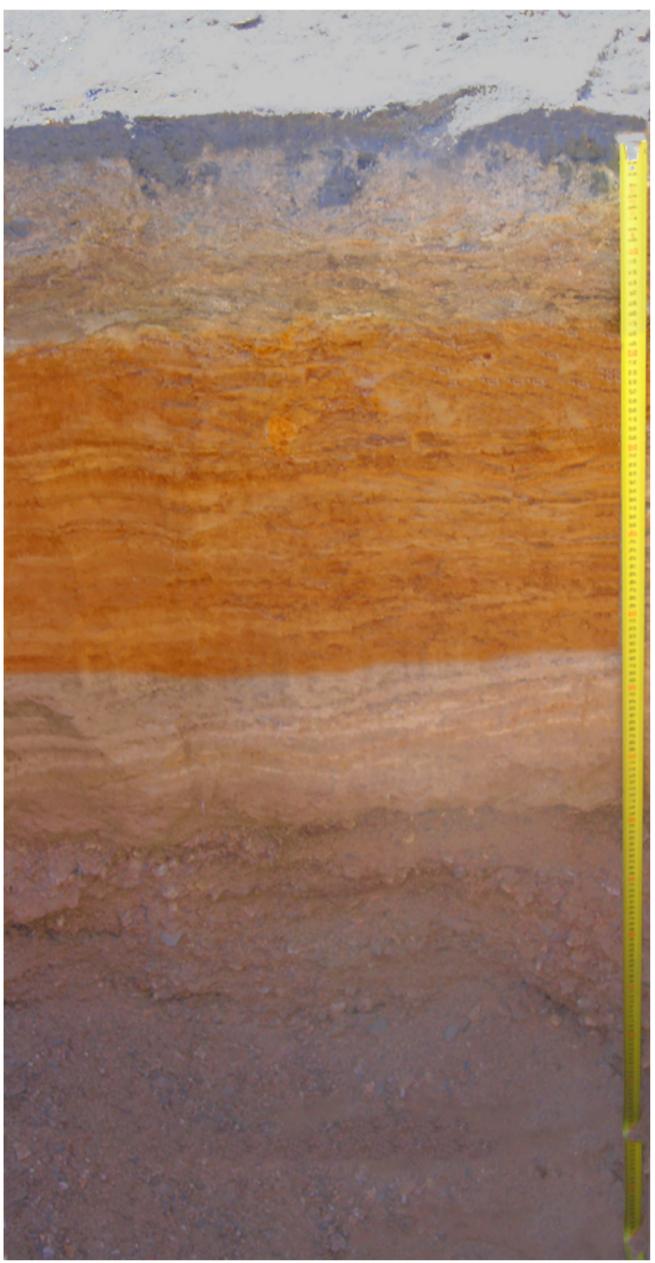
34 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

parcelas sin intervención
a los 40 años



46 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

y así sucesivamente

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 50 años



57 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 60 años



68 cm

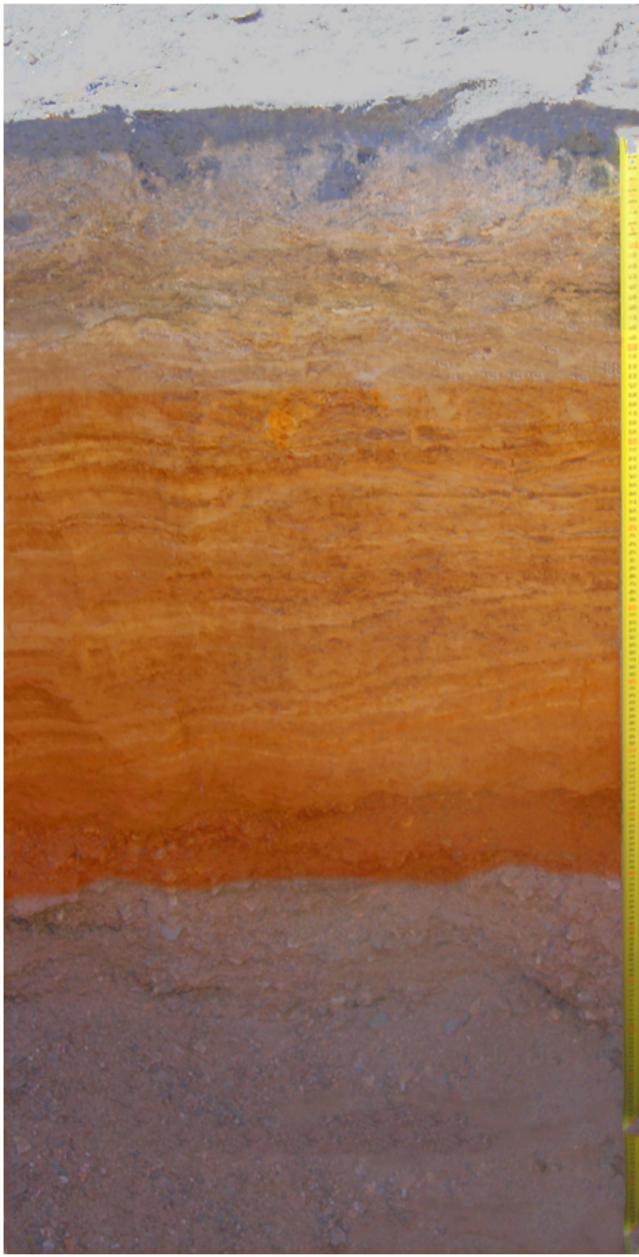
anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 70 años



80 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 80 años



91 cm

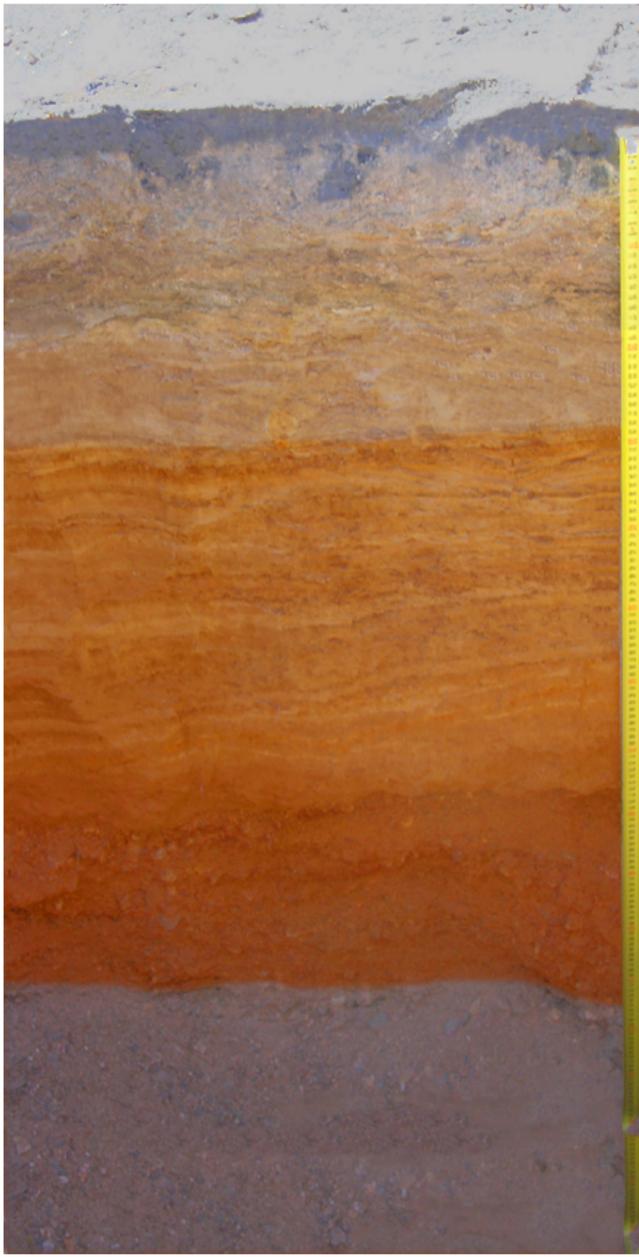
anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 90 años



103 cm

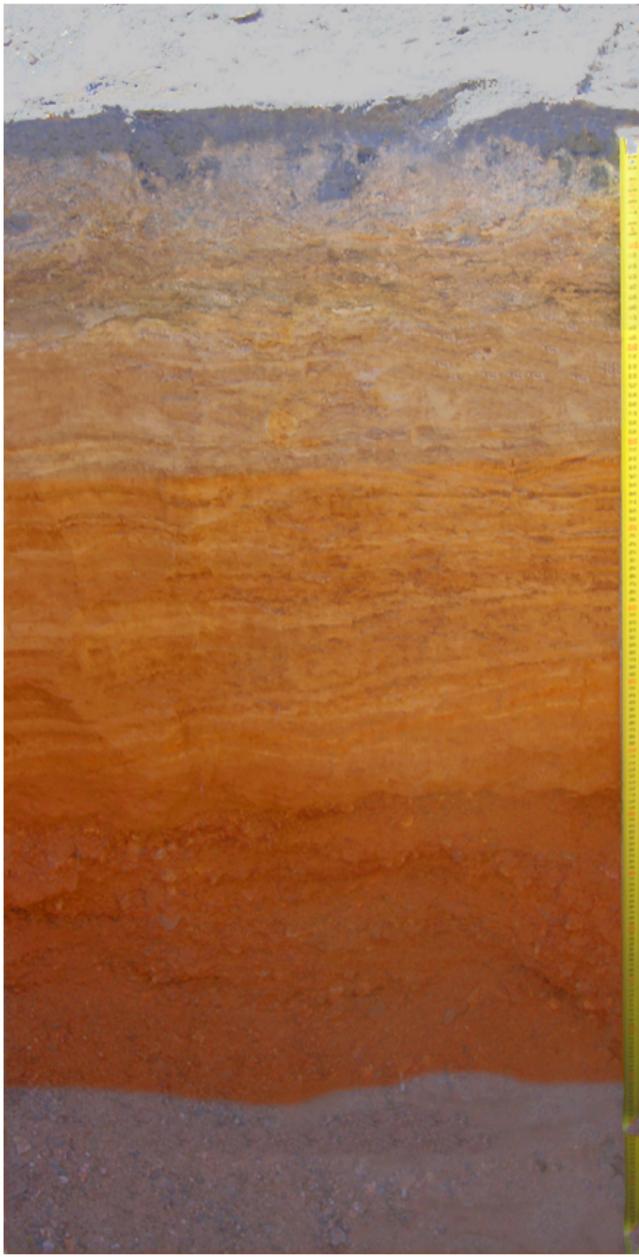
anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La rehabilitación
4. La no intervención
5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 100 años



114 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

114 cm a los 100 años, o sea a los 100 años se hubiese producido la anulación de todo el espesor del suelo.

Pero no pretendo dramatizar, pues recordemos, esto hubiese ocurrido si no se hubiese procedido a la mediación de la zona.

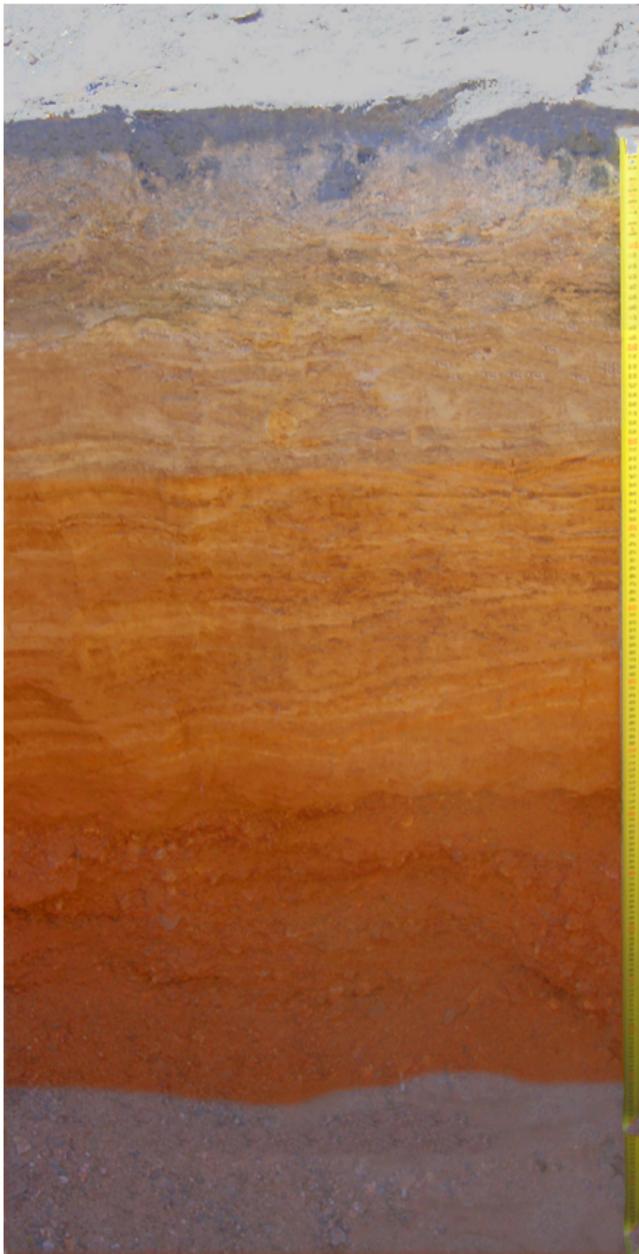


Aznalcóllar, hoy.

- 1. El accidente
- 2. La contaminación
- 3. La rehabilitación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro

parcelas sin intervención

a los 100 años



30 cm capa blanca

114 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3$)

114 cm a los 100 años, o sea a los 100 años se hubiese producido la anulación de todo el espesor del suelo.

Pero no pretendo dramatizar, pues recordemos, esto hubiese ocurrido si no se hubiese procedido a la mediación de la zona.

zona remediada

As, mg/kg

año	edad	50 percentil	75 percentil	90 percentil	95 percentil	99 percentil
1998	0	82,1	162,6	386,7	692,4	852,8
1999	1	103,4	157,9	224,2	389,5	494,0
2001	3	68,1	112,2	203,5	284,7	486,7
2004	6	55,1	88,8	137,5	187,4	325,3
2009	11	53,7	95,9	166,2	209,6	320,8
2010	12	55,7	93,6	138,2	187,7	261,6

fracción total, 0-10 cm

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

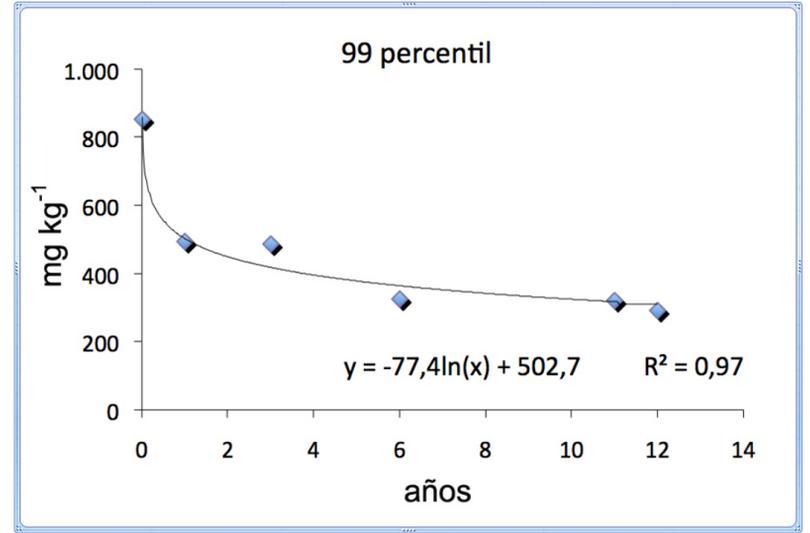
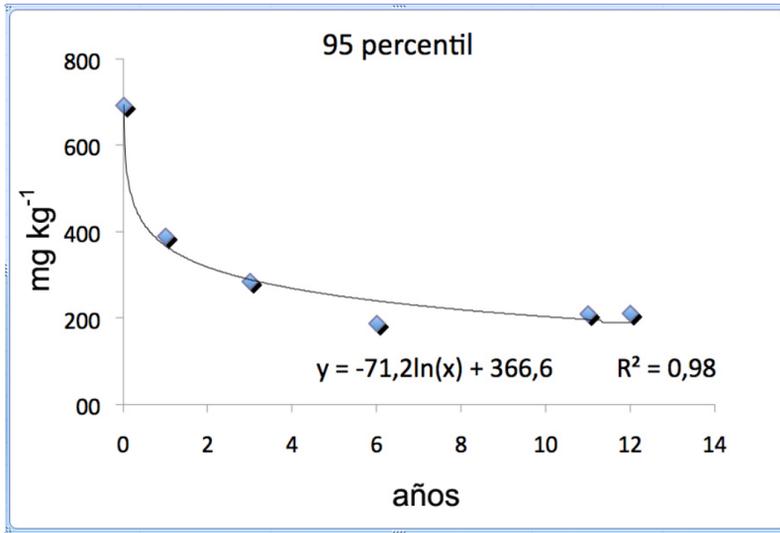
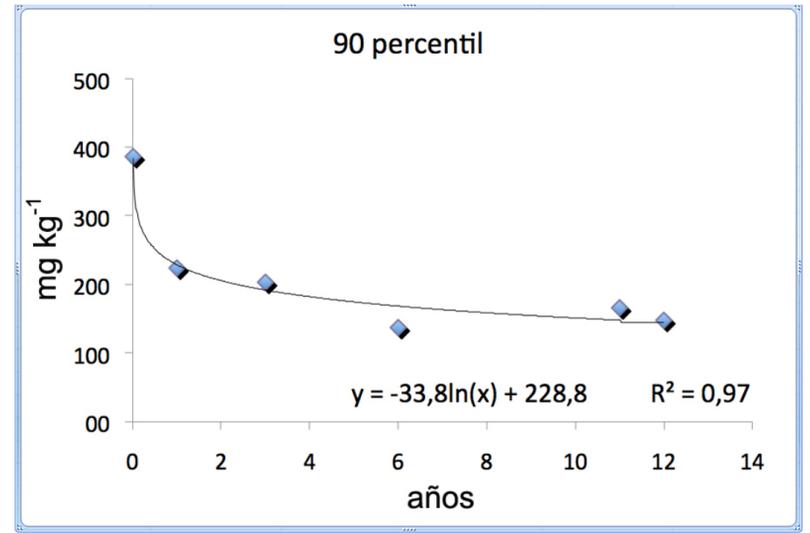
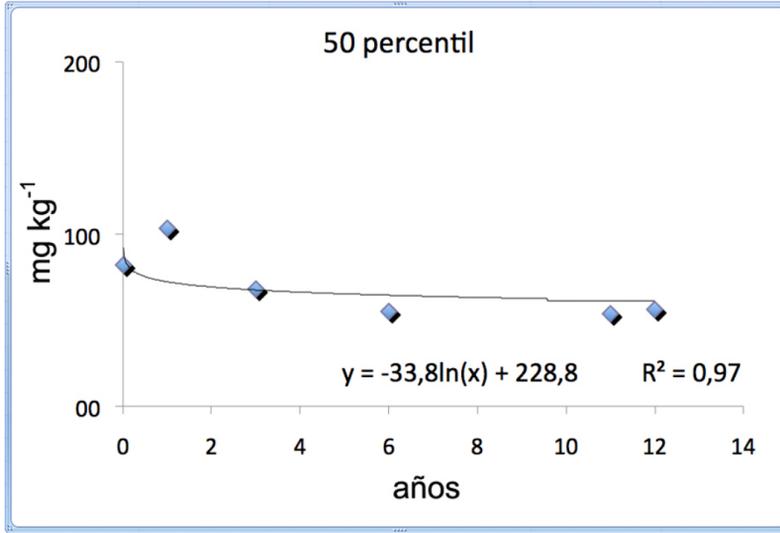
En la zona remediada, fuera de las parcelas experimentales, el futuro parece muy diferente. Como hemos visto al hablar de las medidas de rehabilitación, las concentraciones del As total y metales pesados han ido sistemáticamente decreciendo al ir transcurriendo el tiempo, como muestra esta tabla para las concentraciones en As de distintos percentiles.

Si representamos estas tendencias en una curva de regresión



zona remediada

As, total, 0-10 cm

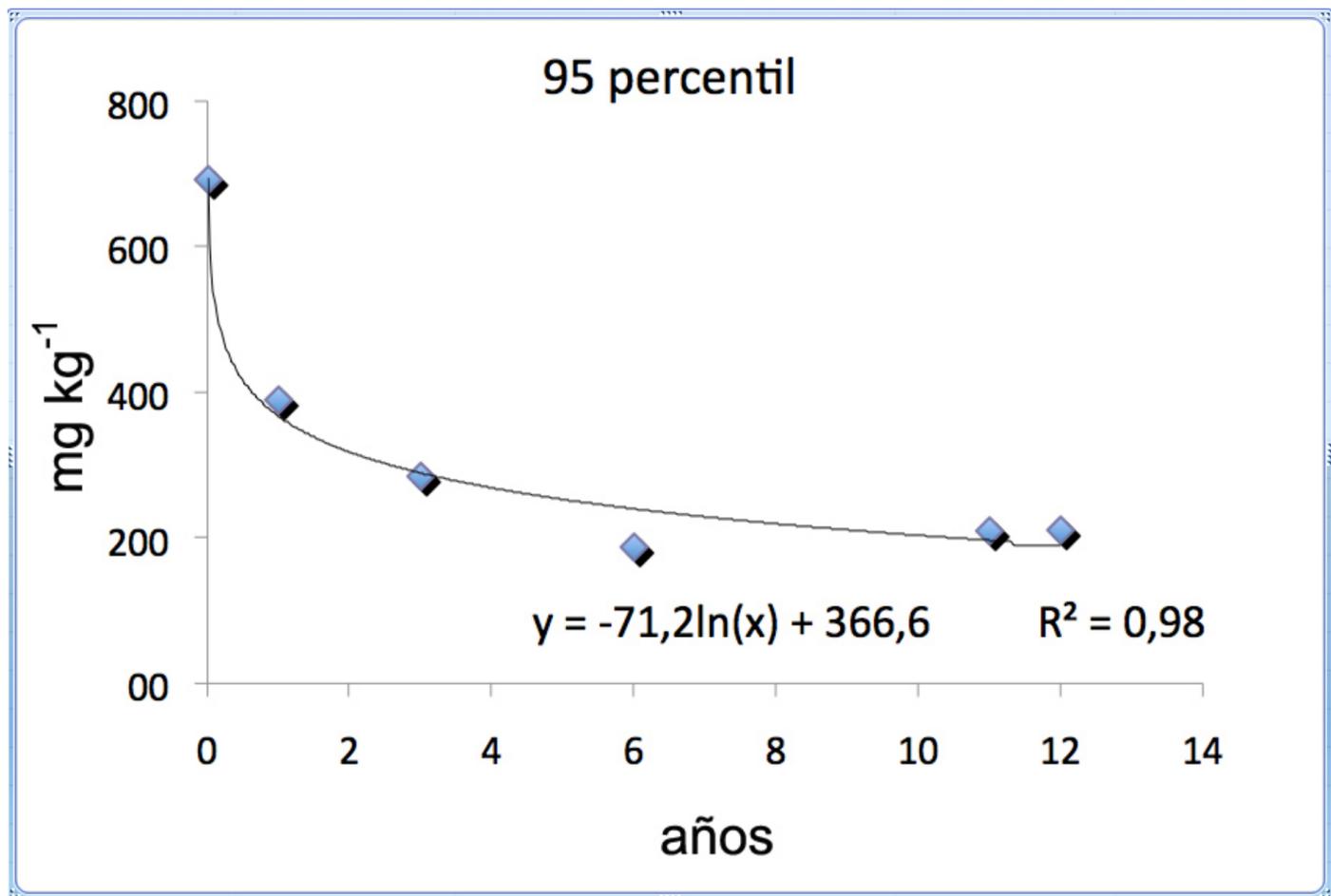


Se obtienen unas ecuaciones de regresión con unos ajustes realmente altos para los percentiles 50, 90, 95 y 99, con un R2 de 0,97 y 0,98.

Estas ecuaciones nos van a permitir adentrarnos en el futuro de la zona.

zona remediada

As, total, 0-10 cm



Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Por ejemplo, aplicando la ecuación del percentil 95 podemos esperar que a los 43 años la concentración del 95% de los suelos afectados estará por debajo del N.I. 100 mg/kg.

Y si se mantiene la tendencia actual podría ser que la zona se recupere totalmente a los 134 años del vertido, alcanzando los 18 mg/kg que presentaban los suelos de la cuenca no afectados por el vertido.

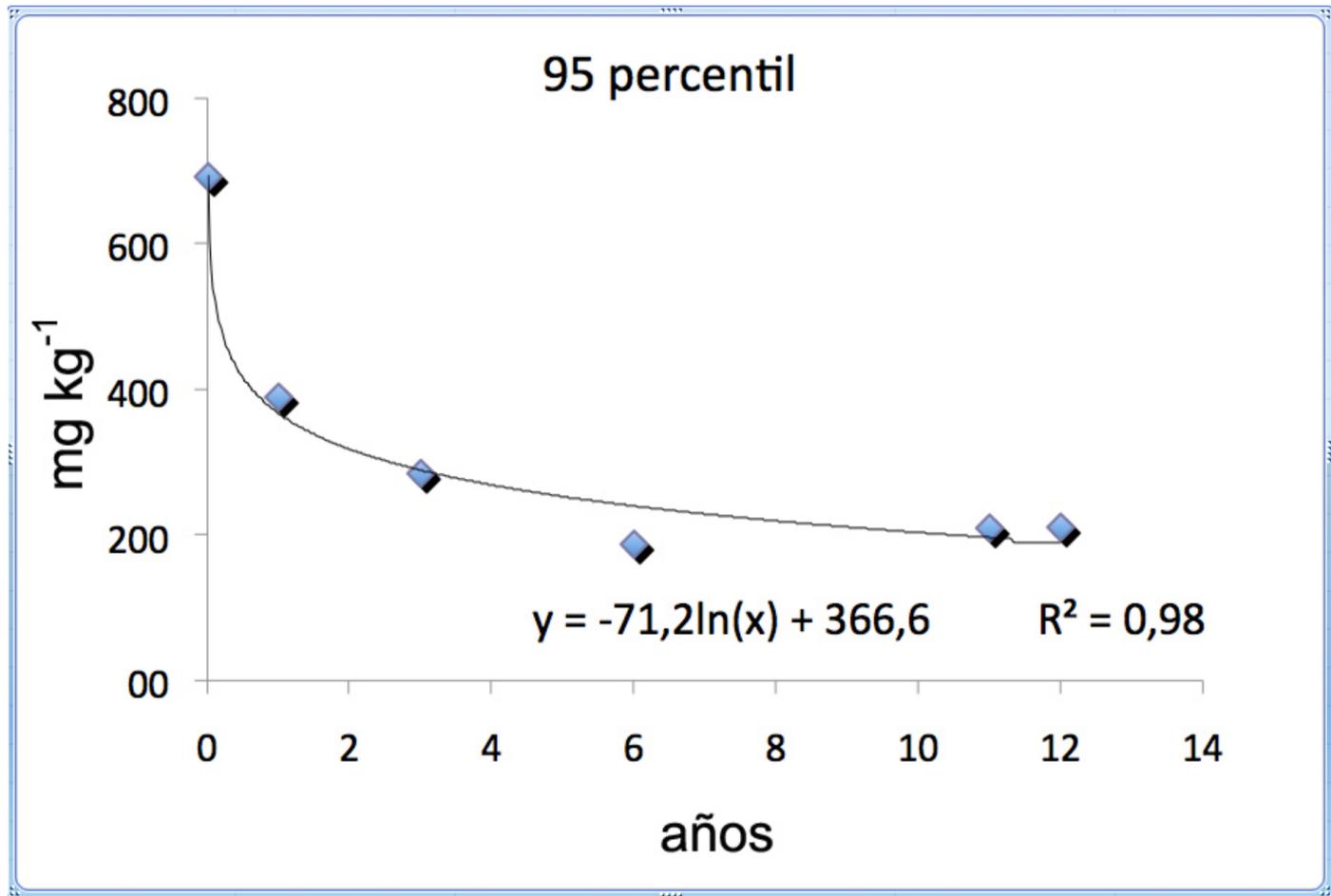
Y a más corto plazo, si hoy el 95 percentil del As está en los 292 mg/kg, dentro de otros 12 años estará en los 140, es decir que se habrá rebajado en más de la mitad.

Estos datos deben tomarse con las debidas cautelas, ¡sólo se cumplirán si se mantienen las tendencias actuales!.

AVISO. MUCHOS DE LOS DATOS AQUÍ PRESENTADOS CORRESPONDEN A INVESTIGACIONES INÉDITAS DE LOS MIEMBROS DEL DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA QUE NO HAN SIDO AÚN PUBLICADOS.

zona remediada

As, total, 0-10 cm



100 mg kg⁻¹ a los 43 años

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Por ejemplo, aplicando la ecuac del percentil 95 podemos esperar que a los 43 años la concent del 95% de los s. afectad estará por debajo del N.I. 100 mg/kg.

Y si se mantiene la tendencia actual podría ser que la zona se recupere totalmente a los 134 años del vertido, alcanzando los 18 mg/kg que presentaban los suelos de la cuenca no afectados por el vertido.

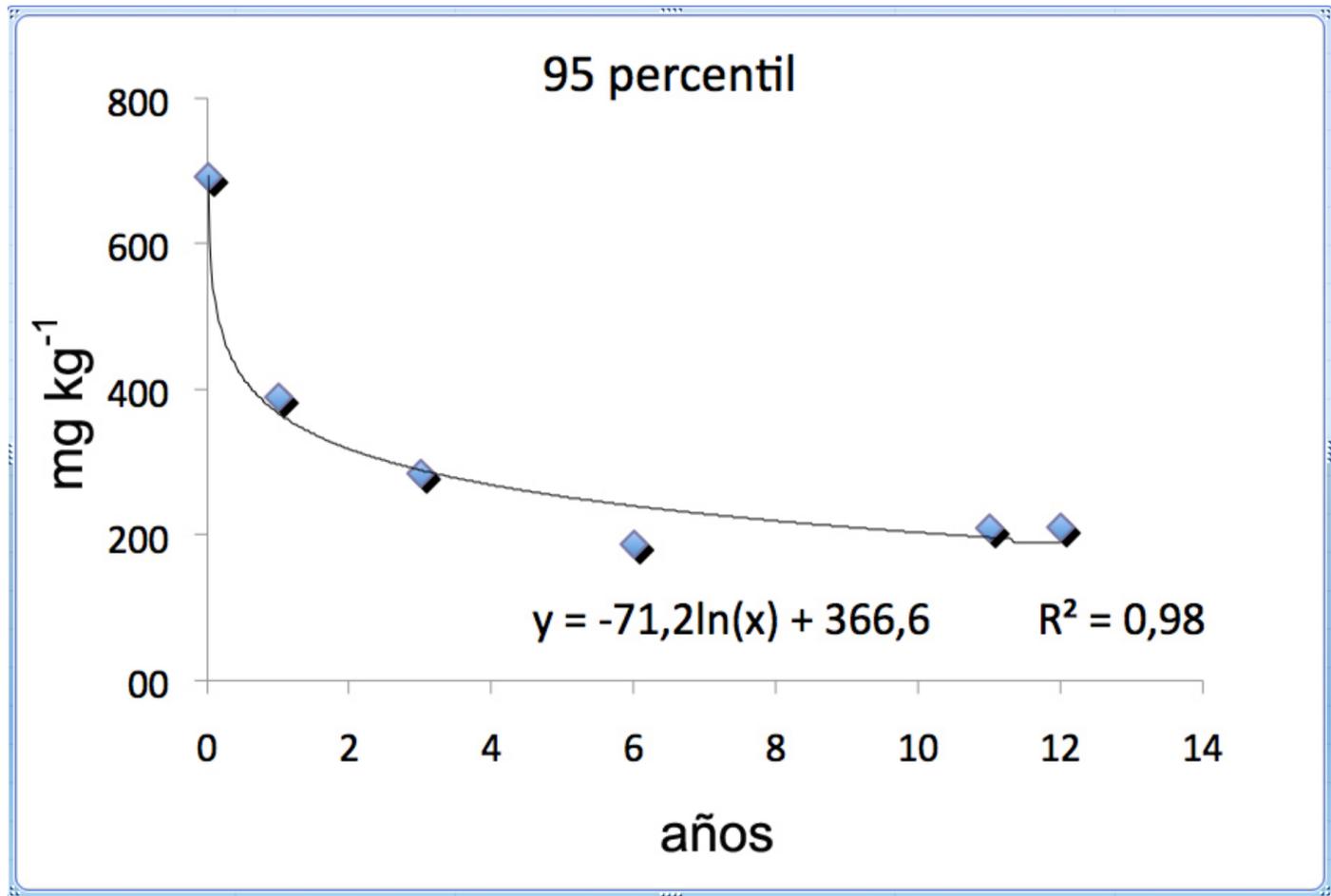
Y a más corto plazo, si hoy el 95 percentil del As está en los 292 mg/kg, dentro de otros 12 años estará en los 140, es decir que se habrá rebajado en más de la mitad.

Estos datos deben tomarse con las debidas cautelas, ¡sólo se cumplirán si se mantienen las tendencias actuales!.

AVISO. MUCHOS DE LOS DATOS AQUÍ PRESENTADOS CORRESPONDEN A INVESTIGACIONES INÉDITAS DE LOS MIEMBROS DEL DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA QUE NO HAN SIDO AÚN PUBLICADOS.

zona remediada

As, total, 0-10 cm



100 mg kg⁻¹ a los 43 años

18 mg kg⁻¹ a los 134 años

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Por ejemplo, aplicando la ecuac del percentil 95 podemos esperar que a los 43 años la concent del 95% de los s. afectad estará por debajo del N.I. 100 mg/kg.

Y si se mantiene la tendencia actual podría ser que la zona se recupere totalmente a los 134 años del vertido, alcanzando los 18 mg/kg que presentaban los suelos de la cuenca no afectados por el vertido.

Y a más corto plazo, si hoy el 95 percentil del As está en los 292 mg/kg, dentro de otros 12 años estará en los 140, es decir que se habrá rebajado en más de la mitad.

Estos datos deben tomarse con las debidas cautelas, ¡sólo se cumplirán si se mantienen las tendencias actuales!.

AVISO. MUCHOS DE LOS DATOS AQUÍ PRESENTADOS CORRESPONDEN A INVESTIGACIONES INÉDITAS DE LOS MIEMBROS DEL DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA QUE NO HAN SIDO AÚN PUBLICADOS.

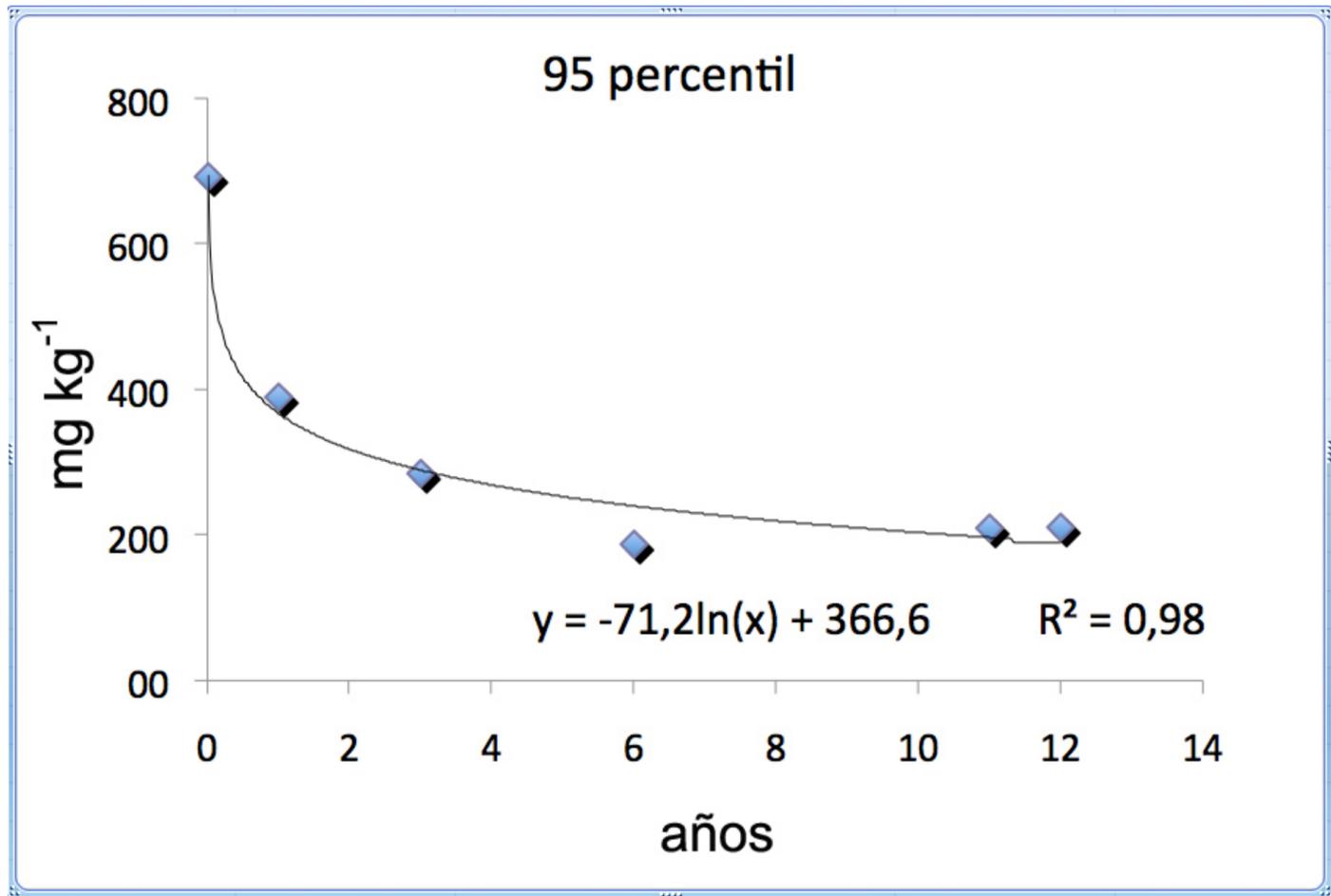


zona remediada

As, total, 0-10 cm

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro



100 mg kg⁻¹ a los 43 años

292 mg kg⁻¹ hoy, a los 12 años

18 mg kg⁻¹ a los 134 años

Por ejemplo, aplicando la ecuac del percentil 95 podemos esperar que a los 43 años la concent del 95% de los s. afectad estará por debajo del N.I. 100 mg/kg.

Y si se mantiene la tendencia actual podría ser que la zona se recupere totalmente a los 134 años del vertido, alcanzando los 18 mg/kg que presentaban los suelos de la cuenca no afectados por el vertido.

Y a más corto plazo, si hoy el 95 percentil del As está en los 292 mg/kg, dentro de otros 12 años estará en los 140, es decir que se habrá rebajado en más de la mitad.

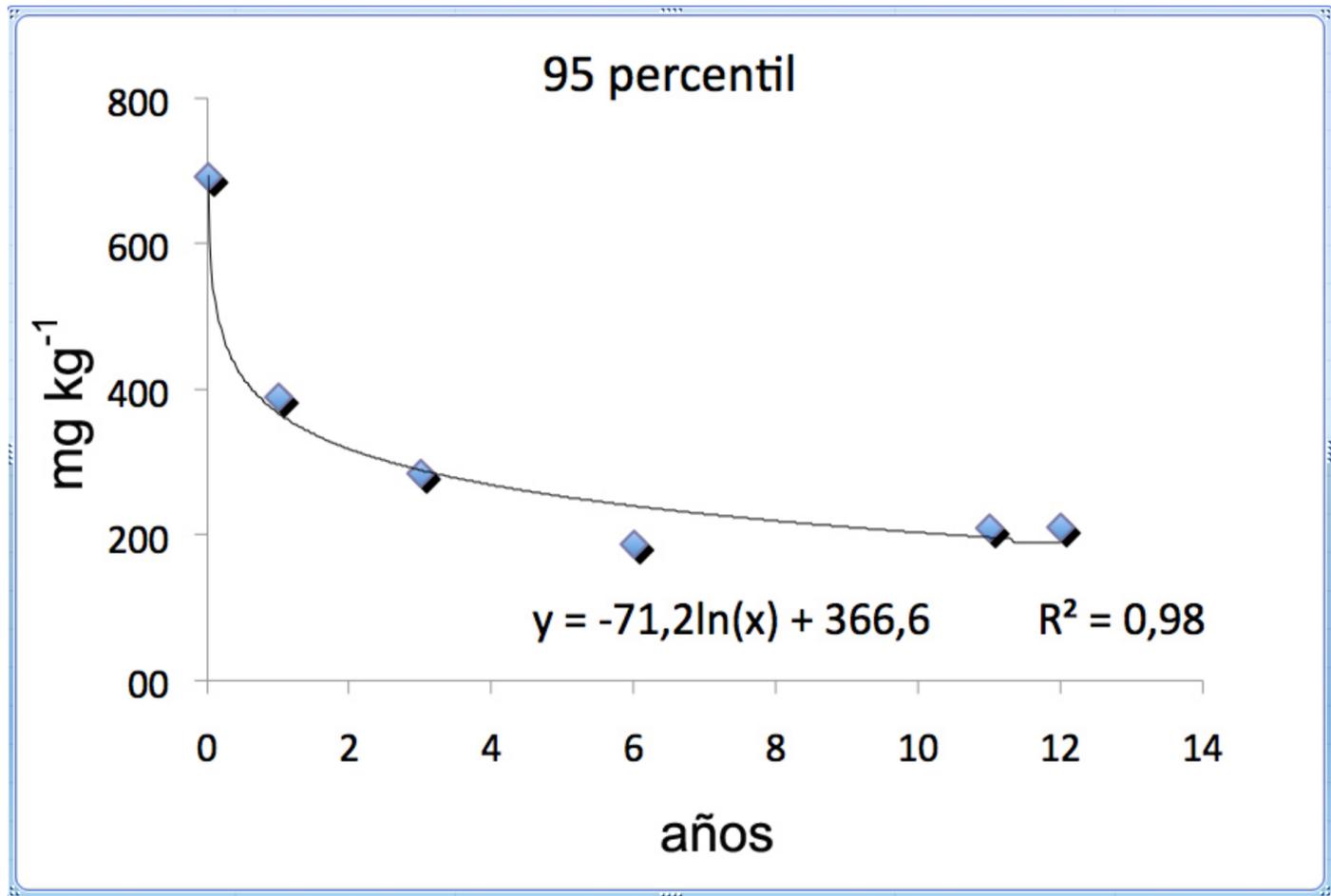
Estos datos deben tomarse con las debidas cautelas, ¡sólo se cumplirán si se mantienen las tendencias actuales!.

AVISO. MUCHOS DE LOS DATOS AQUÍ PRESENTADOS CORRESPONDEN A INVESTIGACIONES INÉDITAS DE LOS MIEMBROS DEL DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA QUE NO HAN SIDO AÚN PUBLICADOS.



zona remediada

As, total, 0-10 cm



100 mg kg⁻¹ a los 43 años

18 mg kg⁻¹ a los 134 años

292 mg kg⁻¹ hoy, a los 12 años

140 mg kg⁻¹ dentro de otros 12 años

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La rehabilitación 4. La no intervención 5. El futuro

Por ejemplo, aplicando la ecuac del percentil 95 podemos esperar que a los 43 años la concent del 95% de los s. afectad estará por debajo del N.I. 100 mg/kg.

Y si se mantiene la tendencia actual podría ser que la zona se recupere totalmente a los 134 años del vertido, alcanzando los 18 mg/kg que presentaban los suelos de la cuenca no afectados por el vertido.

Y a más corto plazo, si hoy el 95 percentil del As está en los 292 mg/kg, dentro de otros 12 años estará en los 140, es decir que se habrá rebajado en más de la mitad.

Estos datos deben tomarse con las debidas cautelas, ¡sólo se cumplirán si se mantienen las tendencias actuales!.

AVISO. MUCHOS DE LOS DATOS AQUÍ PRESENTADOS CORRESPONDEN A INVESTIGACIONES INÉDITAS DE LOS MIEMBROS DEL DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA QUE NO HAN SIDO AÚN PUBLICADOS.