

Aznalcóllar, 14 años después.

La mayor remediación de suelos en Europa.

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

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)
- 2º por su situación (cercanías al Parque Nacional de 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.

Han sido muchos los equipos que han trabajado en las consecuencias de este vertido bajo muy diversos aspectos, como la hidrología, la botánica, la zoología,.... Concretamente en los suelos han trabajado varios grupos, por ejemplo a destacar la labor realizada por un equipo gallego dirigido por los doctores Macías y Calvo, también han realizado importantes contribuciones investigadores varias universidades, sin olvidar a los investigadores del CSIC. Resumir todo ello se sale de los límites de esta charla. Yo les voy a exponer hoy algunos de los resultados obtenidos por el Dpto Eda Univ Gr, en el seguimiento realizado sobre los suelos desde los primeros días del vertido hasta la actualidad y de las medidas remediadoras que adoptó la Junta de Andalucía en base a los resultados que iban obteniendo de todos estos equipos. Intentaré mostrarles como está la situación hoy.

Pero esta investigación tiene un interesante valor añadido y es comprobar como un departamento universitario afronta una situación nueva, para la que no está especialmente preparado.

Efectivamente nosotros éramos especialistas en varias líneas sobre suelos, como la génesis, mineralogía, micromorfología, cartografía y evaluación pero no habíamos investigado nada sobre la contaminación por metales pesados. Fuimos a Aznalcóllar simplemente por curiosidad, para tomar unas fotos y unas muestras para mostrárselas a nuestros alumnos. Pero lo que allí nos encontramos fue de tal magnitud que nos obligó a dedicarle toda nuestra atención. En definitiva se puede decir que el vertido tóxico de Aznalcóllar supuso un cambio radical en las líneas de investigación de nuestro departamento.

Aznalcóllar, 14 años después. La mayor remediación de suelos en Europa.

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**

Esta charla la vamos a estructurar en cinco apartados. Empezaremos recordando como fue el accidente minero.

Aznalcóllar, 14 años después. La mayor remediación de suelos en Europa.

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.

1. El accidente.

Esta charla la vamos a estructurar en cinco apartados. Empezaremos recordando como fue el accidente minero.

Aznalcóllar, 14 años después. La mayor remediación de suelos en Europa.

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, 14 años después. La mayor remediación de suelos en Europa.

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 remediación

En el tercer bloque hablaremos de las medidas de remediación que se llevaron a cabo.

Aznalcóllar, 14 años después. La mayor remediación de suelos en Europa.

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

En un cuarto punto consideraremos que hubiese pasado en la zona si no se hubiese intervenido

Aznalcóllar, 14 años después. La mayor remediación de suelos en Europa.

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

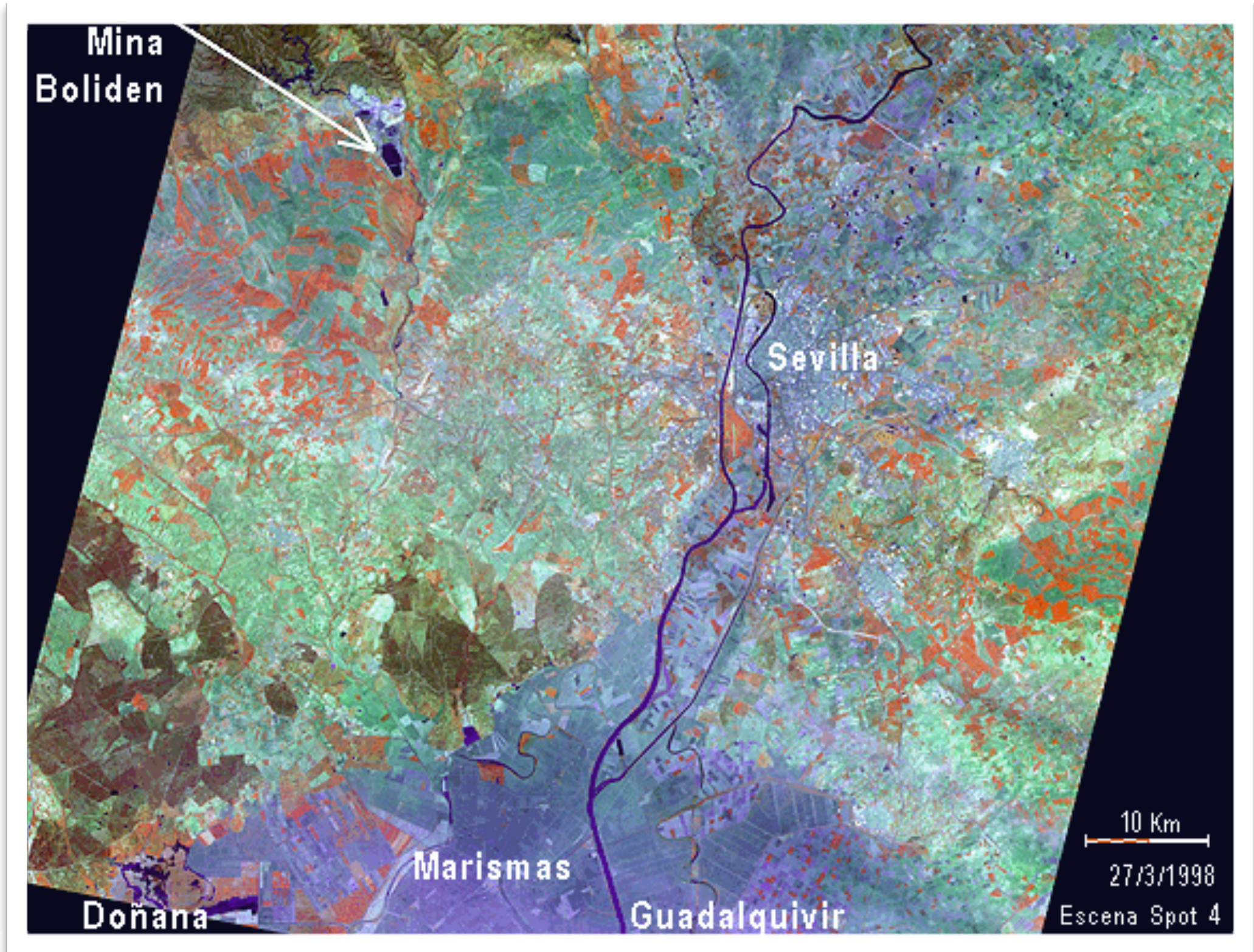
con la colaboración de: J. Aguilar, M. Díez, E. Fernández, J. Fernández, I. García,
A. Iriarte, F. Martín, F. J. Martínez, I. Ortiz, A. Roca, M. Simón

5. Una mirada al futuro

• 1 El accidente

Aznalcóllar, hoy.

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

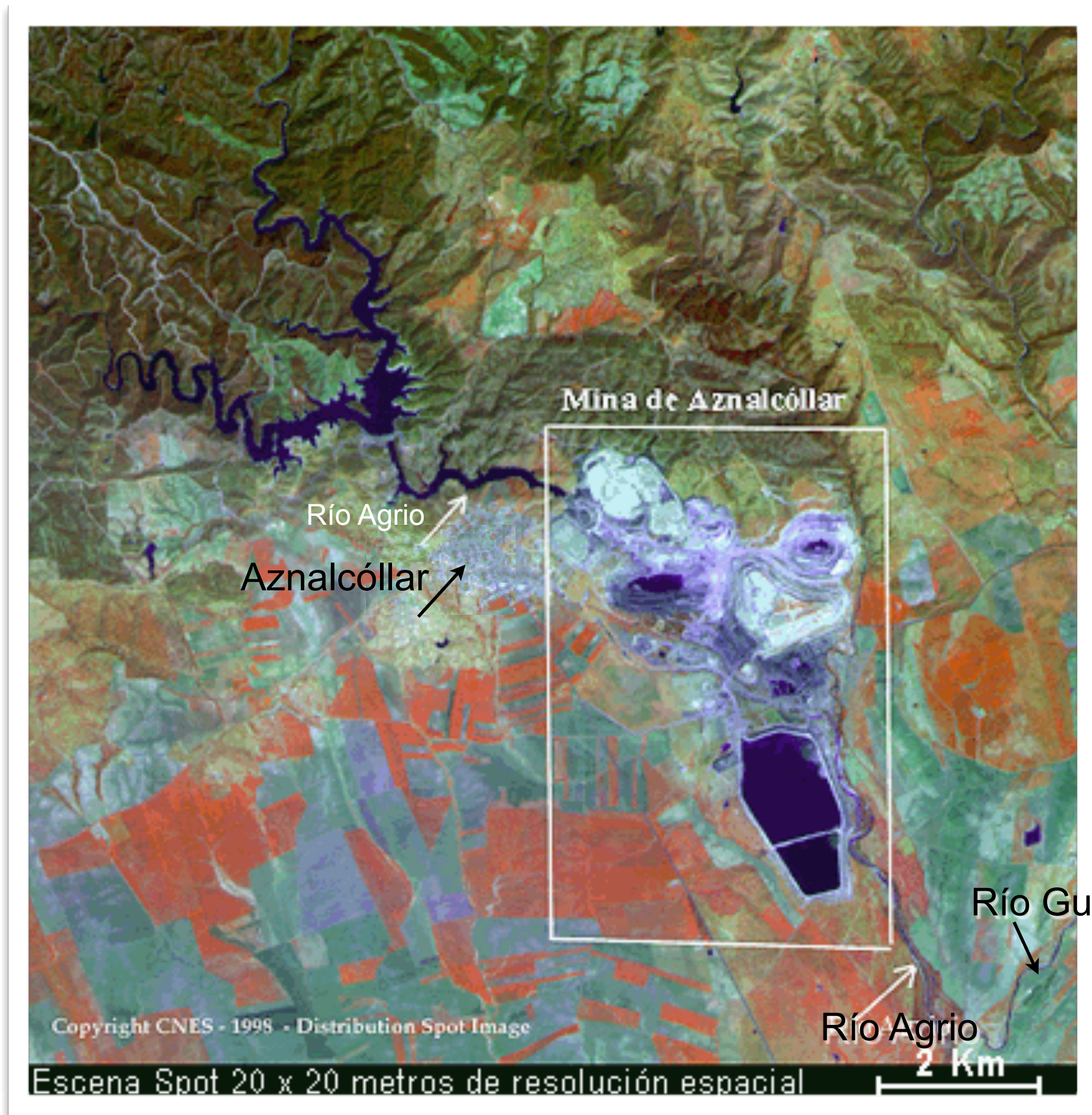


Con respecto al primer punto. El accidente.

Como es conocido, la mina de pirita que la empresa Boliden 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 remediación 4. La no intervención 5. El futuro



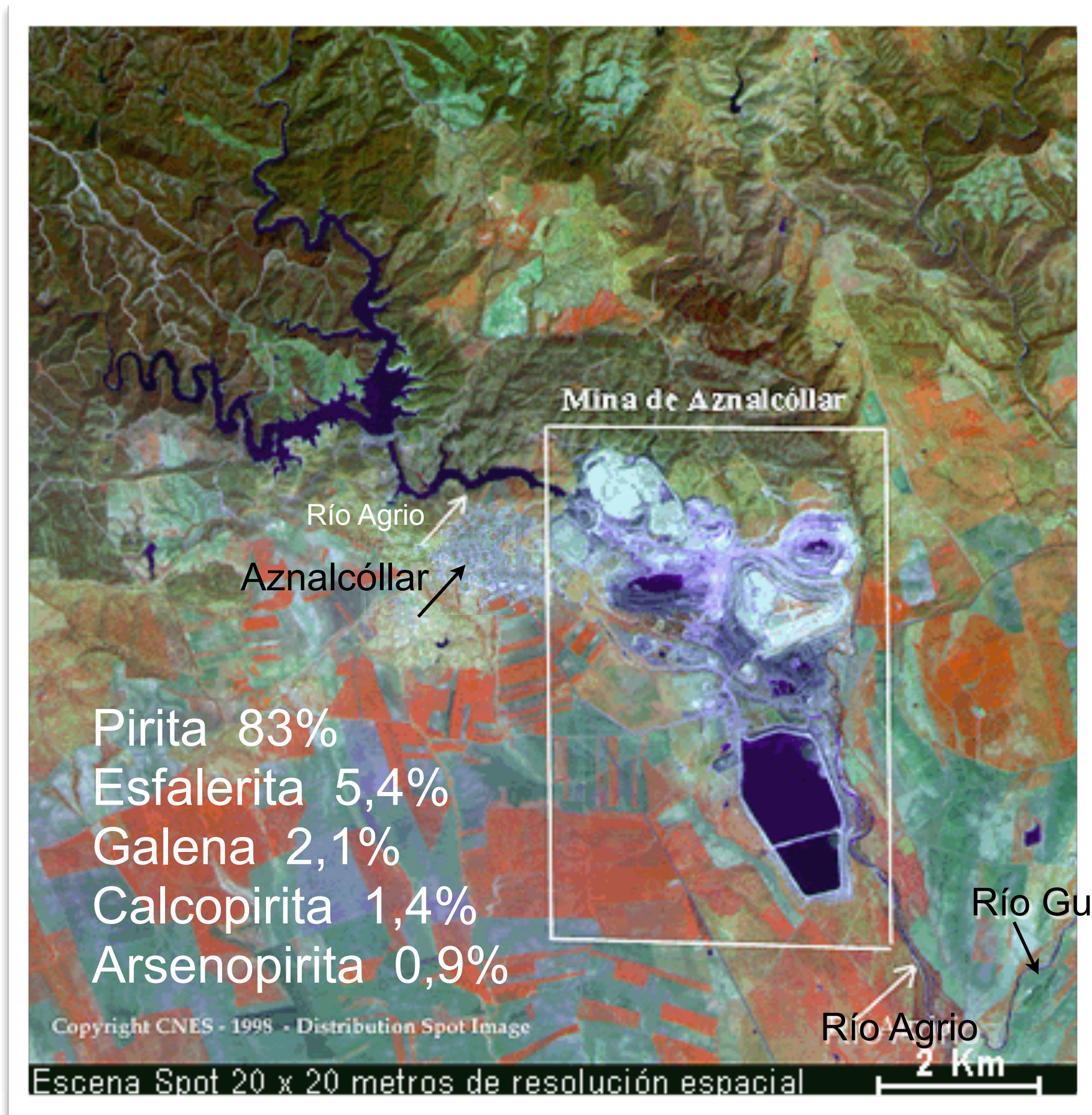
Pertenece a la Faja Pirítica Ibérica que recorre en dirección este-oeste el sur de la Península Ibérica y se encuentra situada justo en el límite entre el macizo de Sierra Morena y la Depresión del Guadalquivir.

En la imagen se observa en azul intenso la balsa de almacenamiento de estériles que fue la causante del vertido, de unos 2 km de longitud, situada junto al río Agrío, que es afluente del río Guadamar.

pyrite (83.1%), sphalerite (5.4%), galene (2.1%), chalcopyrite (1.4%) and arsenopyrite (0.9%), as well as minor amounts of bournonite, boulangerite, nuffieldite, jaskolskiite

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La remediación 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 límite entre el macizo de Sierra Morena y la Depresión del Guadalquivir.

En la imagen se observa en azul intenso la balsa de almacenamiento de estériles que fue la causante del vertido, de unos 2 km de longitud, situada junto al río Agrío, que es afluente del río Guadiamar.

pyrite (83.1%), sphalerite (5.4%), galene (2.1%), chalcopyrite (1.4%) and arsenopyrite (0.9%), as well as minor amounts of bournonite, boulangerite, nuffieldite, jaskolskiite

25/Abril /1998



Como es sabido, en la noche del 25/abril/1998, se produce la rotura de una de las paredes de la balsa que retenía los estériles con unas altas concentraciones de As y de metales pesados (del orden de algunos gramos por kg).

Como resultado de la rotura se produce un vertido de unos 5 hectómetros cúbicos (de los cuales 4 fueron de aguas y 1 de lodos).

25/Abril /1998

Composición del estéril

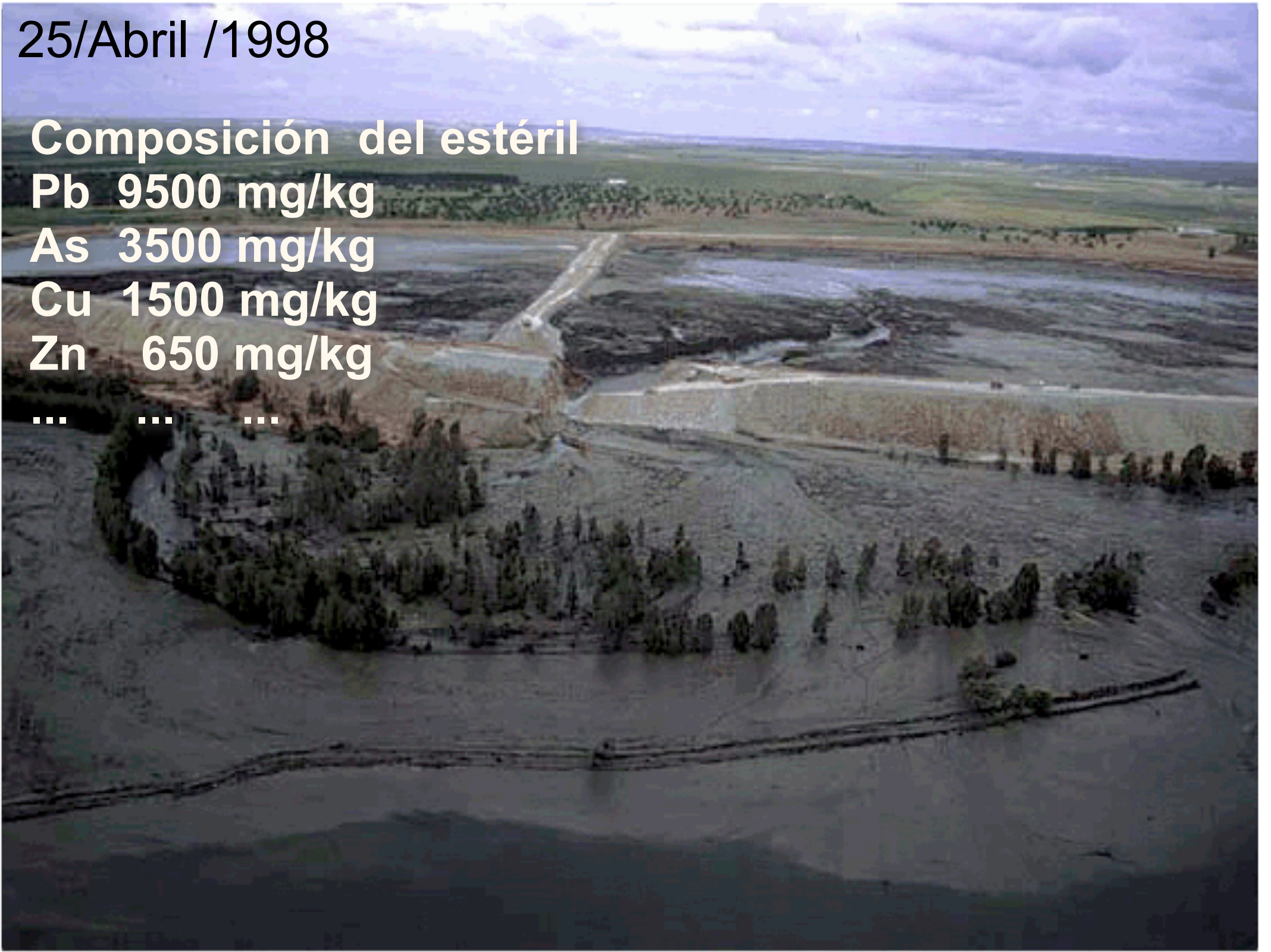
Pb 9500 mg/kg

As 3500 mg/kg

Cu 1500 mg/kg

Zn 650 mg/kg

... ...



Como es sabido, en la noche del 25/abril/1998, se produce la rotura de una de las paredes de la balsa que retenía los estériles con unas altas concentraciones de As y de metales pesados (del orden de algunos gramos por kg).

Como resultado de la rotura se produce un vertido de unos 5 hectómetros cúbicos (de los cuales 4 fueron de aguas y 1 de lodos).

25/Abril /1998

Composición del estéril

Pb 9500 mg/kg

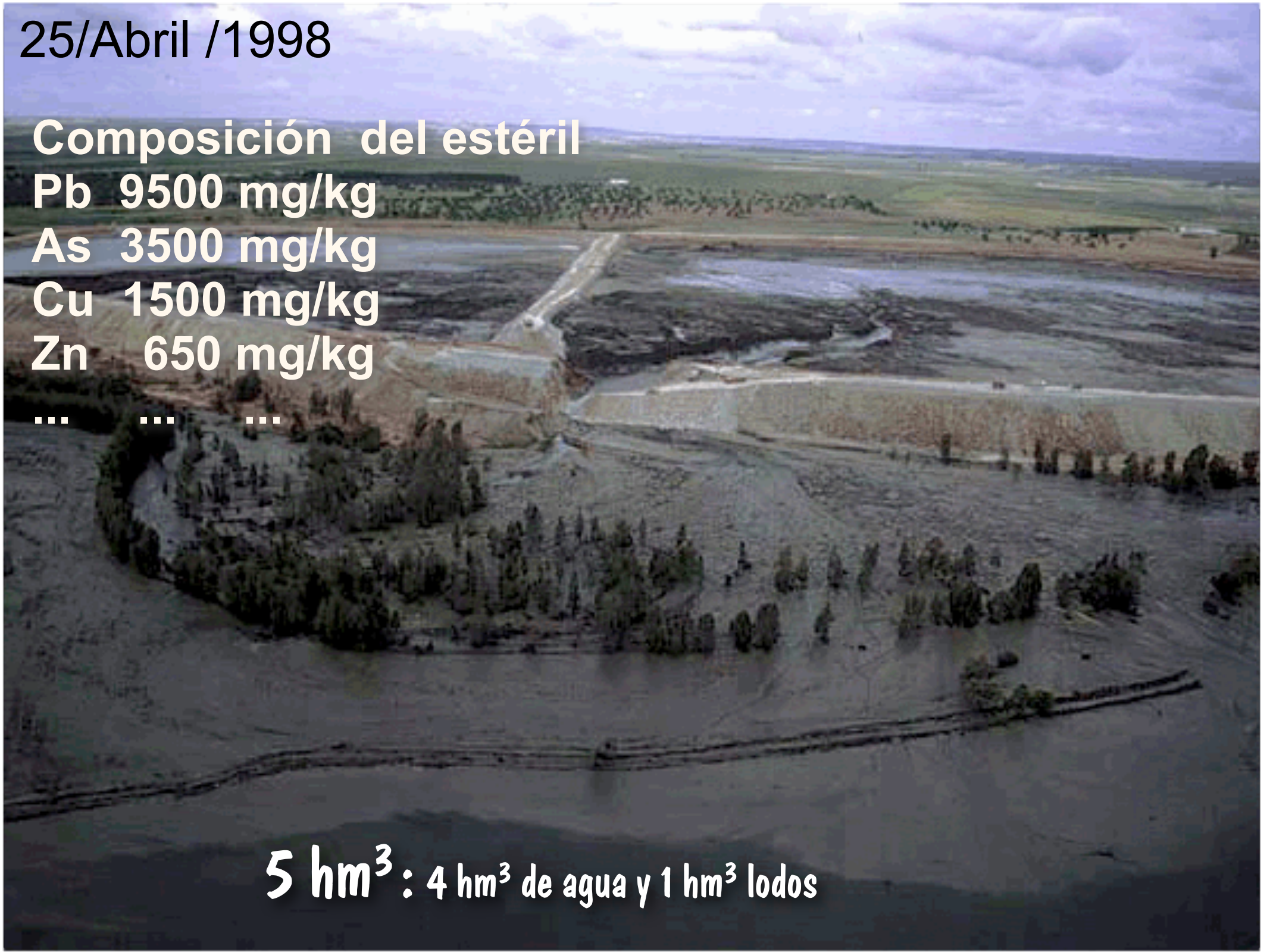
As 3500 mg/kg

Cu 1500 mg/kg

Zn 650 mg/kg

... ..

5 hm³ : 4 hm³ de agua y 1 hm³ lodos

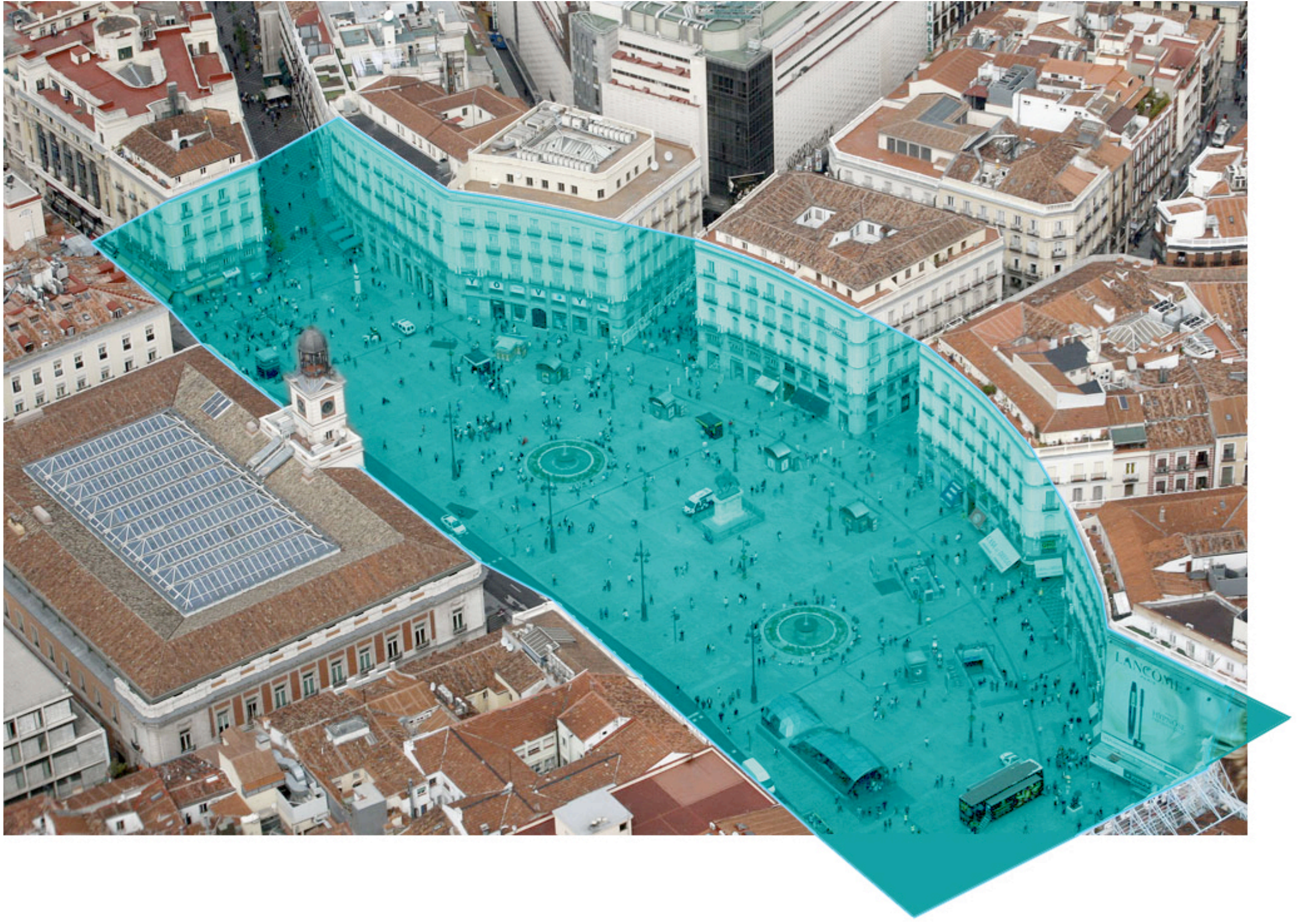


Como es sabido, en la noche del 25/abril/1998, se produce la rotura de una de las paredes de la balsa que retenía los estériles con unas altas concentraciones de As y de metales pesados (del orden de algunos gramos por kg).

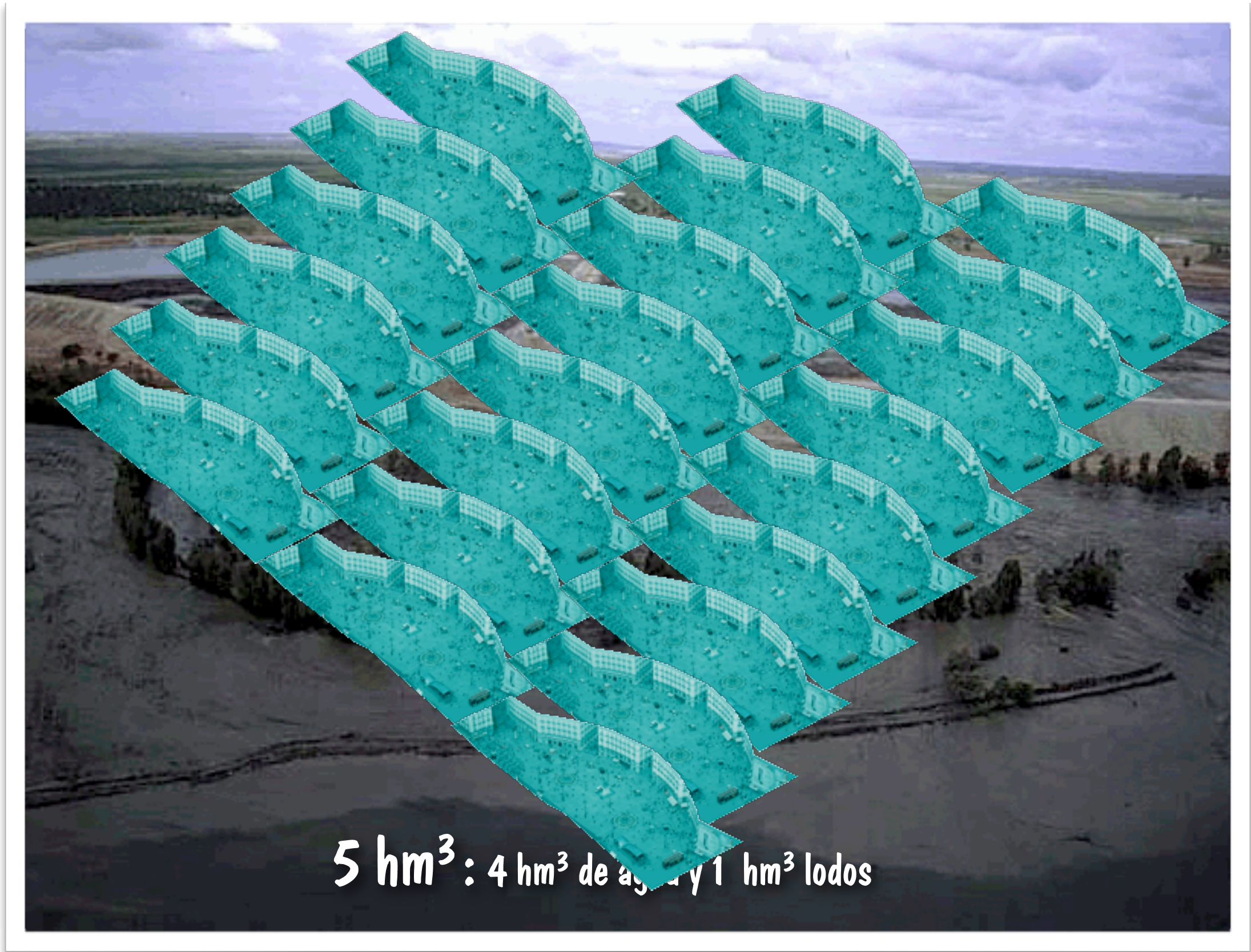
Como resultado de la rotura se produce un vertido de unos 5 hectómetros cúbicos (de los cuales 4 fueron de aguas y 1 de lodos).

Aznalcóllar, hoy.

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



5 millones de m³ es una cifra impresionante, pero difícil de imaginar, podemos hacernos una idea si la comparamos al volumen de la Puerta del Sol de Madrid.



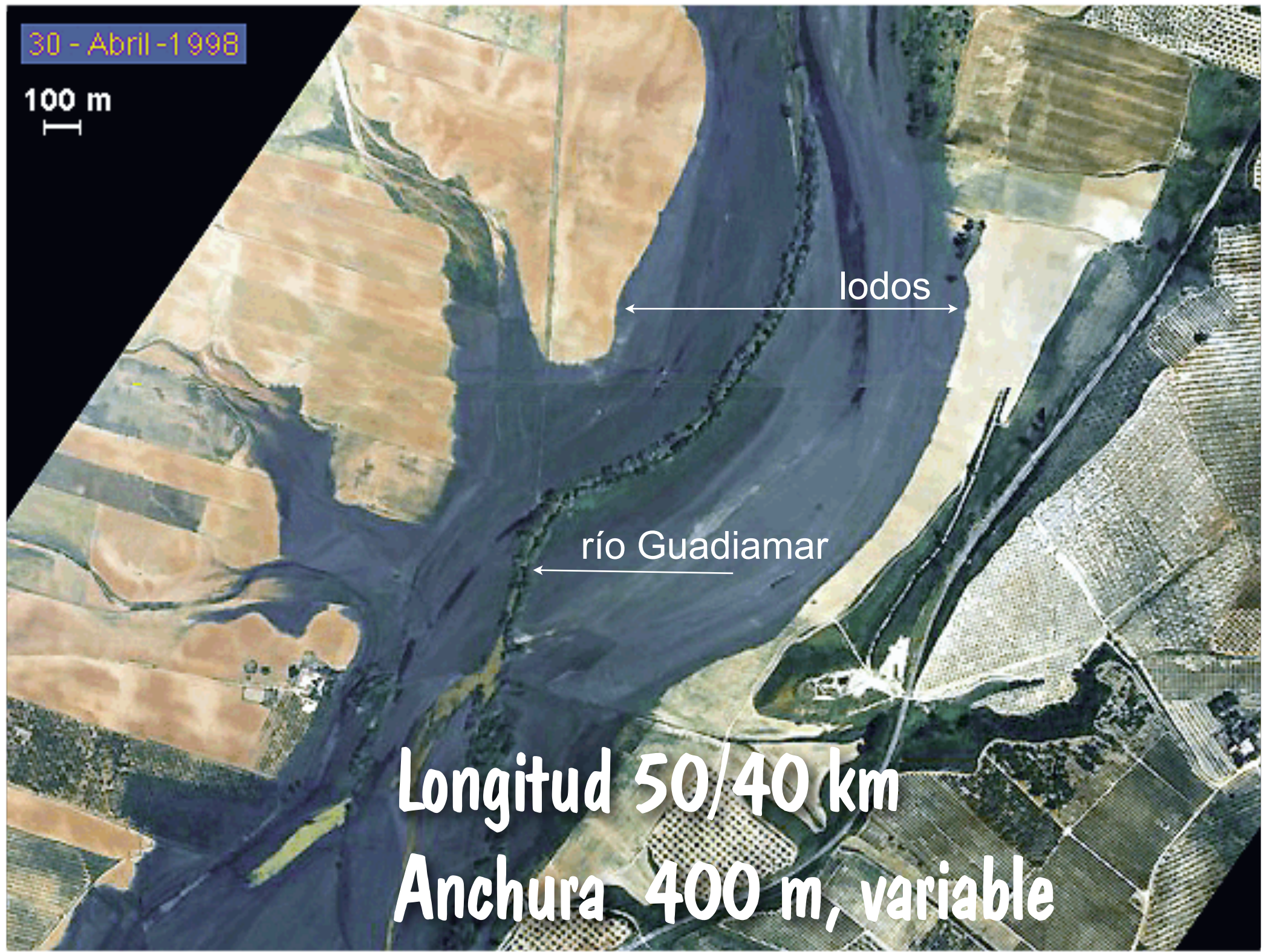
en este caso el volumen del vertido equivaldría a una 23 veces el volumen de la Puerta del Sol de Madrid.



Esta contaminación se vierte sobre el cauce y ribera de los ríos Agrio y Guadiamar afectando a una superficie de unas 4.400 ha, principalmente de terrenos agrícolas. Siguiendo nuestro símil la Puerta del Sol tiene un área de casi una hectárea.

Aznalcóllar, hoy.

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



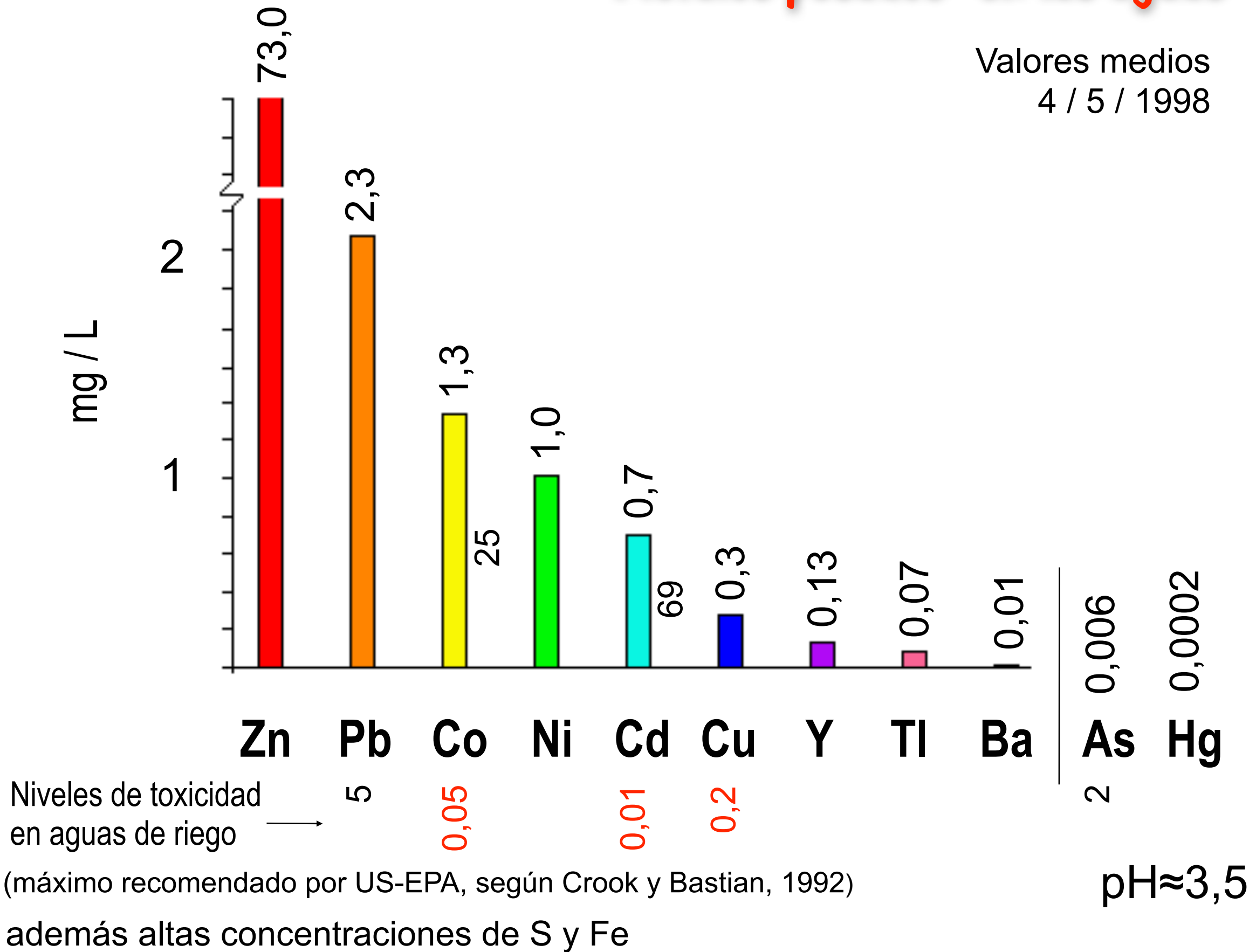
El vertido se distribuye por el cauce y la ribera del río Agró primero y luego del Guadiamar, **alcanzando las aguas** unos 50 km y los lodos 40. Con una anchura media de unos 400 metros, pero muy variable, dependiendo de la microtopografía.

"Metales pesados" en las aguas

Valores medios
4 / 5 / 1998

Aznalcóllar, hoy.

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



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. También importante la ausencia en las aguas de dos elementos tan peligrosos como el As y el Hg.

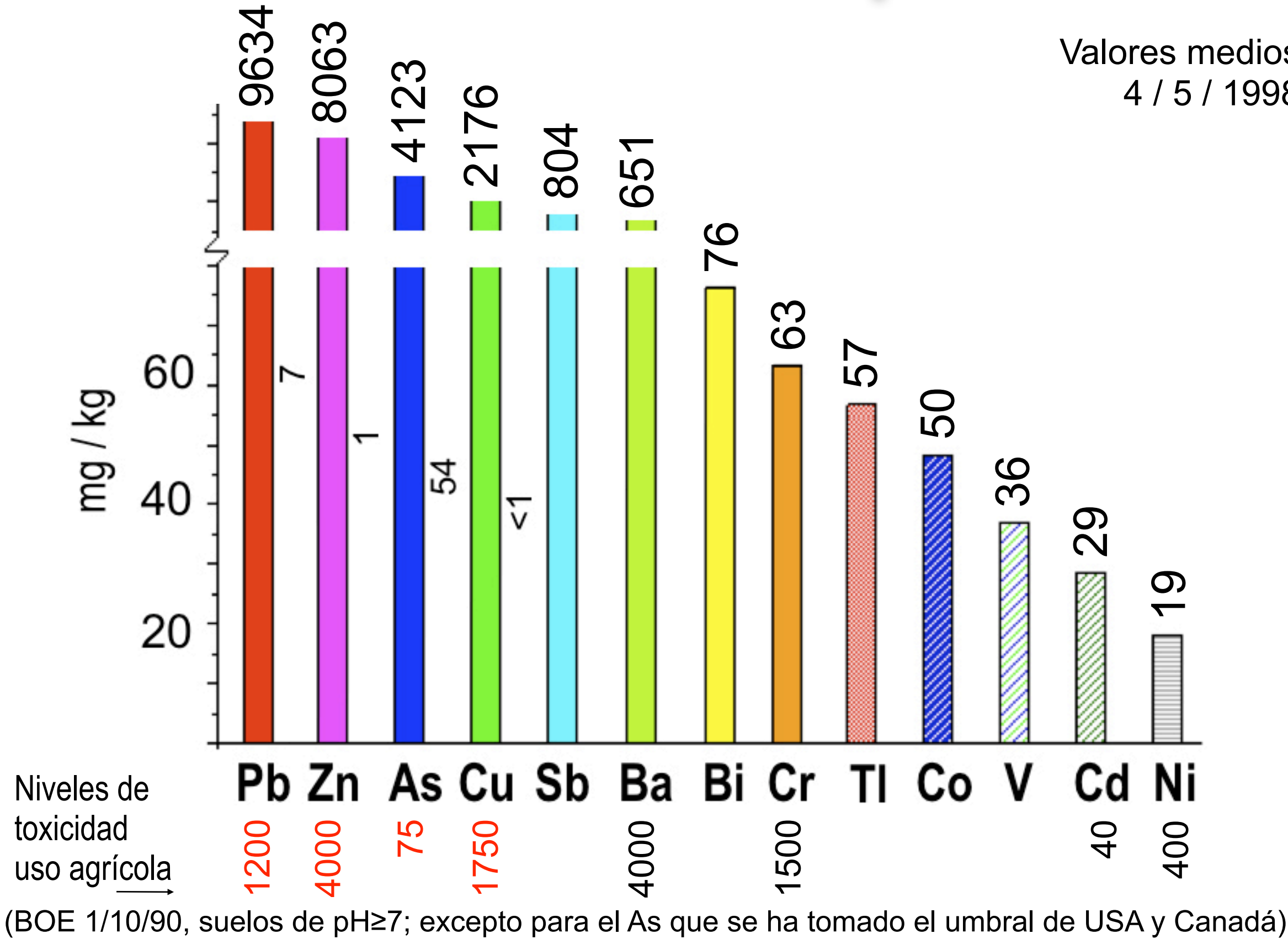
Importante también señalar el pH, fuertemente ácido, alrededor de 3,5.

"Metales pesados" en los lodos

Valores medios
4 / 5 / 1998

Aznalcóllar, hoy.

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



Las concentraciones de los lodos, como es lógico, eran mucho más altas. Especialmente para el Pb, Zn (del orden de 9 mil y 8 mil mg/kg), concentraciones también muy importantes para As y Cu (4 mil y 2 mil) (el As, superaba en 54 veces el nivel máximo permitido para la utilización de un lodo para fines agrícolas); y menores concentraciones para Sb, Ba, y menores aún para otros metales como Bi, Cr, Tl, Co, V, Cd y Ni.

• 2 Contaminación del suelo

Aznalcóllar, hoy.

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



16

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 **de unos 8 cm de espesor que los fosilizaba.**

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, después pasamos a establecer una red de muestreo con 100 puntos repartidos aleatoriamente por toda la zona contaminada, al final del año 1998, en 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010. A tres profundidades ... lógicamente el horizonte superior 0-10 fue donde se presentaron las mayores concentraciones y es por ello al que nos vamos a referir en esta charla.

• 2 Contaminación del suelo

Aznalcóllar, hoy.

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

fechas de muestreo:
7 perfiles: a los 10, 25, 40 y 90 días



16

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 **de unos 8 cm de espesor que los fosilizaba.**

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, después pasamos a establecer una red de muestreo con 100 puntos repartidos aleatoriamente por toda la zona contaminada, al final del año 1998, en 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010. A tres profundidades ... lógicamente el horizonte superior 0-10 fue donde se presentaron las mayores concentraciones y es por ello al que nos vamos a referir en esta charla.

• 2 Contaminación del suelo

Aznalcóllar, hoy.

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

fechas de muestreo:

7 perfiles: a los 10, 25, 40 y 90 días

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

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



16

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 **de unos 8 cm de esp que los fosilizaba.**

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, después pasamos a establecer una red de muestreo con 100 puntos repartidos aleatoriamente por toda la zona contaminada, al final del año 1998, en 1999, 2001, 2004, 2009 y 2010. A tres profundidades ... lógicamente el horizonte superior 0-10 fue donde se presentaron las mayores concentraciones y es por ello al que nos vamos a referir en esta charla.

Características de los suelos

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

Textura, variable: de francoarenosa a arcillolimososa

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%

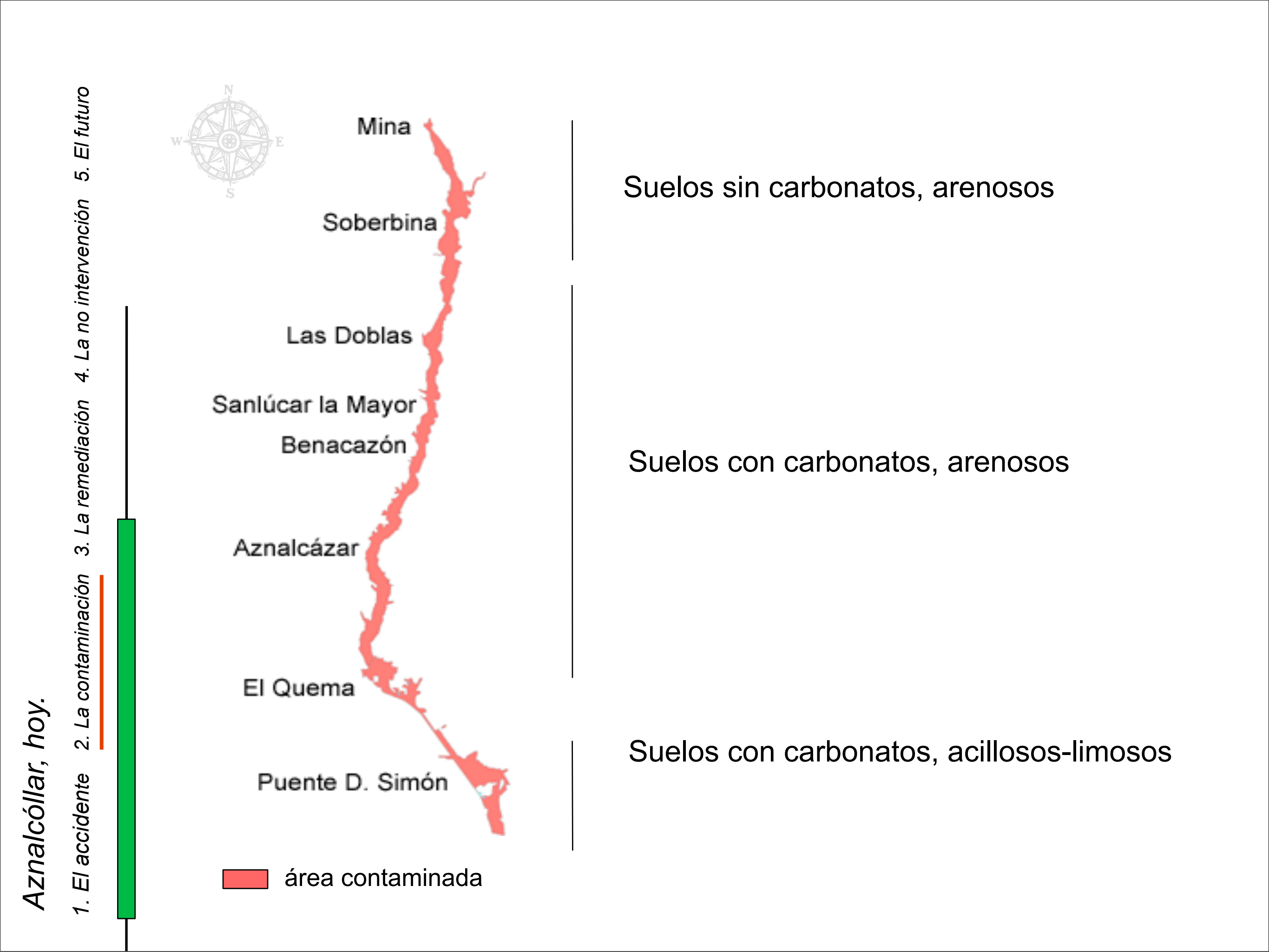
Fluvisoles y Regosoles, calcáricos y eútricos (FAO,2006)

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 ácido los suelos de la cuenca presentaban muy buenas características en lo referente al pH (siempre neutro o básico, nunca ácido) y al contenido en carbonatos para gran número de ellos; y moderadas prestaciones para los contenidos en materia orgánica, capacidad de cambio de cationes y para el Fe.

Se trataba de los suelos típicos de la riberas de los ríos, suelos muy poco evolucionados en todos los casos.



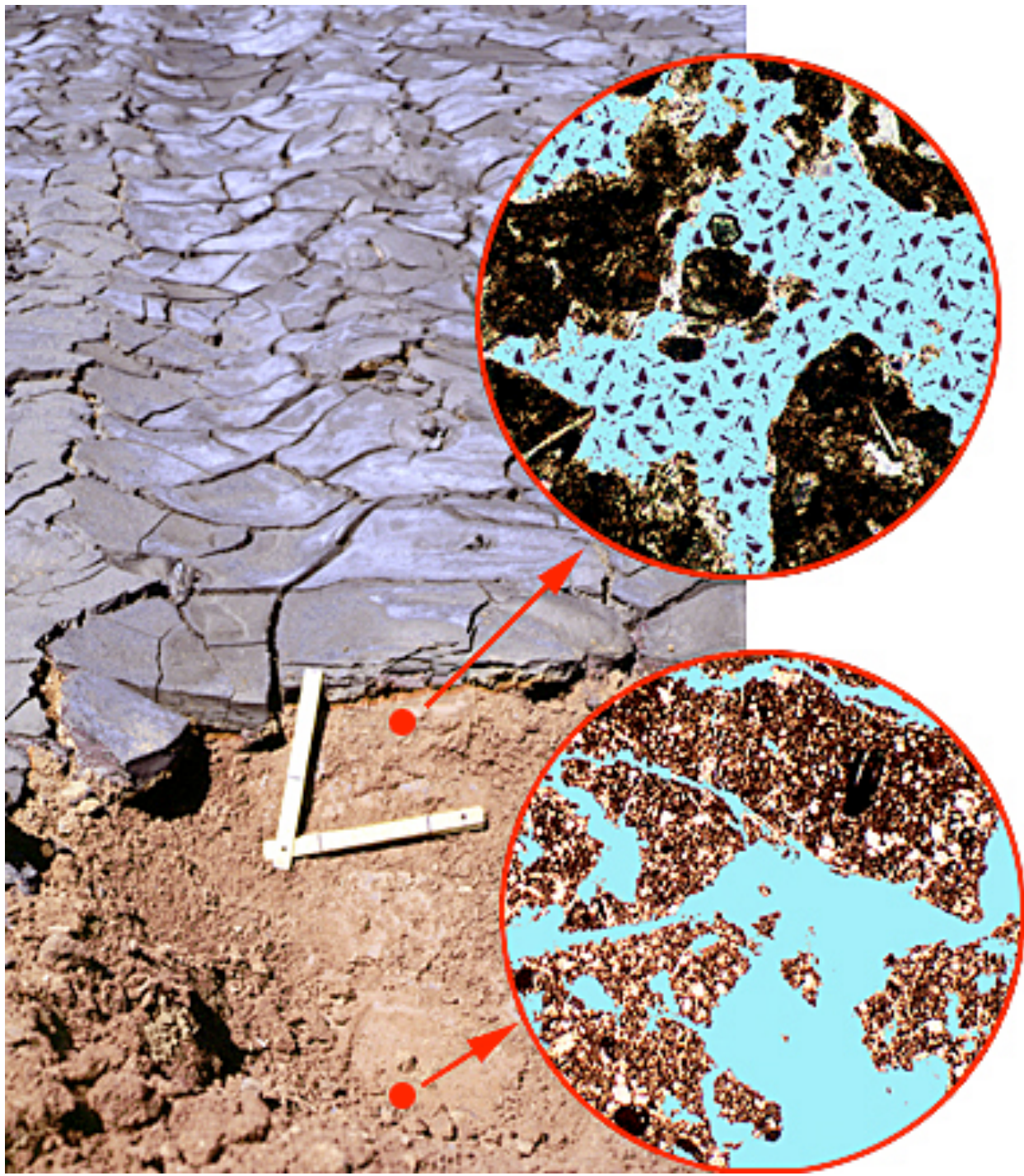
En líneas generales, en la distribución de estos suelos se pueden diferenciar en tres zonas:

- en la parte alta de la cuenca, junto a la mina, predominan los suelos sin carbonatos 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 carbonatos, pero siguen presentando una textura desfavorable,
- finalmente, en la parte baja de la cuenca, se encuentran los suelos con mayor poder de autodepuración: con carbonatos y con arcillas y limos.

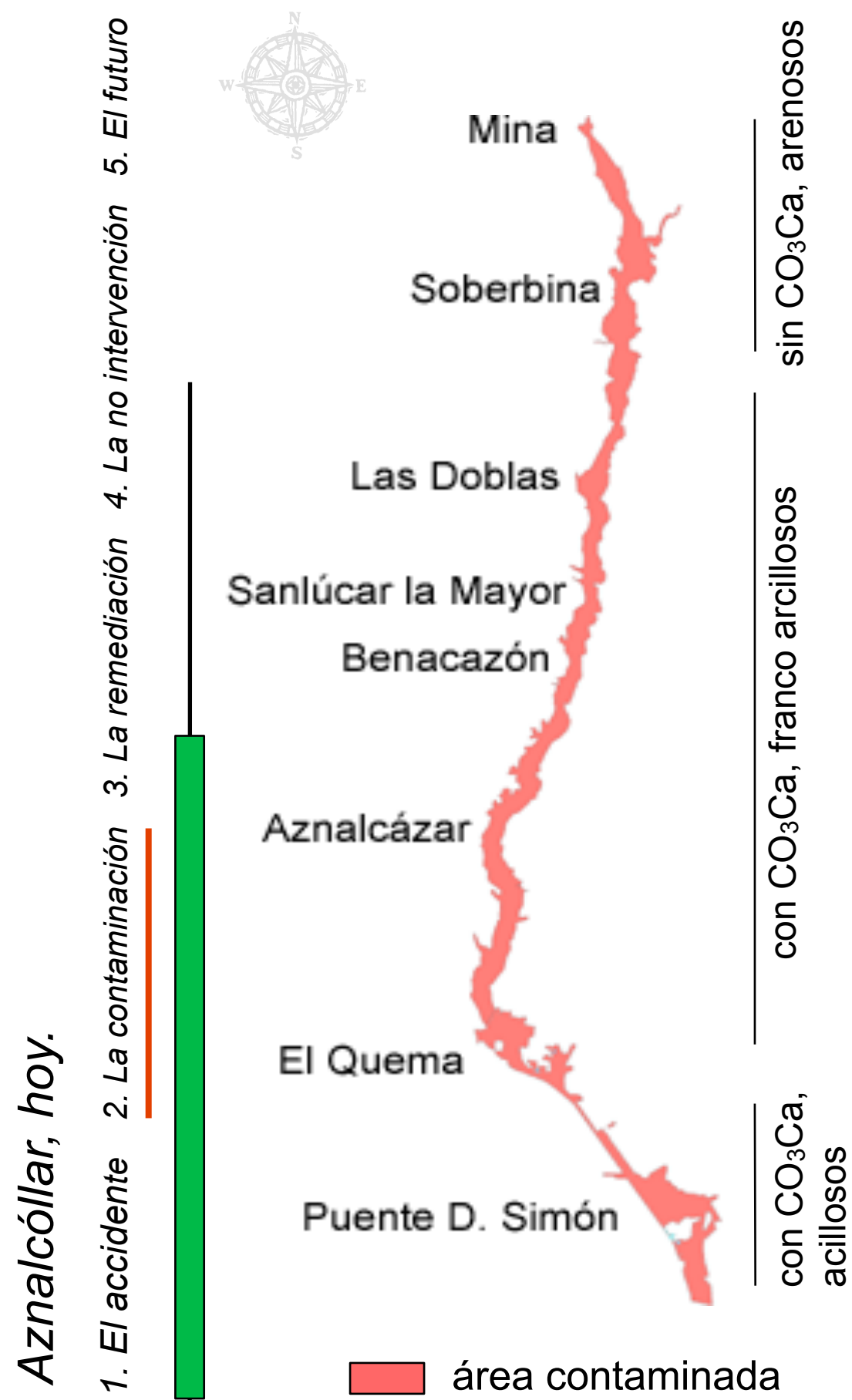
Frente a la contaminación, **los suelos actuaron protegiendo al medio ambiente bajo dos procesos** distintos.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente 2. La contaminación 3. La remediación 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, que representaba el tamaño dominante de las partículas de los lodos. La retención fue muy desigual, dependiendo fundamentalmente de las propiedades físicas: textura y estructura de los suelos.



Veamos el comportamiento de un suelo representativo de cada zona.

En los suelos arenosos, de la parte alta de la cuenca, 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, moderadamente arcillosos y con un moderado grado de desarrollo estructural, la penetración de los lodos ...

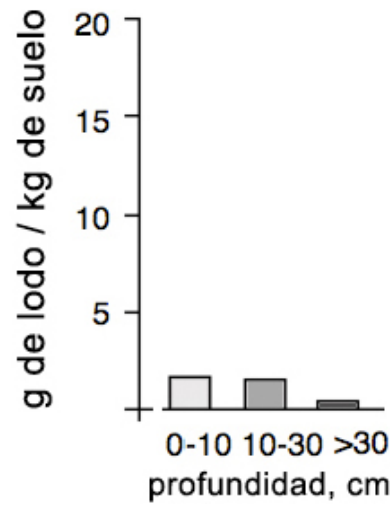
En los suelos arcillosos, con un fuerte desarrollo de la estructura (especialmente los de la parte baja de la cuenca), los lodos penetraron con facilidad a través de las grietas estructurales y gran parte de ellos quedaron retenidos dentro del suelo hasta los 50 cm de profundidad.

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) en el horizonte superficial.



sin CO₃Ca, arenosos
con CO₃Ca, franco arcillosos
con CO₃Ca, acillosos

Efecto filtrante de los suelos



TEXTURA
arena 68,0 %
arcilla 12,7 %

ESTRUCTURA
granos sueltos
sin tamaño
sin desarrollo



Veamos el comportamiento de un suelo representativo de cada zona.

En los suelos arenosos, de la parte alta de la cuenca, 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, moderadamente arcillosos y con un moderado grado de desarrollo estructural, la penetración de los lodos ...

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 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) en el horizonte superficial.

Aznalcóllar, hoy.

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

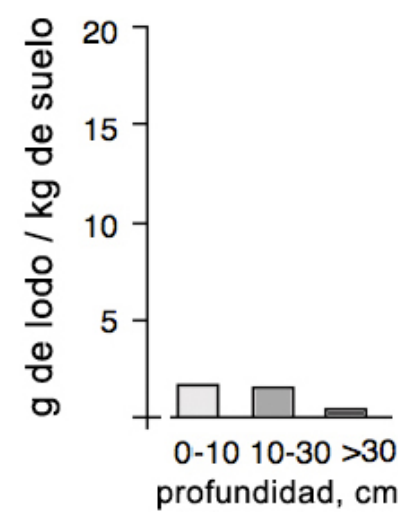


sin CO₃Ca, arenosos

con CO₃Ca, franco arcillosos

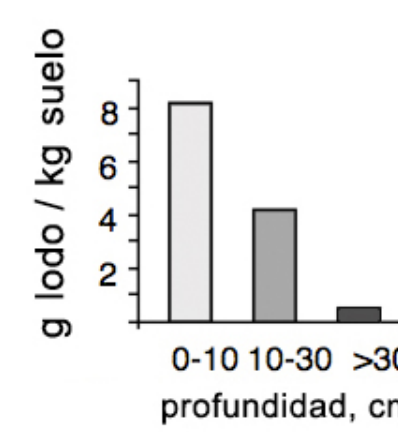
con CO₃Ca, acillosos

Efecto filtrante de los suelos



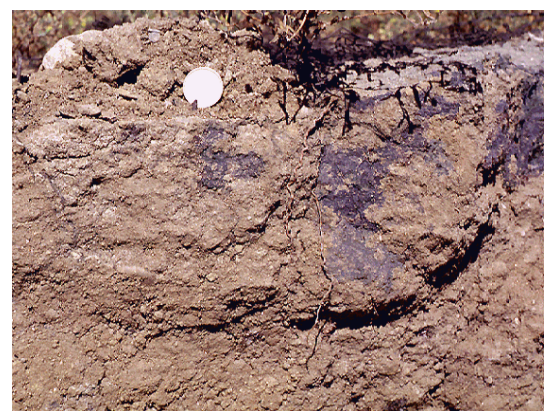
TEXTURA
arena 68,0 %
arcilla 12,7 %

ESTRUCTURA
granos sueltos
sin tamaño
sin desarrollo



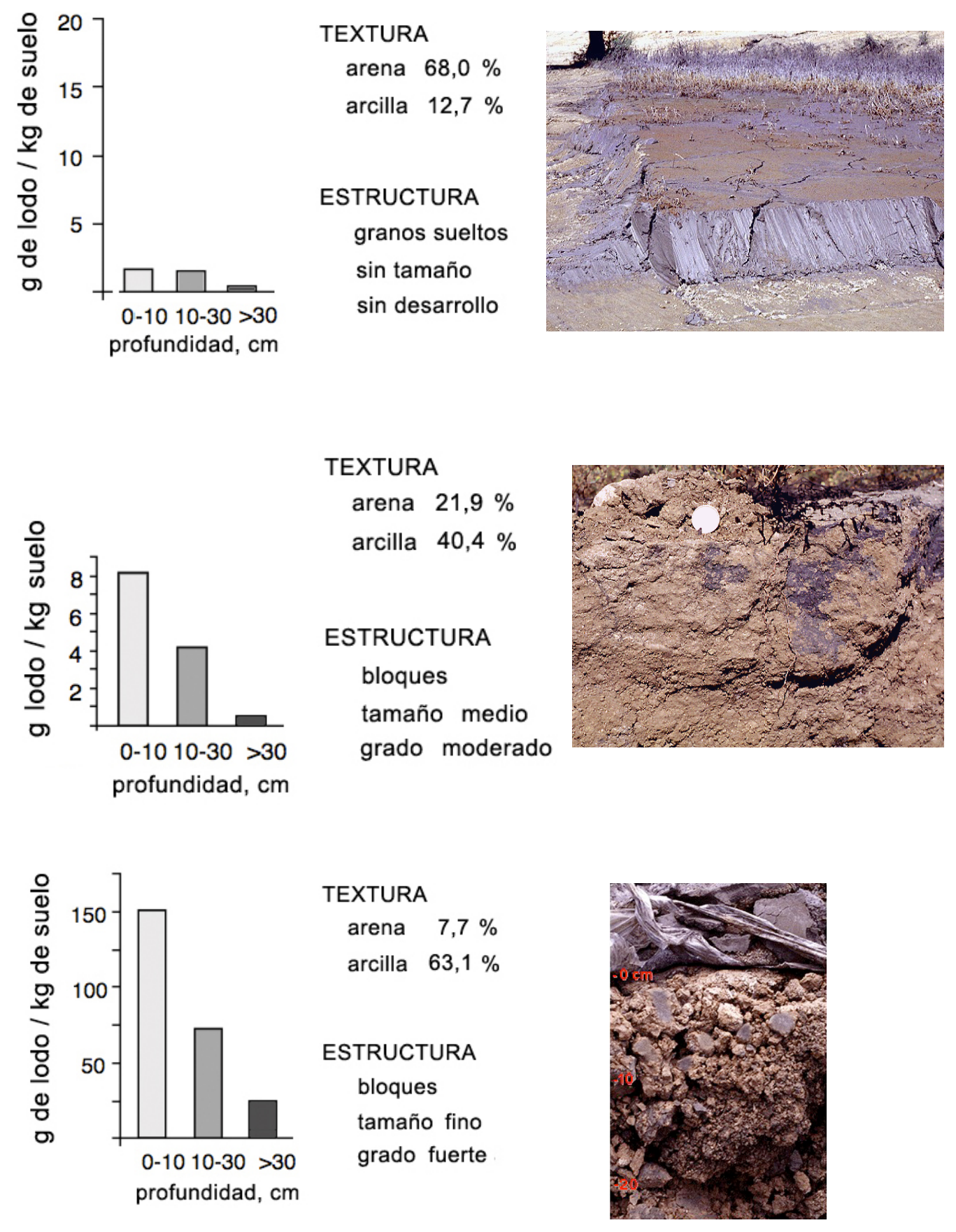
TEXTURA
arena 21,9 %
arcilla 40,4 %

ESTRUCTURA
bloques
tamaño medio
grado moderado





Efecto filtrante de los suelos



Veamos el comportamiento de un suelo representativo de cada zona.

En los suelos arenosos, de la parte alta de la cuenca, 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, moderadamente arcillosos y con un moderado grado de desarrollo estructural, la penetración de los lodos ...

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 grietas estructurales y gran parte de ellos quedaron retenidos dentro del suelo hasta los 50 cm de profundidad.

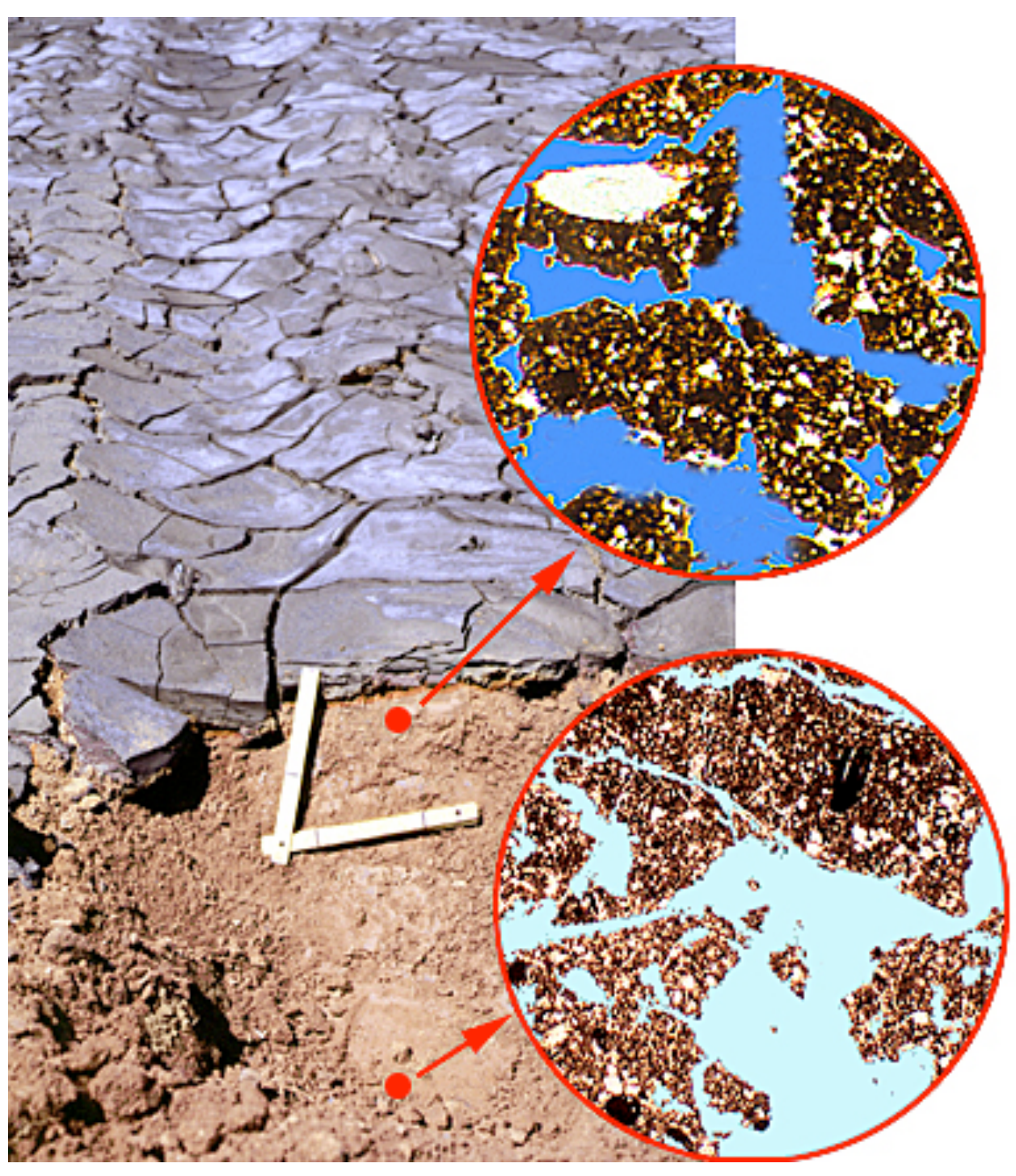
En definitiva la entrada de lodos fue muy desigual (desde sólo unos gramos de lodo por kg en los suelos mas arenosos hasta más de 150 g/kg en los más arcillosos) en el horizonte superficial.

Aznalcóllar, hoy.

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



Efecto depurador de los suelos



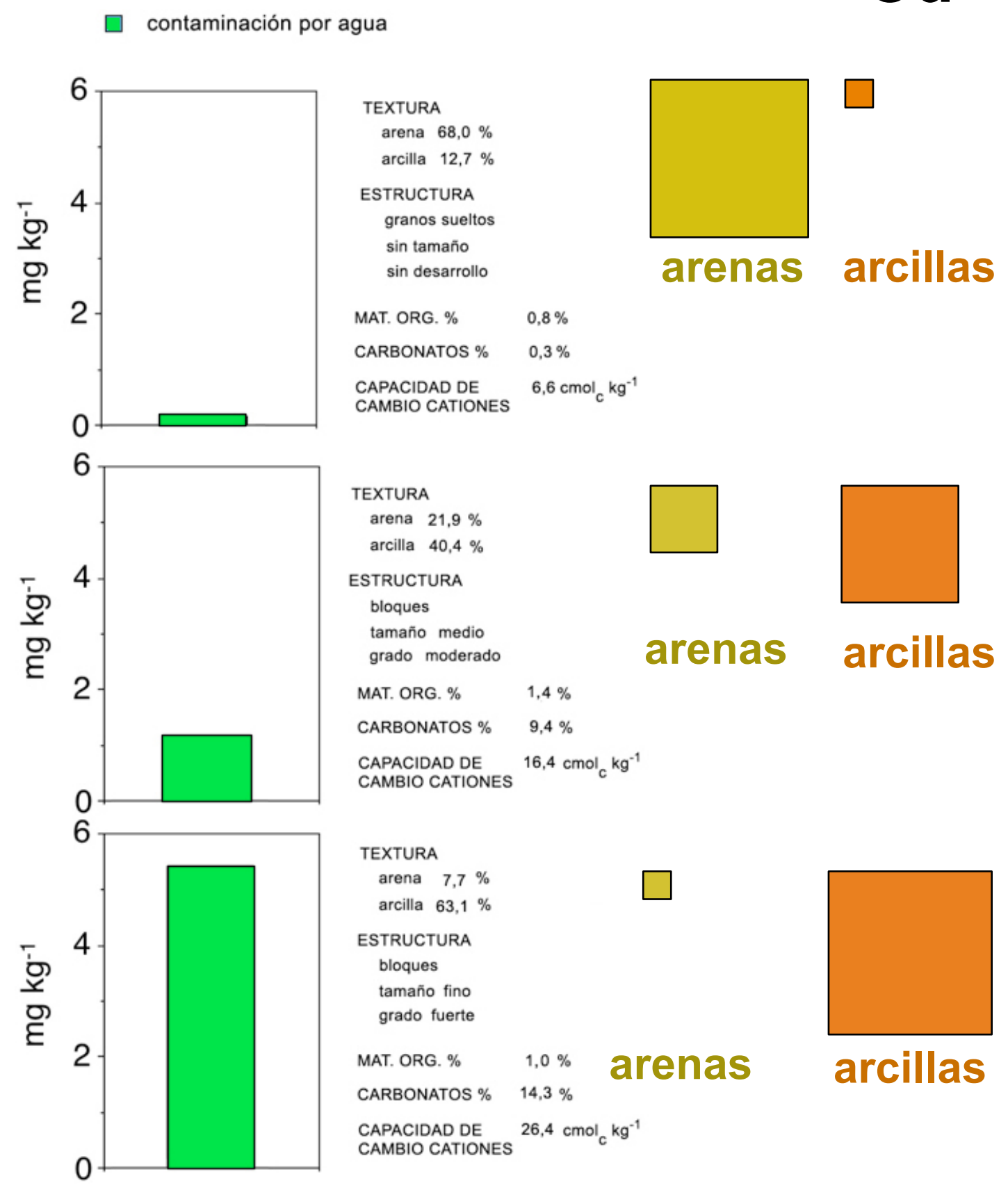
Por otra parte, los suelos actuaron también como un sistema depurador que retuvieron gran parte del As y de los metales pesados disueltos en las aguas. El poder de autodepuración fue muy desigual, dependiendo fundamentalmente de las propiedades fisicoquímicas de cada suelo, pero condicionadas por las propiedades físicas.

Aznalcóllar, hoy.

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



Efecto depurador de los suelos



Cd

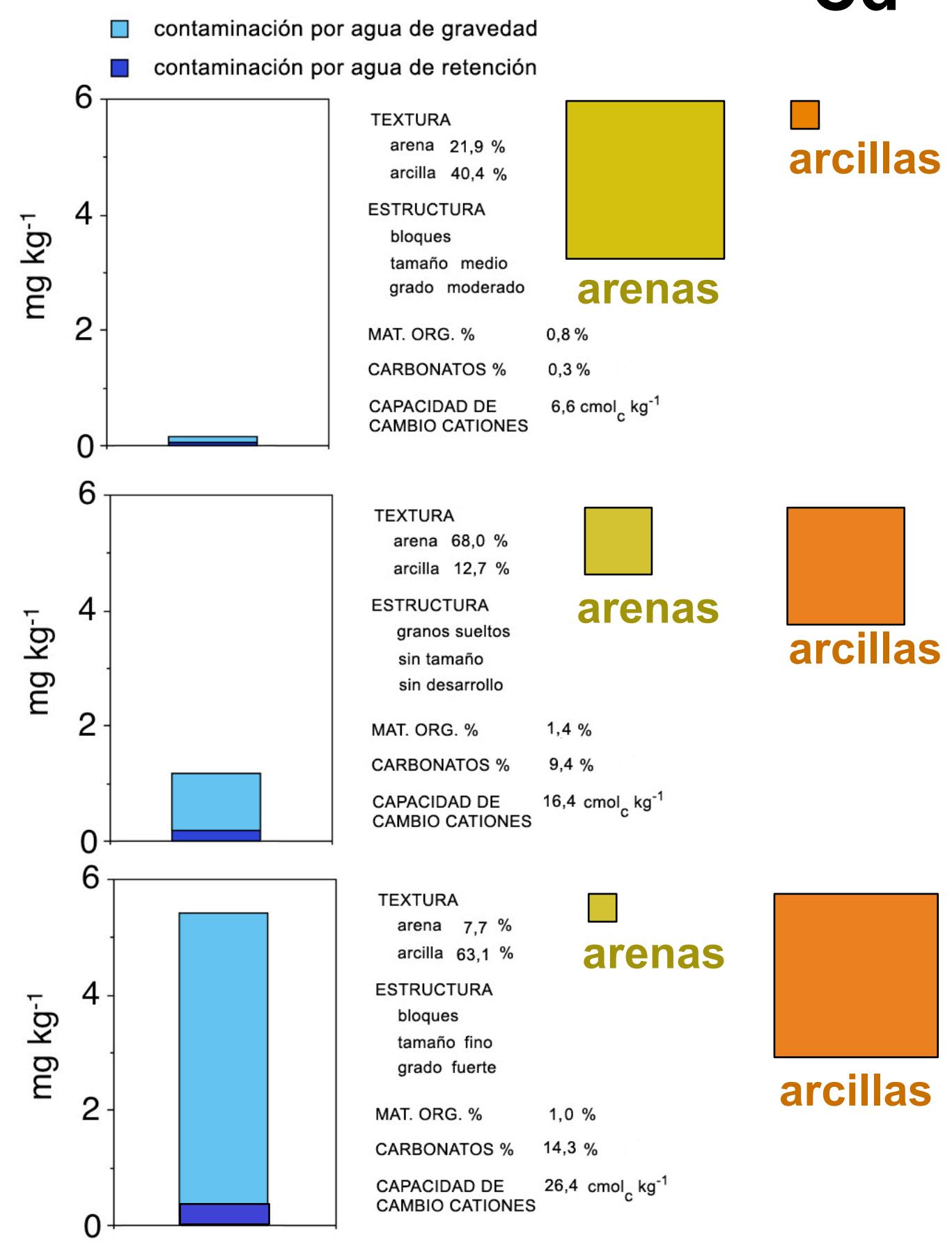
Aznalcóllar, hoy.

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



Efecto depurador de los suelos

Cd



De esta contaminación una pequeña parte, la representada en azul oscuro, es la debida al agua que quedó retenida en los poros, pero un aspecto muy importante lo representa la contaminación (que en realidad podemos hablar de depuración) de la parte del agua representada en color celeste, esta la atribuimos al agua de gravedad que al infiltrarse la solución contaminante en el suelo ha ido purificándose, depositando (por adsorción y precipitación) los elementos contaminantes y dejando percolar el agua mucho más limpia hacia los niveles freáticos.

El efecto depurador aumenta con los incrementos en arcilla pero condicionados por su ccc y también regulada por el contenido en carbonatos.

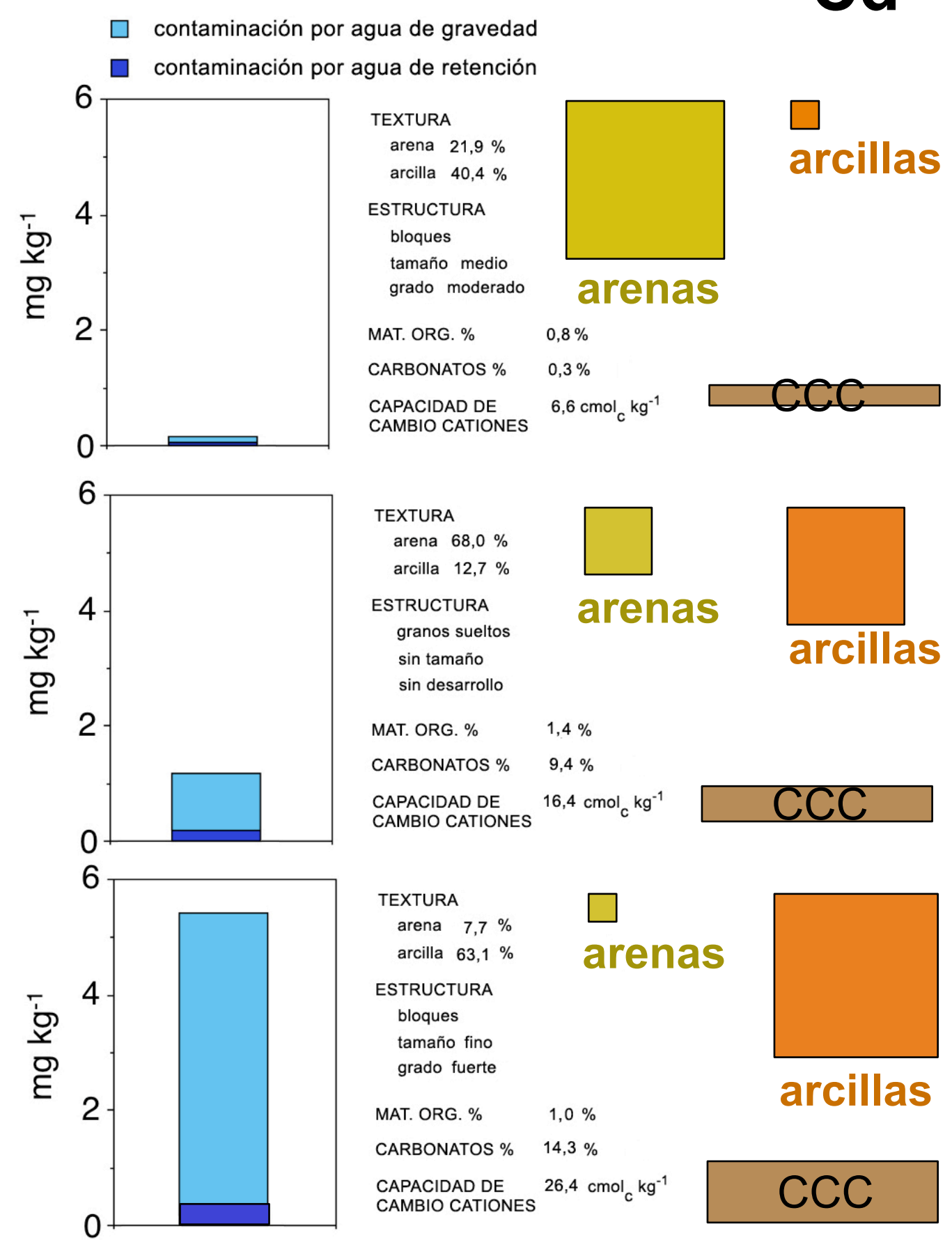
Aznalcóllar, hoy.

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



Efecto depurador de los suelos

Cd



De esta contaminación una pequeña parte, la representada en azul oscuro, es la debida al agua que quedó retenida en los poros, pero un aspecto muy importante lo representa la contaminación (que en realidad podemos hablar de depuración) de la parte del agua representada en color celeste, esta la atribuimos al agua de gravedad que al infiltrarse la solución contaminante en el suelo ha ido purificándose, depositando (por adsorción y precipitación) los elementos contaminantes y dejando percolar el agua mucho más limpia hacia los niveles freáticos.

El efecto depurador aumenta con los incrementos en arcilla pero condicionados por su ccc y también regulada por el contenido en carbonatos.

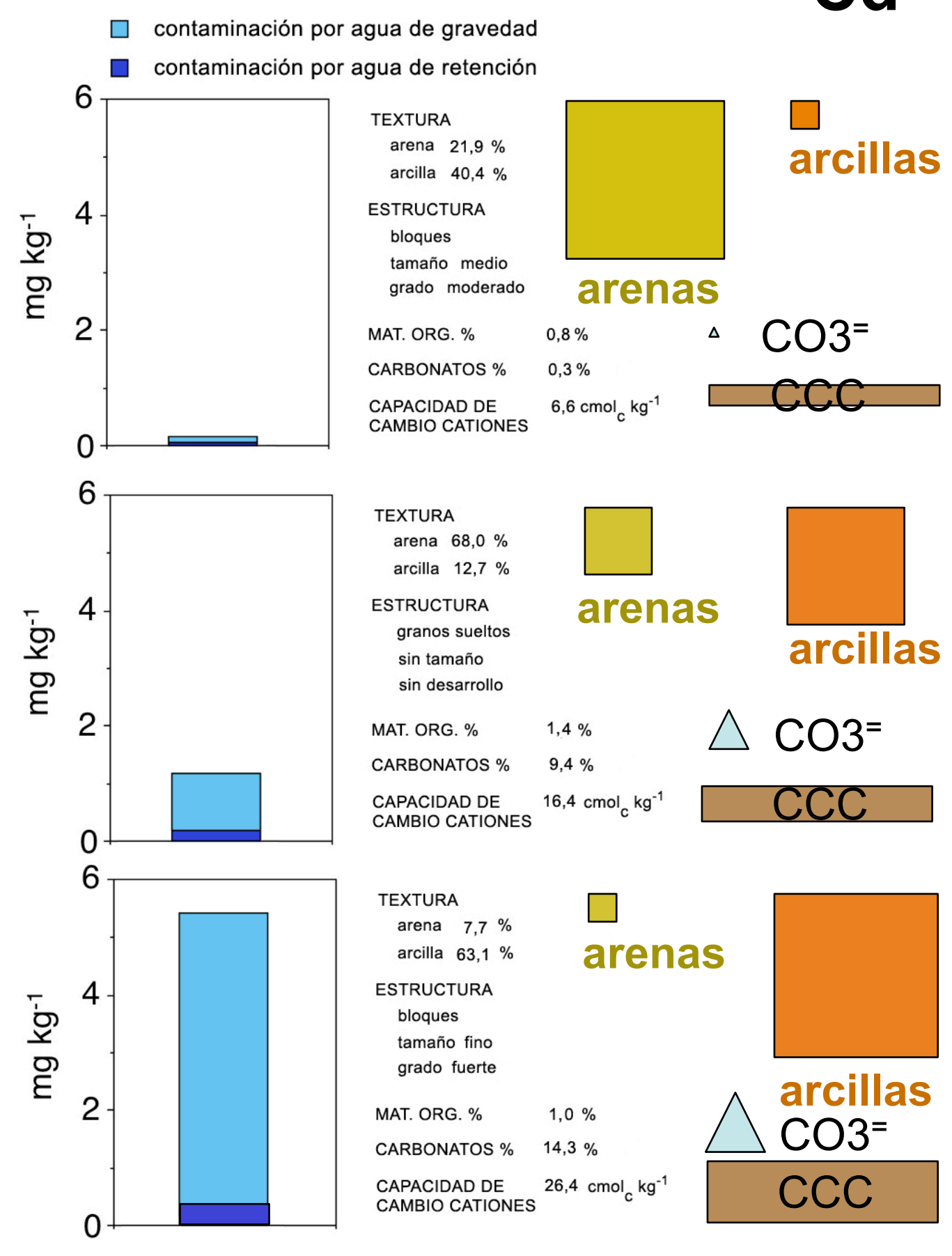
Aznalcóllar, hoy.

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



Efecto depurador de los suelos

Cd



De esta contaminación una pequeña parte, la representada en azul oscuro, es la debida al agua que quedó retenida en los poros, pero un aspecto muy importante lo representa la contaminación (que en realidad podemos hablar de depuración) de la parte del agua representada en color celeste, esta la atribuimos al agua de gravedad que al infiltrarse la solución contaminante en el suelo ha ido purificándose, depositando (por adsorción y precipitación) los elementos contaminantes y dejando percolar el agua mucho más limpia hacia los niveles freáticos.

El efecto depurador aumenta con los incrementos en arcilla pero condicionados por su ccc y también regulada por el contenido en carbonatos.

Aznalcóllar, hoy.

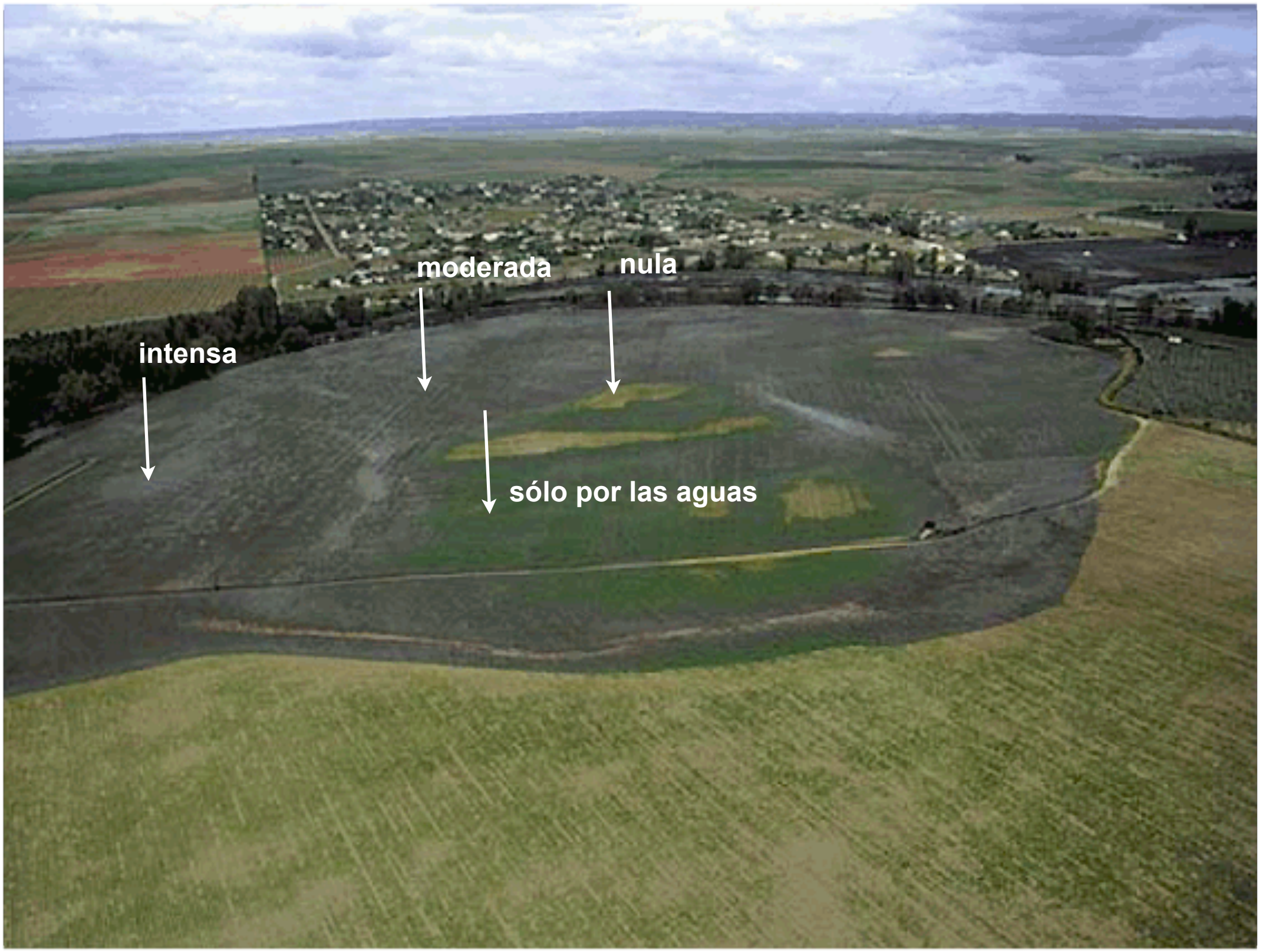
1. El accidente
2. La contaminación
3. La remediación
4. La no intervención
5. El futuro



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

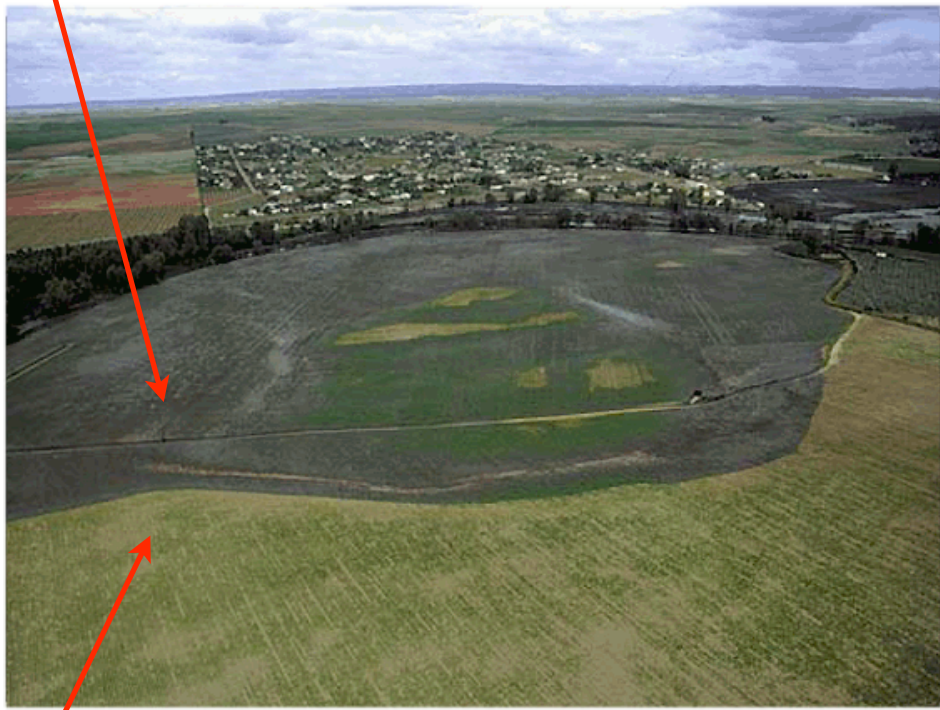
Aznalcóllar, hoy.

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



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

suelos contaminados



suelos no contaminados

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.

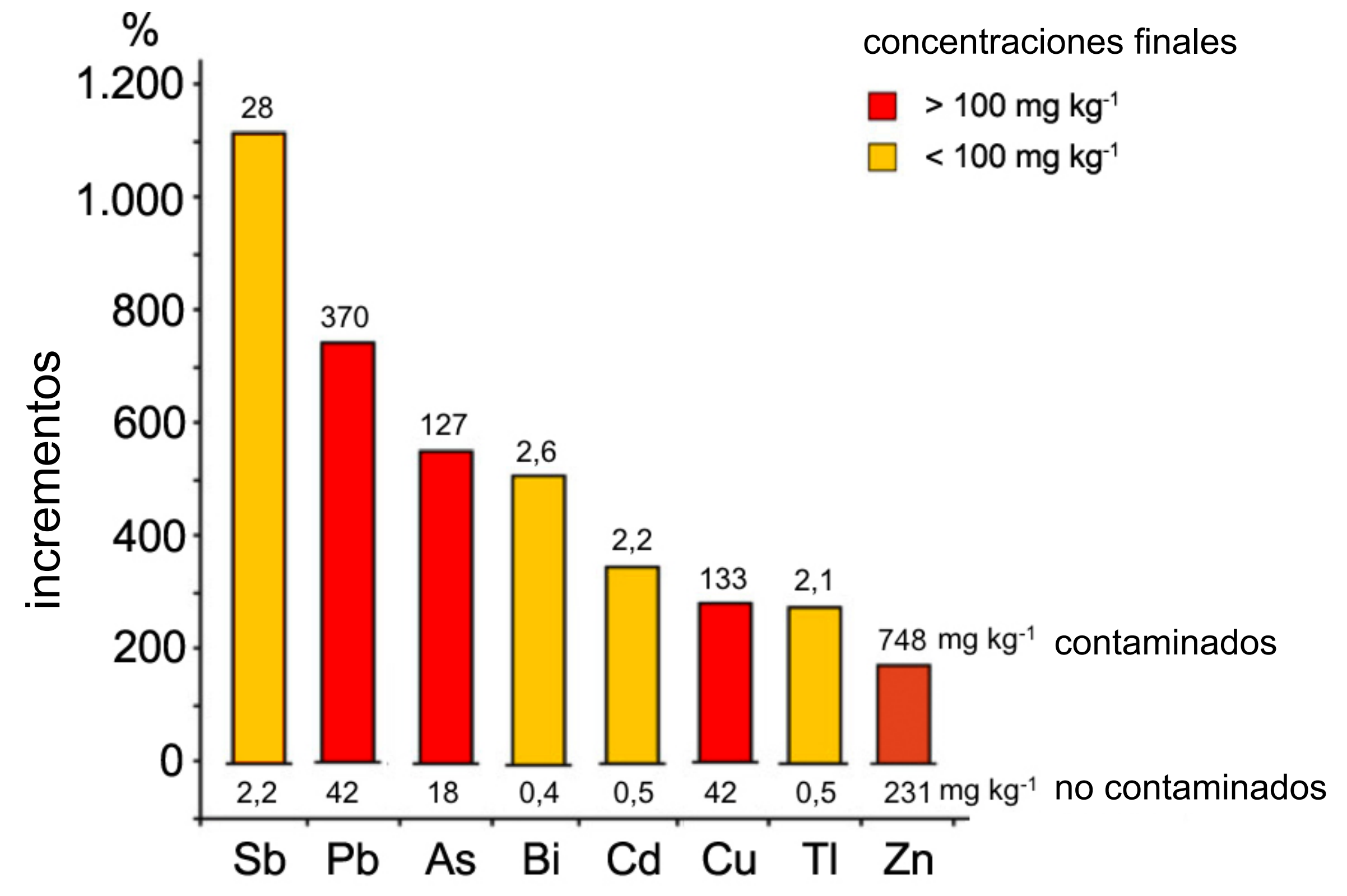
mg kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
	Máximo	Mínimo	Media	DE		Máximo	Mínimo	Media	DE
Mn	1250,0	365,9	845,5	275,6	Cd	0,9	0,0	0,5	0,4
Zn	376,1	45,8	230,8	123,1	Ni	47,7	14,0	32,1	12,3
Pb	74,6	22,0	41,8	16,4	Sn	3,4	0,0	0,8	1,3
Cu	66,9	17,0	42,2	18,8	Y	30,1	8,3	16,1	7,7
As	31,5	11,5	18,1	6,5	Be	2,8	0,9	1,9	0,7
Sb	3,0	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.

Para comprobar la contaminación de los suelos, con el ICP-Masas se analizaron los suelos contaminados en los 7 sitios y se compararon con otros tantos suelos fuera del vertido. De los veintitantos elementos químicos analizados ...

Aznalcóllar, hoy.

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



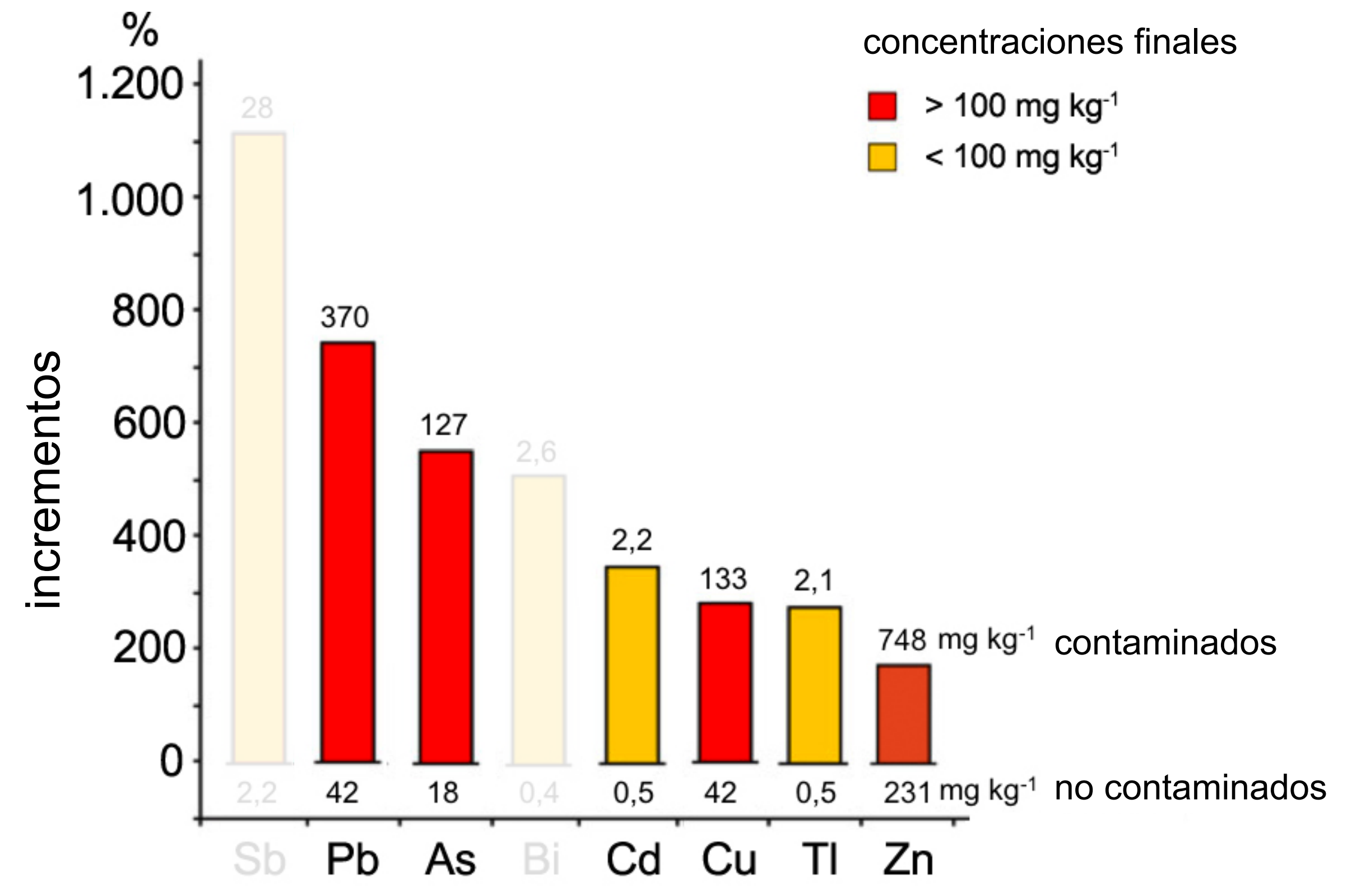
concentración media de suelos contaminados frente a los inalterados, 4 mayo 1998

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

Al Bi no se le consideran hoy día efectos nocivos y el Sb tampoco es tenido en cuenta en la mayoría de las legislaciones europeas sobre suelos contaminados, podemos prescindir de ellos en el seguimiento de esta contaminación. Con lo que nos quedarían 6 contaminantes, 4 predominantes (Pb, As, Cu y Zn) y dos en cantidades muy minoritarias (Cd y Tl).

Aznalcóllar, hoy.

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



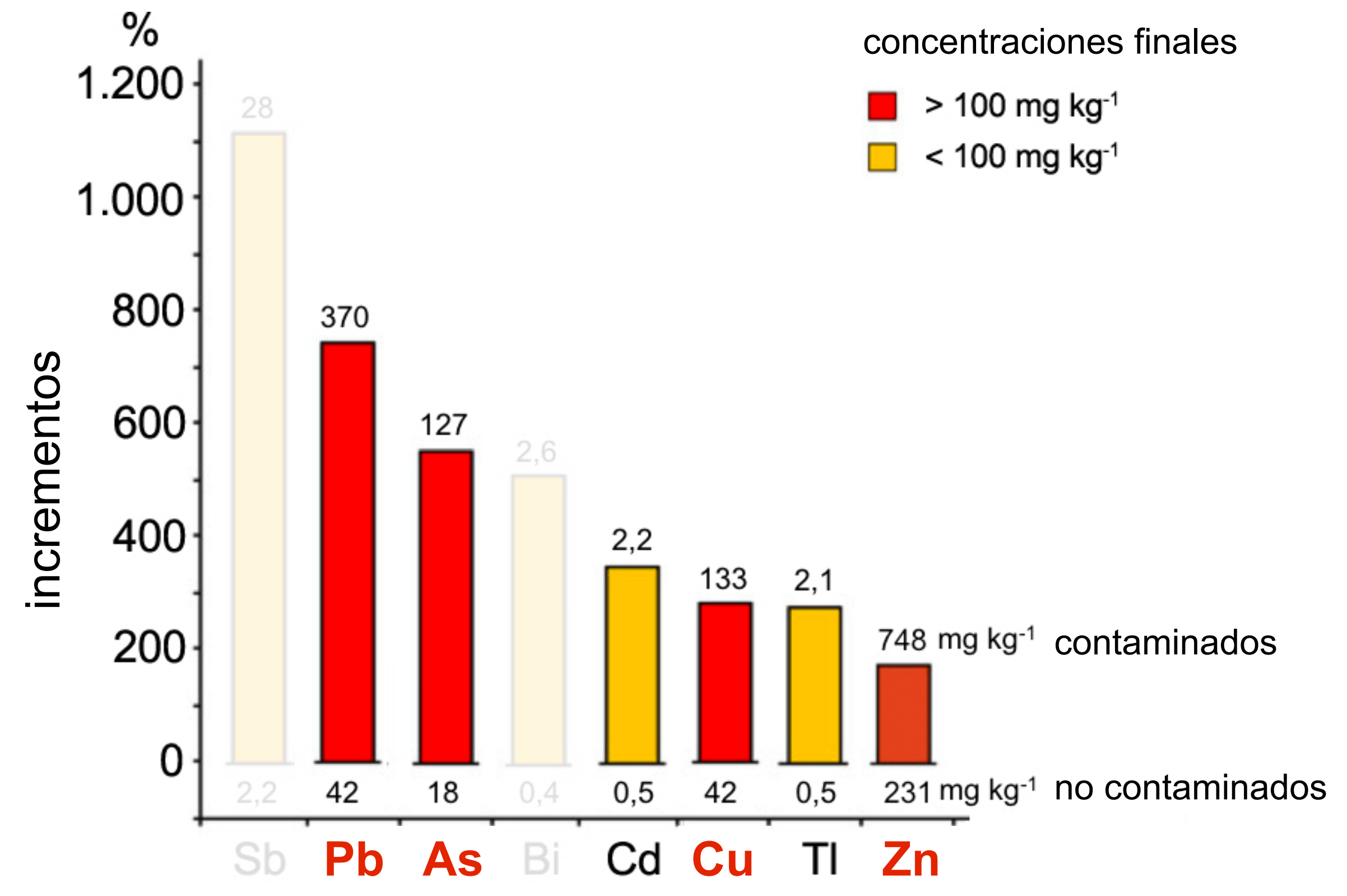
concentración media de suelos contaminados frente a los inalterados, 4 mayo 1998

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

Al Bi no se le consideran hoy día efectos nocivos y el Sb tampoco es tenido en cuenta en la mayoría de las legislaciones europeas sobre suelos contaminados, podemos prescindir de ellos en el seguimiento de esta contaminación. Con lo que nos quedarían 6 contaminantes, 4 predominantes (Pb, As, Cu y Zn) y dos en cantidades muy minoritarias (Cd y Tl).

Aznalcóllar, hoy.

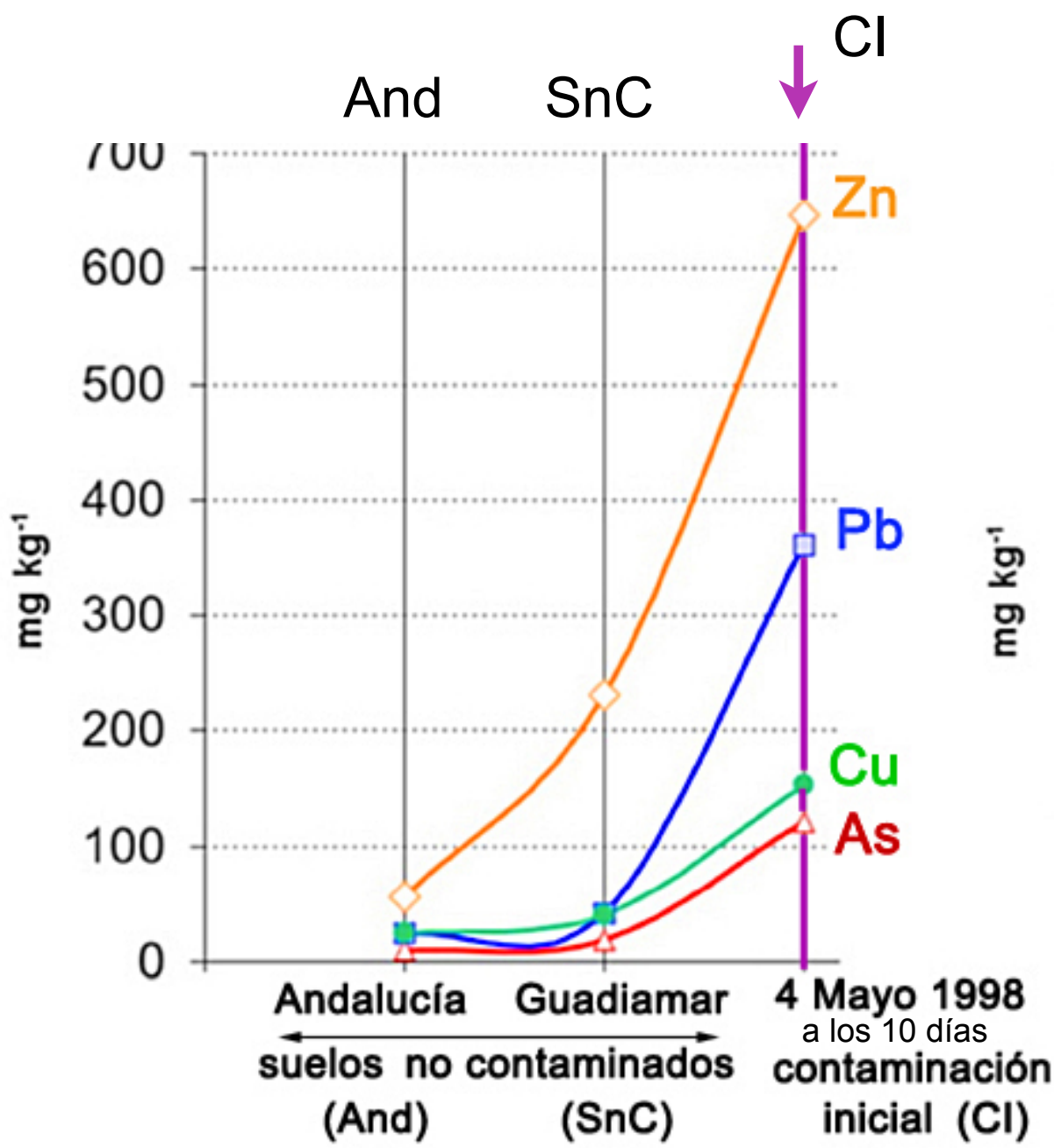
1. El accidente 2. La contaminación 3. La remediación 4. La no intervención 5. El futuro



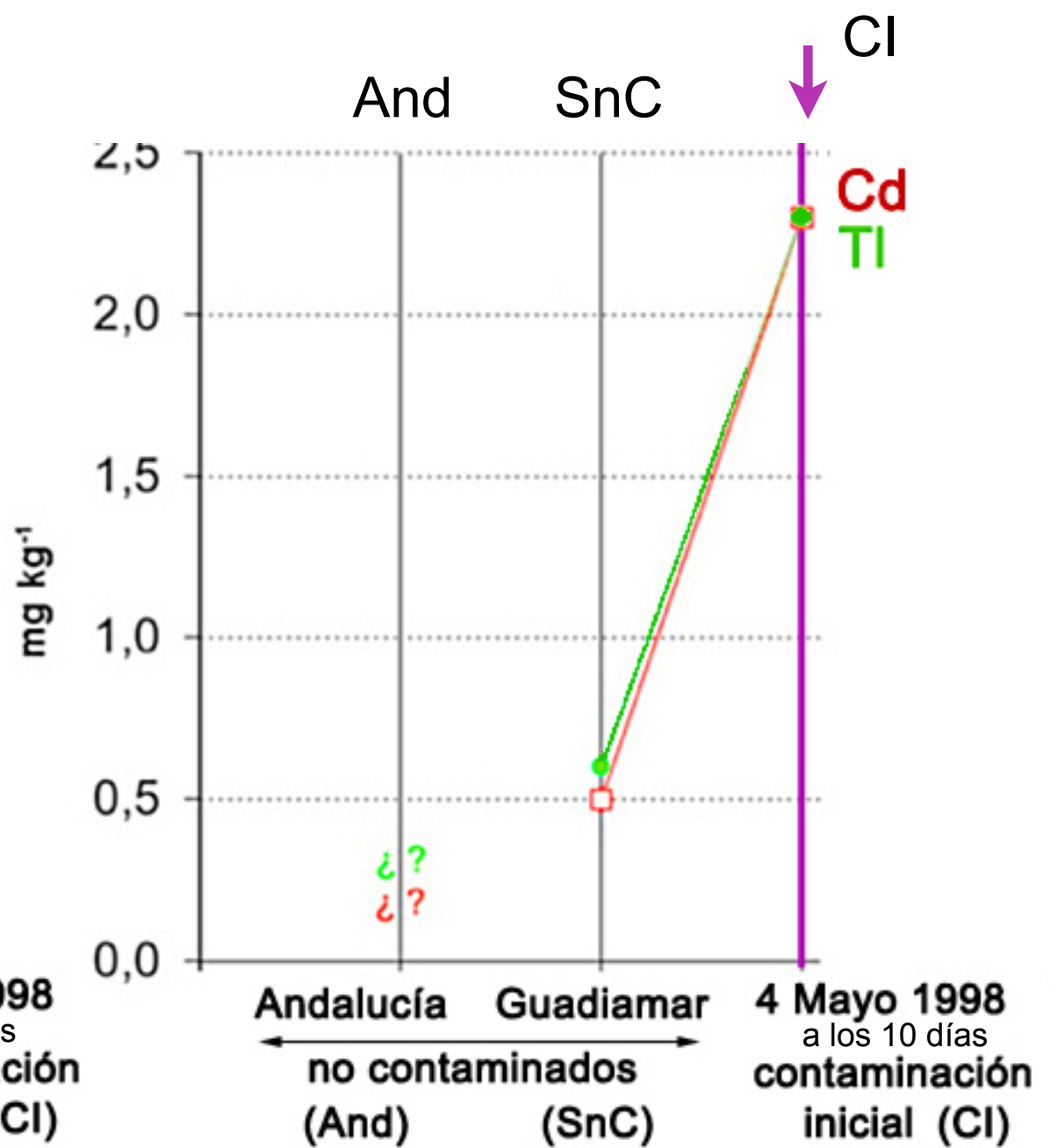
concentración media de suelos contaminados frente a los inalterados, 4 mayo 1998

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

Al Bi no se le consideran hoy día efectos nocivos y el Sb tampoco es tenido en cuenta en la mayoría de las legislaciones europeas sobre suelos contaminados, podemos prescindir de ellos en el seguimiento de esta contaminación. Con lo que nos quedarían 6 contaminantes, 4 predominantes (Pb, As, Cu y Zn) y dos en cantidades muy minoritarias (Cd y Tl).



	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



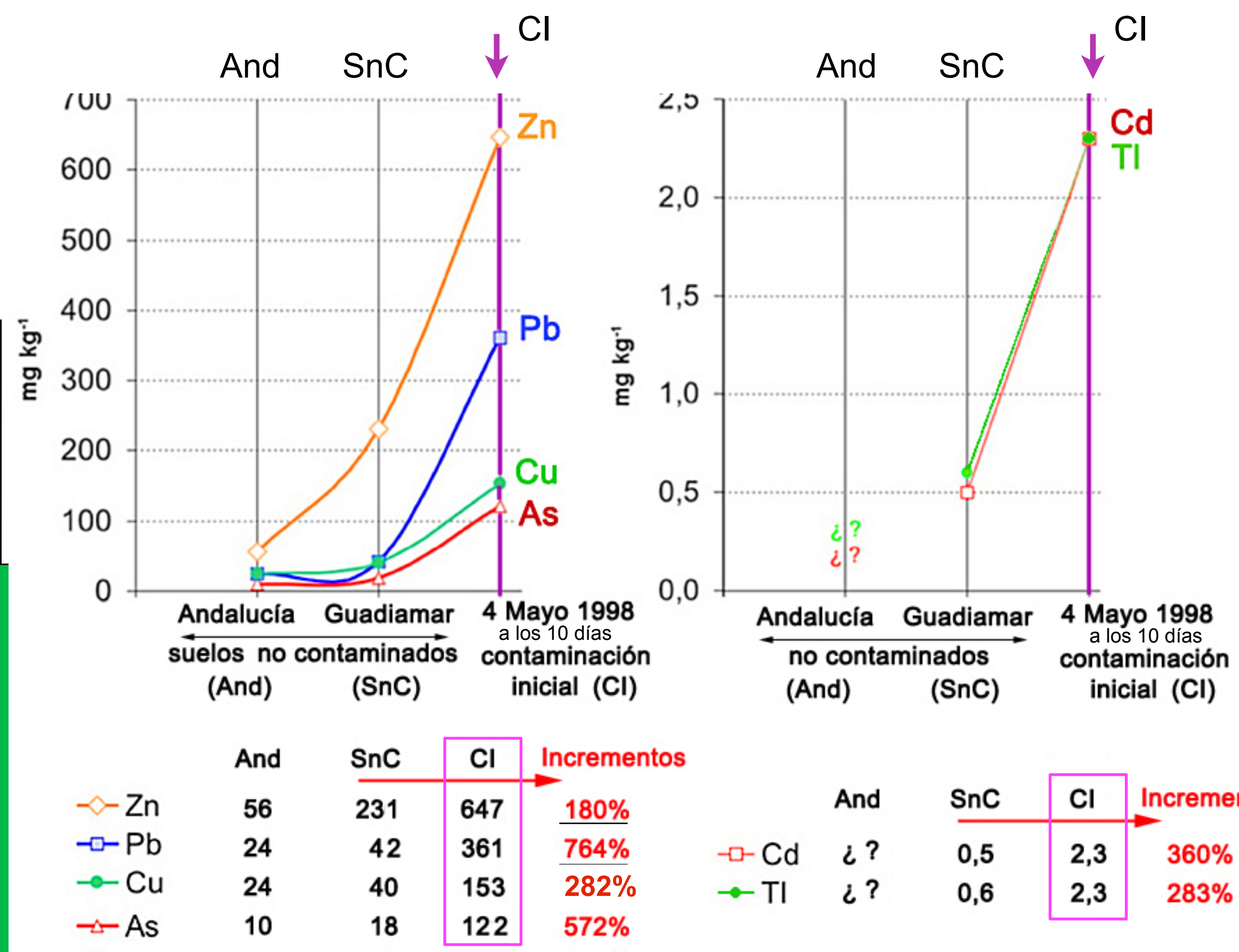
	And	SnC	CI	
Cd	¿ ?	0,5	2,3	mg/kg
Tl	¿ ?	0,6	2,3	mg/kg

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

En esta comparamos las concentraciones de los suelos contaminados frente a los no contaminados y a los valores medios de los suelos de Andalucía.

En primer lugar destaca el fuerte incremento de las concentraciones de los suelos contaminados, a los 10 días del vertido. Por ejemplo, el As pasó de 18 a 122 mg/kg

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).

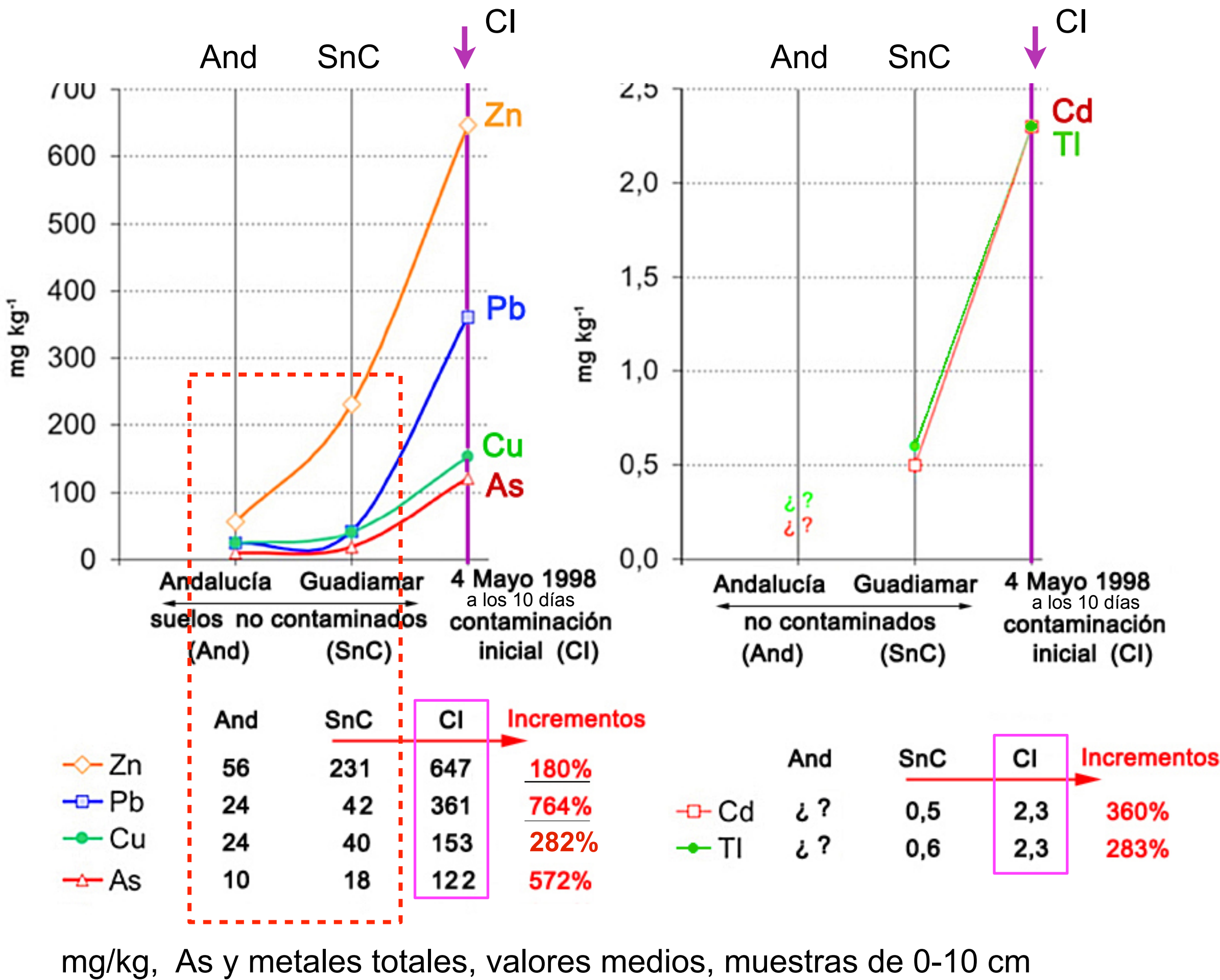


mg/kg, As y metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

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

Pero 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 ya moderadamente contaminados como resultado de la prologada explotación de esta mina, desde el tiempo de los romanos.

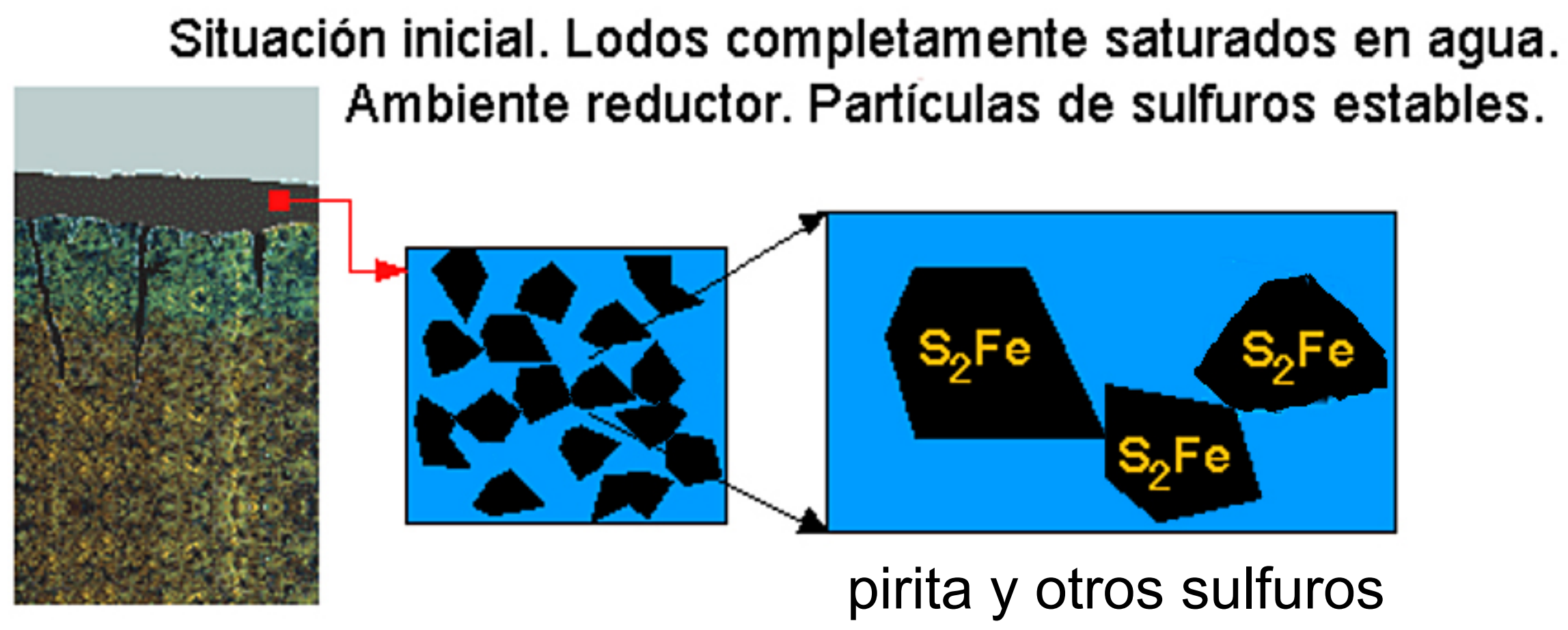
Nota los incrementos parecen no cuadrar exactamente pero esto es debido a que los números originales tenían dos decimales



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

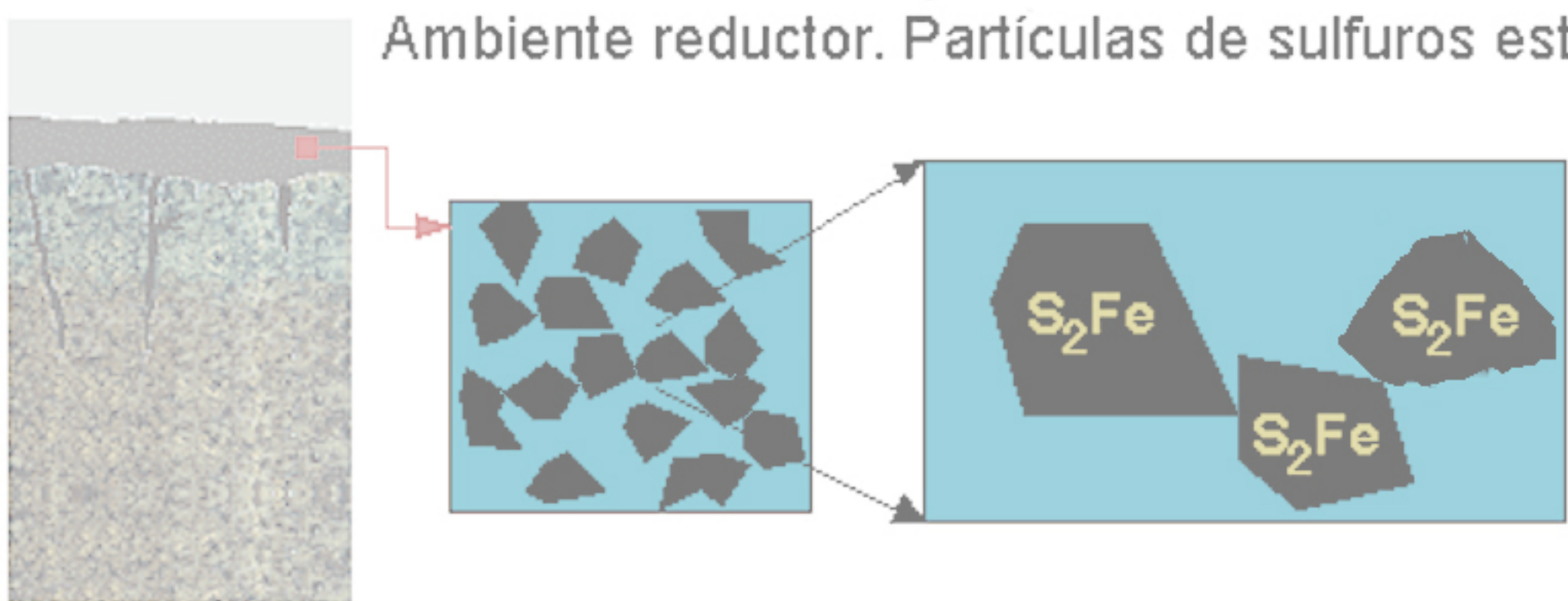
Pero también resulta interesante comparar las concentraciones de los suelos de la cuenca del Guadiamar que no quedaron afectados por el vertido con los valores medios de las concentraciones de los suelos andaluces. Vemos como los suelos de la cuenca del Guadiamar presentan unos valores mucho más altos,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

Nota los incrementos parecen no cuadrar exactamente pero esto es debido a que los números originales tenían dos decimales



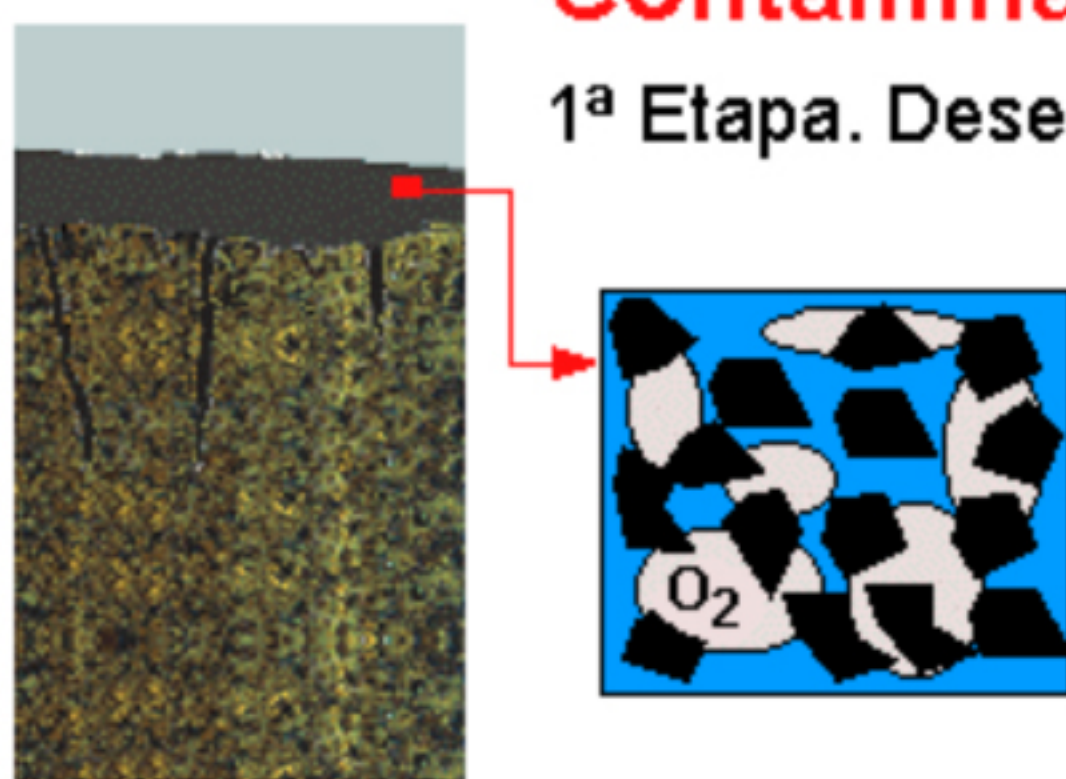
Bien en esta situación inicial los lodos al caer sobre los suelos pirita ...

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



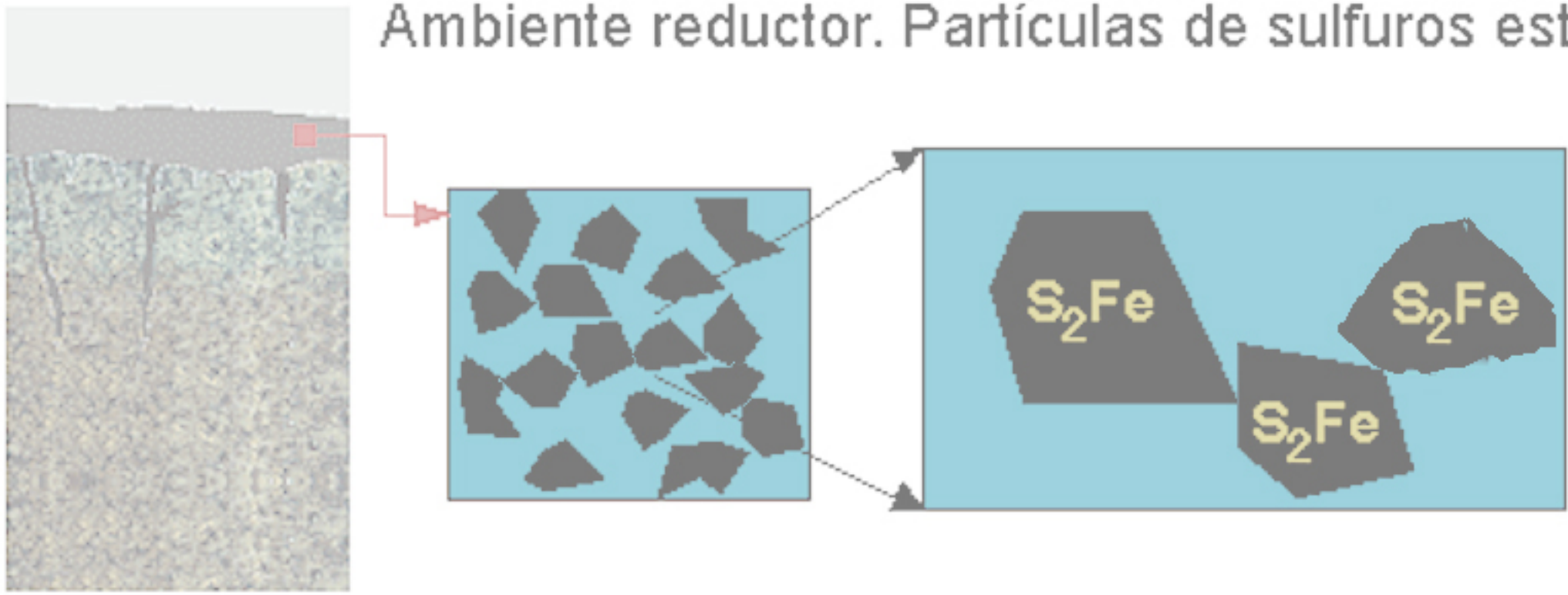
Contaminación secundaria

1ª Etapa. Deseccación parcial



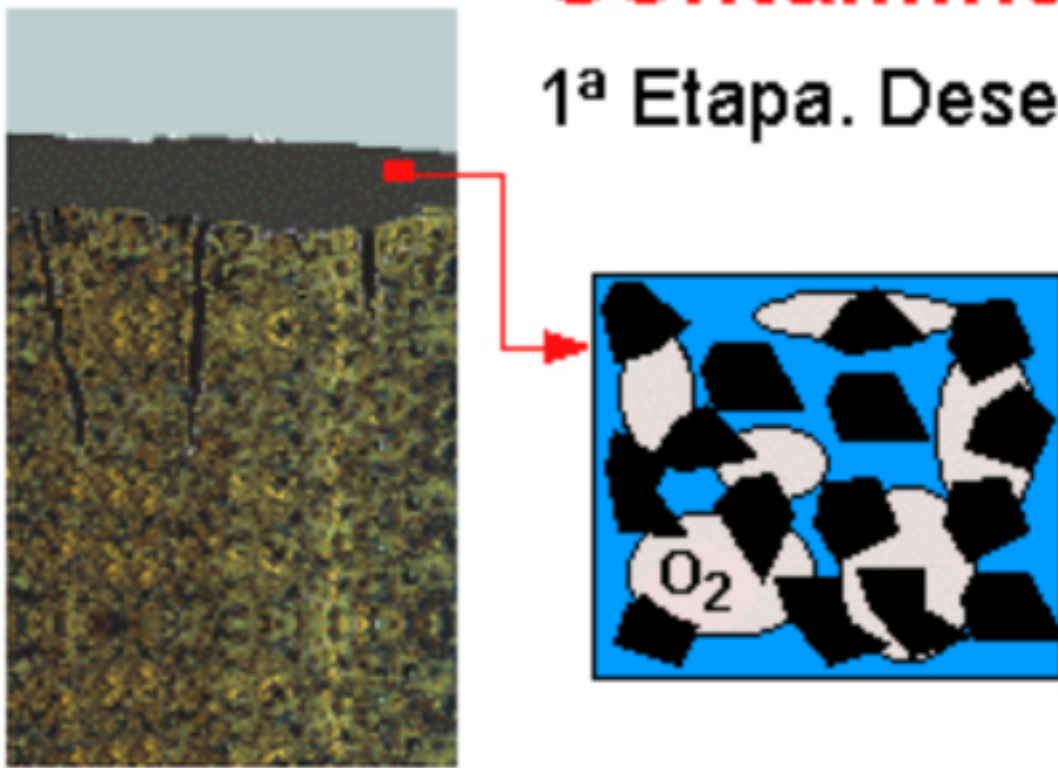
pero al quedar sobre la superficie del terreno, los lodos se van desecando, al ir transcurriendo el tiempo, y se va a producir una segunda contaminación aún más peligrosa que la del momento inicial. Efectivamente, al desecarse los lodos, el aire y por tanto el oxígeno va ocupando los poros, y el ambiente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

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



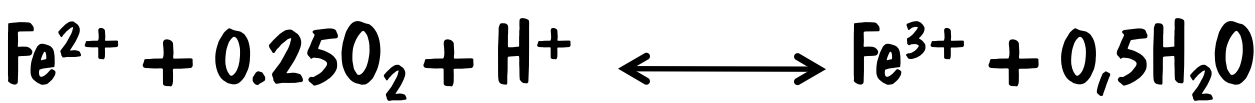
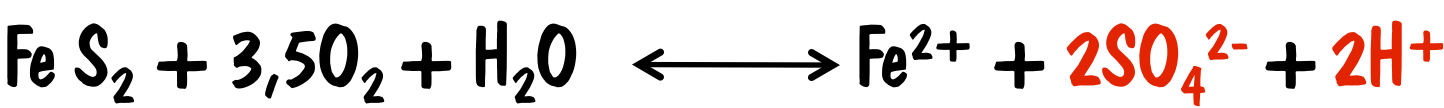
Contaminación secundaria

1ª Etapa. Deseccación parcial

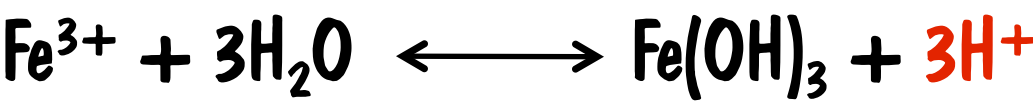


→ oxidación de sulfuros

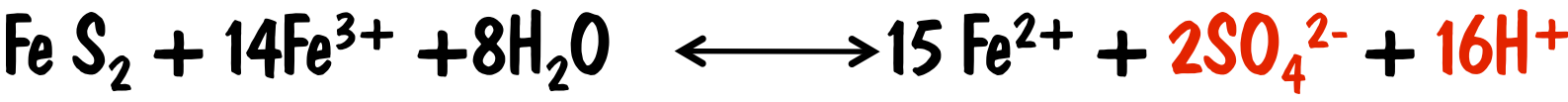
pero al quedar sobre la superficie del terreno, los lodos se van desecando, al ir transcurriendo el tiempo, y se va a producir una segunda contaminación aún más peligrosa que la del momento inicial. Efectivamente, al desecarse los lodos, el aire y por tanto el oxígeno va ocupando los poros, y el ambiente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



para pH > 4,5



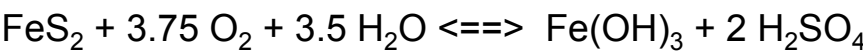
para pH < 4,5



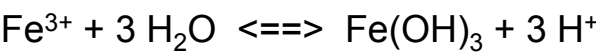
Como sabemos, en la pirita tanto el S como el Fe se encuentran en forma reducida y al contacto con el oxígeno del aire ambos se oxidan, primero lo hacen los sulfuros que pasan a sulfatos y luego el Fe² que pasa a Fe³.

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

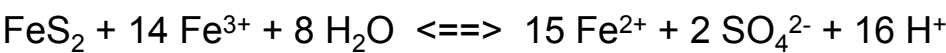


Esta reacción comprende en realidad una secuencia de reacciones, que pasan, en primer lugar, por la liberación de Fe²⁺, que en condiciones oxidantes se transforma en Fe³⁺; si el pH del medio se mantiene por encima de 4.5 (por ejemplo en medios carbonatados) este hierro férrico precipita como hidróxido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



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

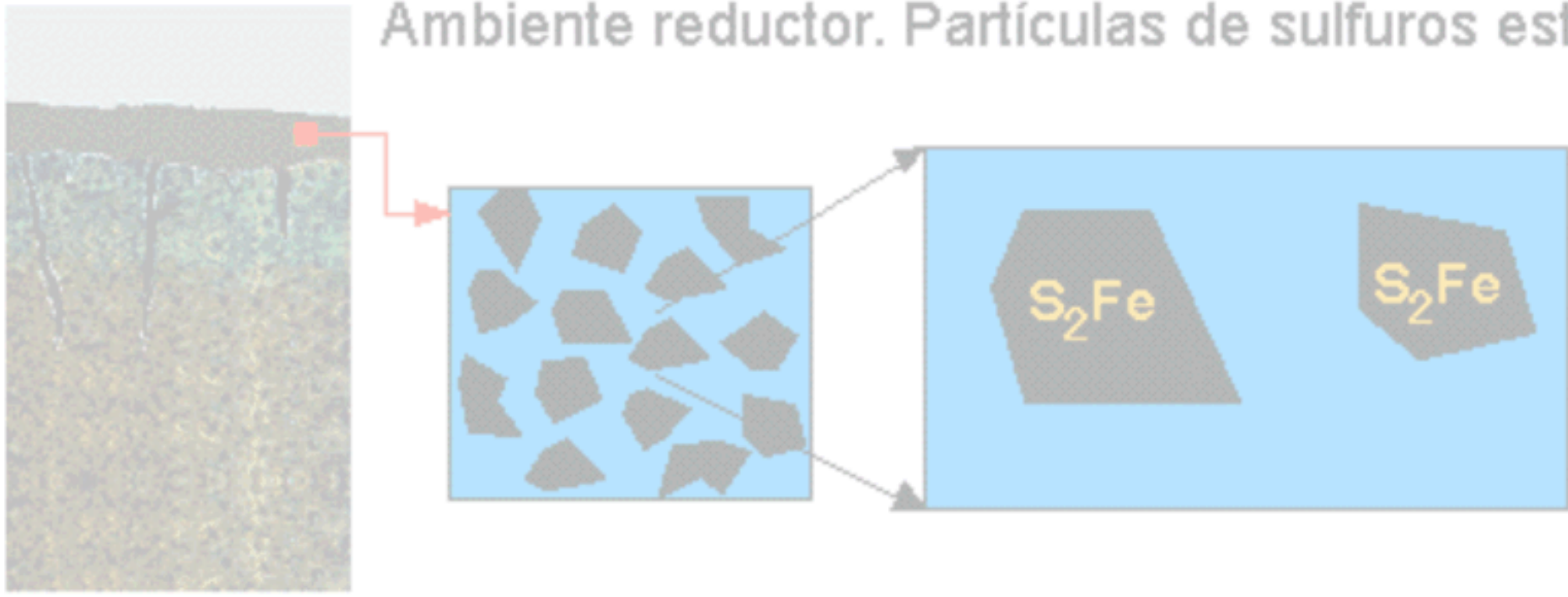
Si por el contrario, el pH del medio se mantiene por debajo de 4.5, o las condiciones son reductoras (Eh < 500 mV), el Fe³⁺ puede actuar como oxidante de la pirita:



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 pirita 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 .

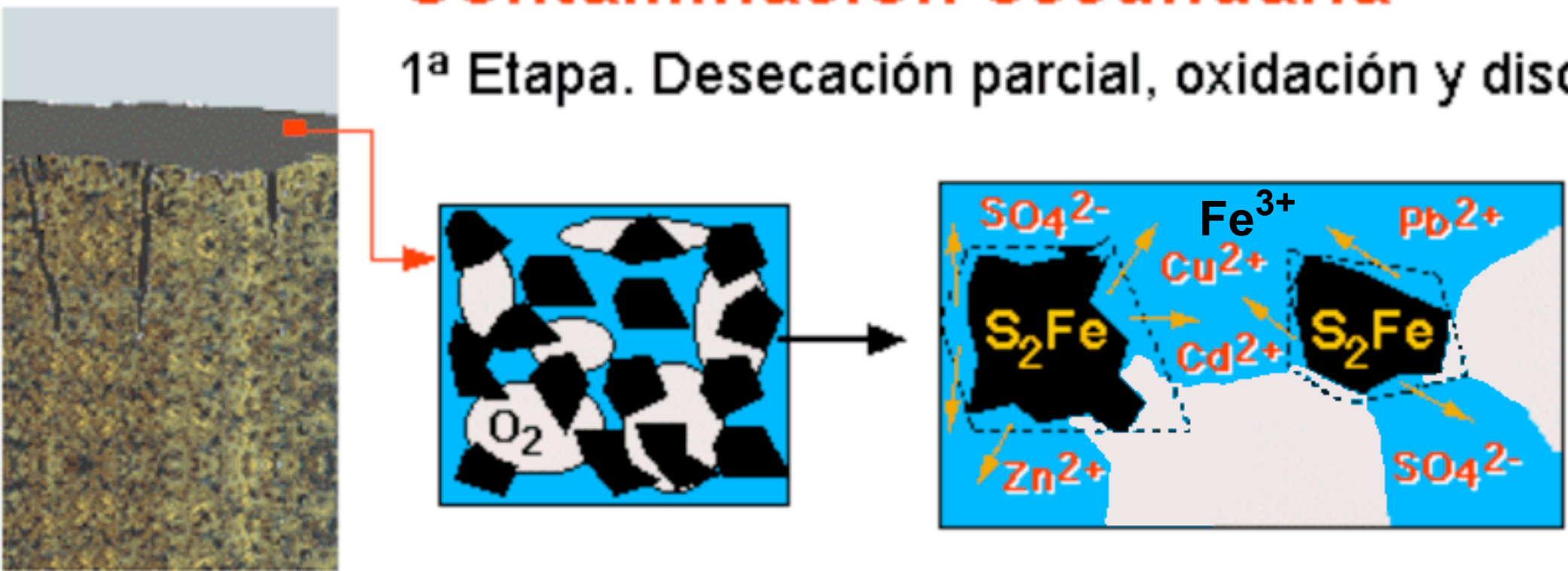
El otro producto generado en las reacciones de oxidación de la pirita son los sulfatos. Debido a las condiciones generalmente ácidas que se producen, la movilidad de los elementos que suelen acompañar a la pirita es elevada, por lo que en última instancia se tenderá a la formación de sulfatos complejos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

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

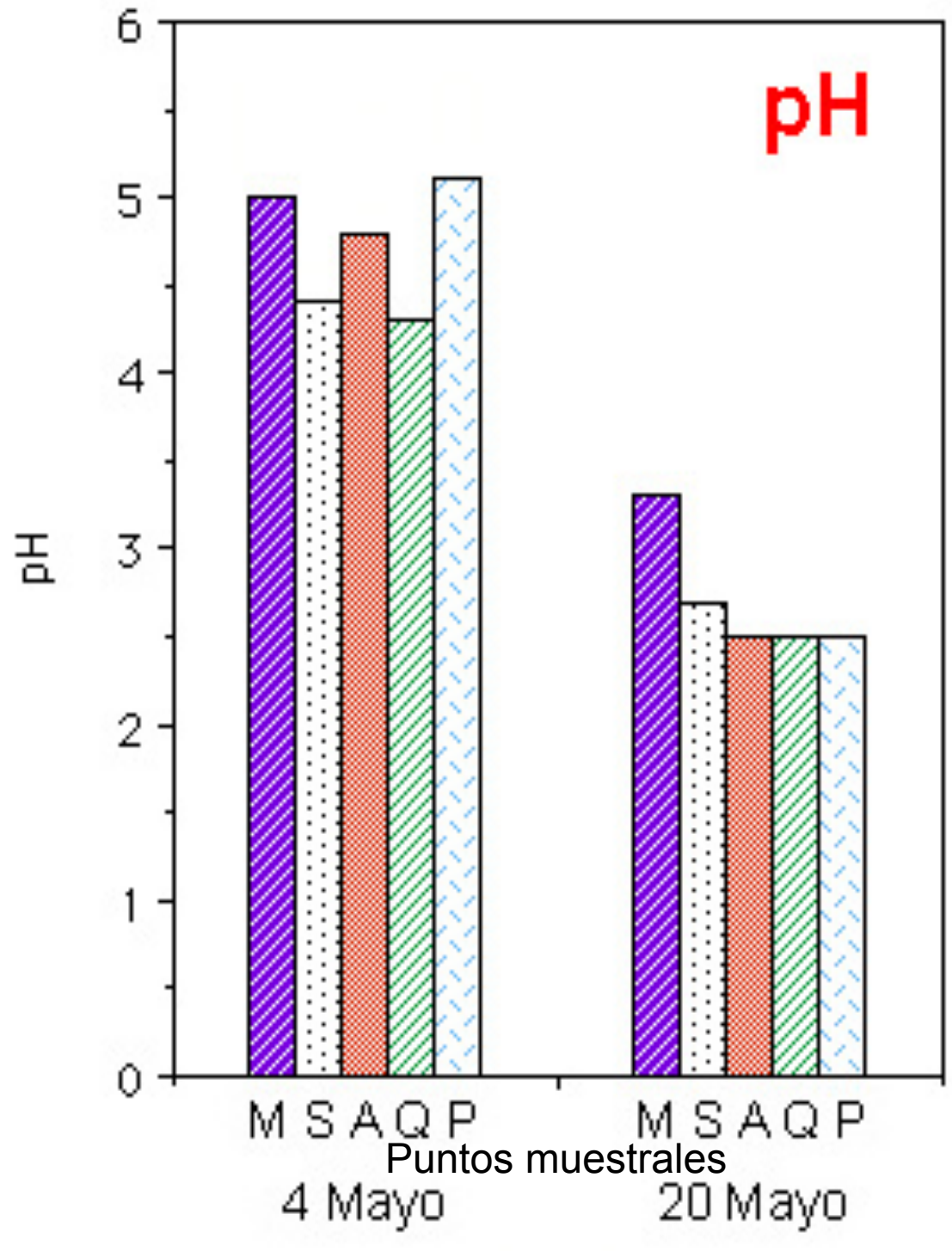
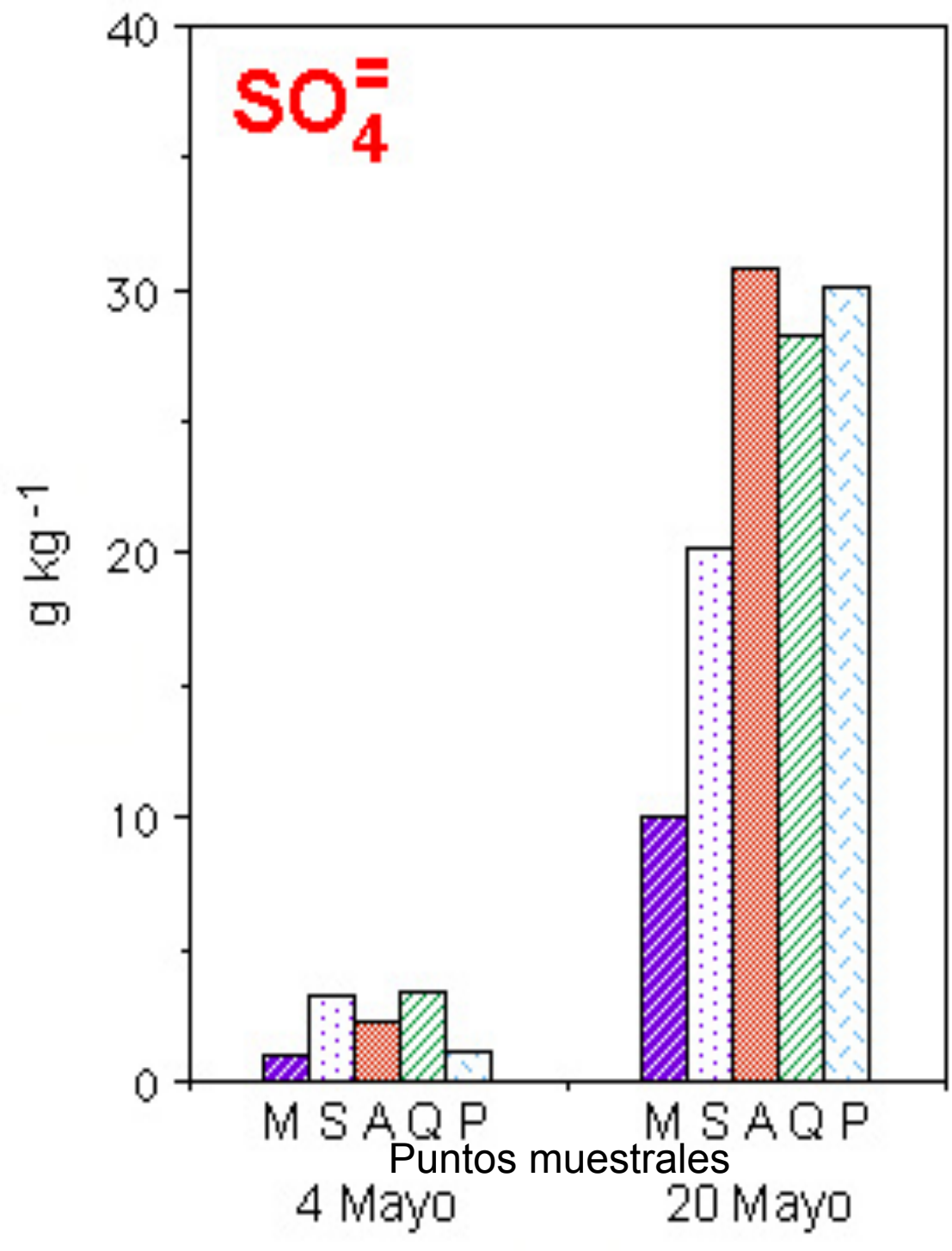


Contaminación secundaria

1ª Etapa. Deseccación parcial, oxidación y disolución.

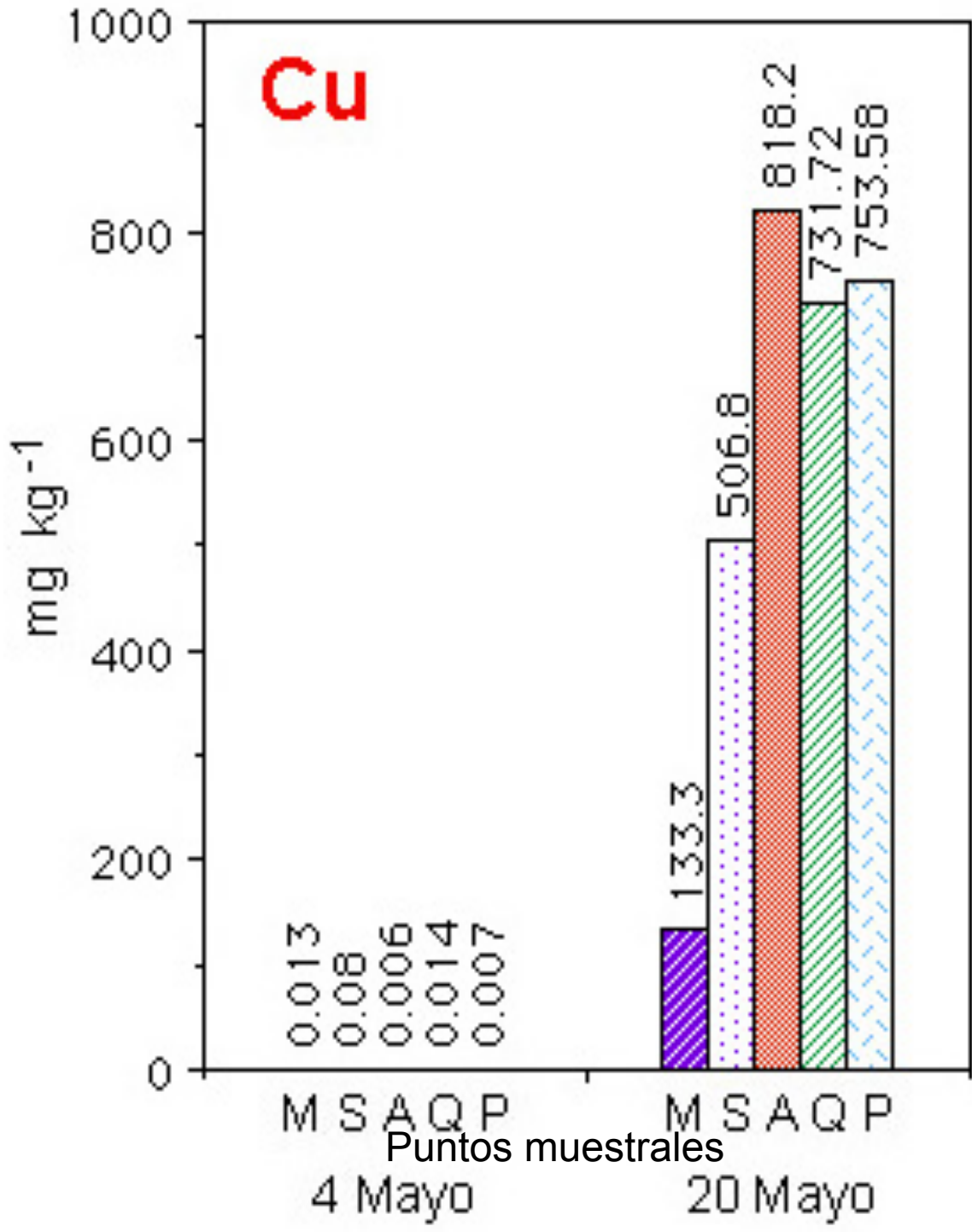
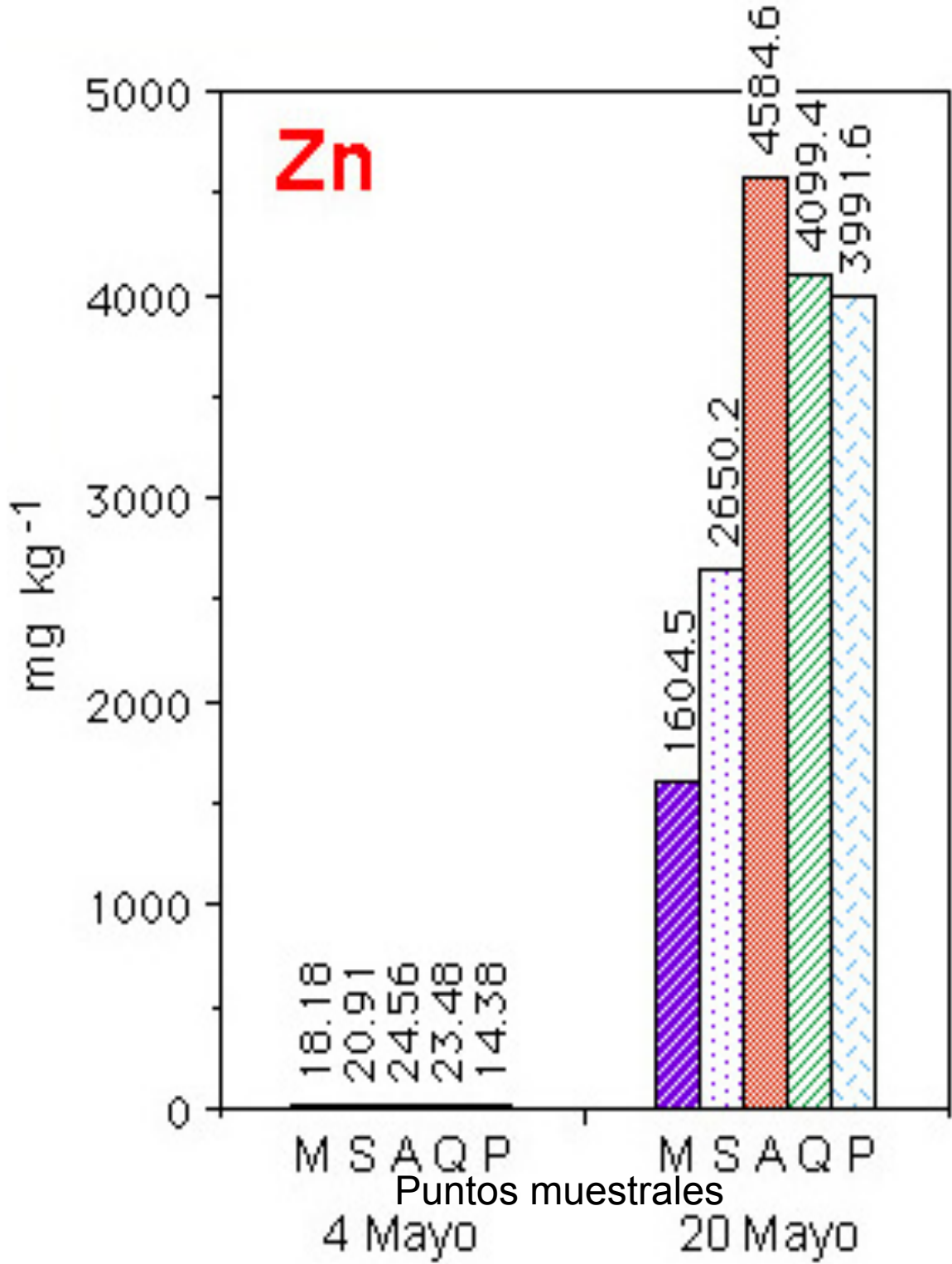


los sulfuros pasan a sulfatos solubles. O sea, las partículas minerales se alteran, se descomponen, liberándose sus iones constituyentes como el As y los metales pesados que pasan a la solución.



Extractos solubles de los lodos

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), con una fuerte bajada del pH (de más de dos unidades) y se produce



Extractos solubles de los lodos

un espectacular incremento en las concentraciones de metales en la solución de los lodos (pasando desde pocas decenas a miles de mg/kg), y todo esto ocurría, no lo olvidemos, en una capa que estaba encima de los suelos.

Aznalcóllar, hoy.

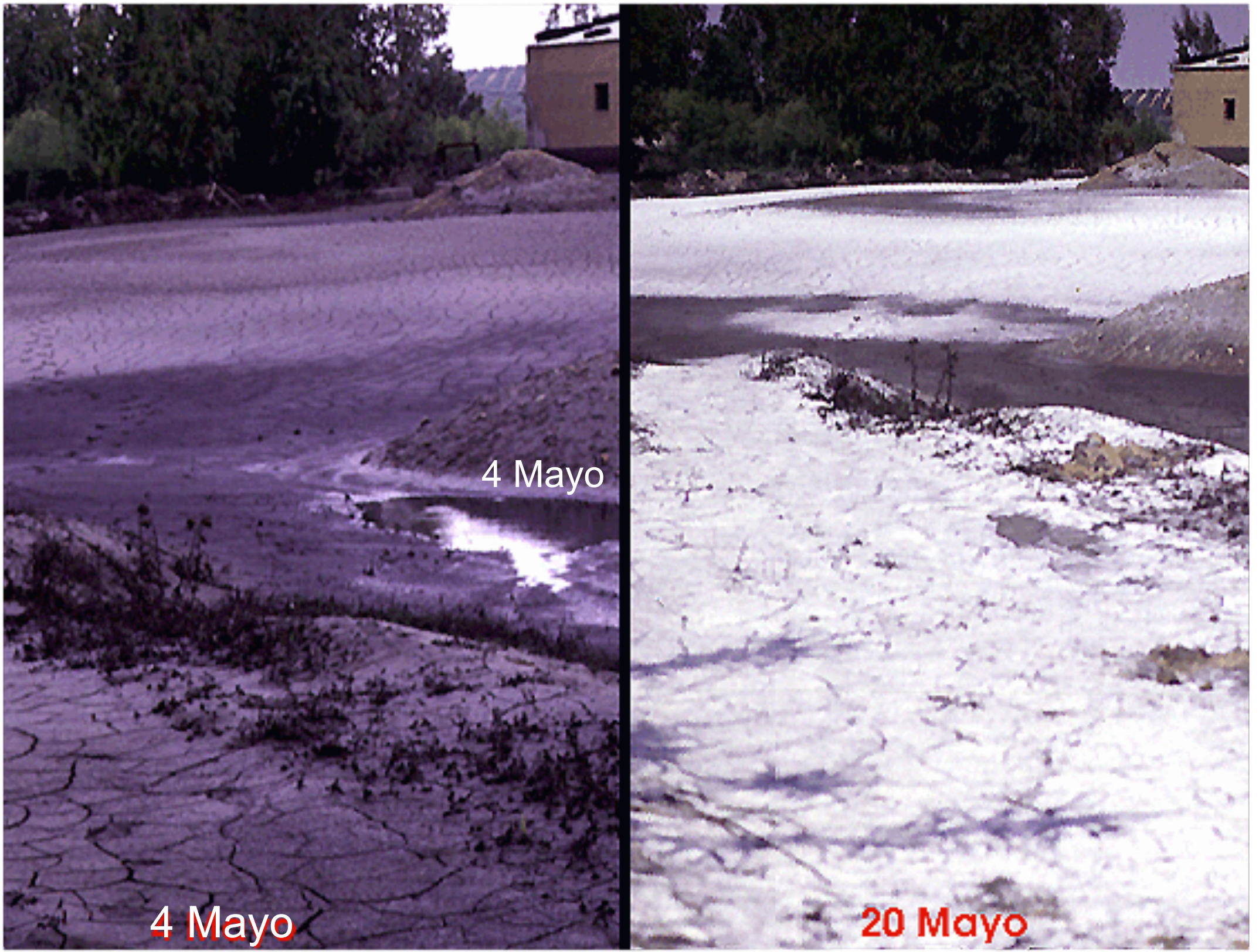
1. El accidente
2. La contaminación
3. La remediación
4. La no intervención
5. El futuro



Que en los lodos estaban ocurriendo cosas 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 remediación
4. La no intervención
5. El futuro



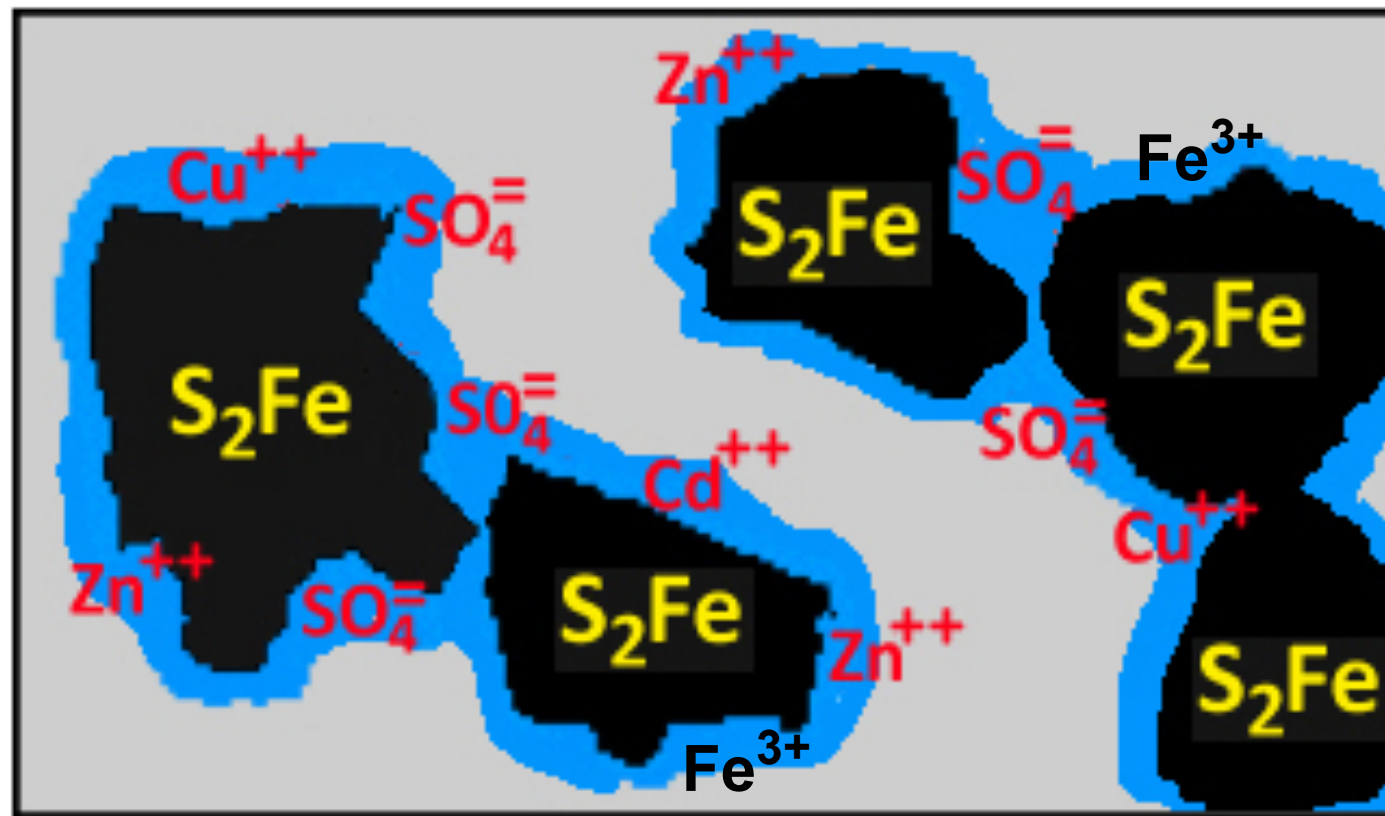
Los sulfuros de la superficie de los lodos se oxidaban y se formaban sales.
Bianchita
Beaverita
Hexaedrita

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 pasaban a la solución pero quedaban retenidos en los lodos, concretamente en la solución que formaba delgadas películas de agua higroscópica y capilar.

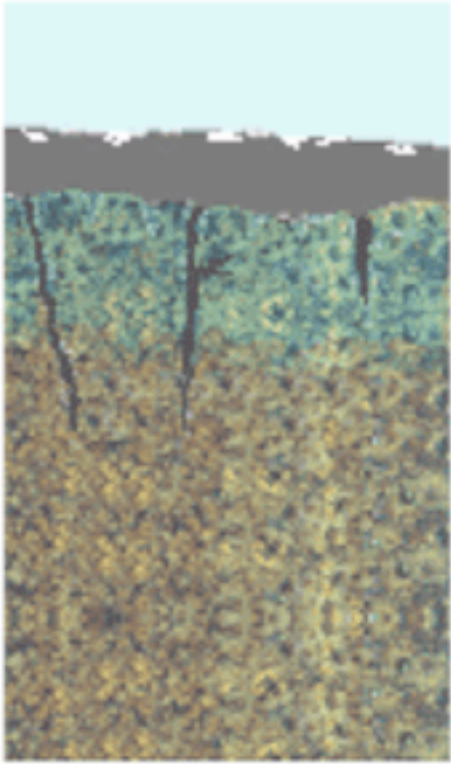
Aznalcóllar, hoy.

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



Todo esto ocurría en el periodo seco, pero con la llegada de las primeras lluvias ...
Primero las sales depositadas en la superficie se disolvían y penetraban dentro de los lodos,

Periodo
húmedo

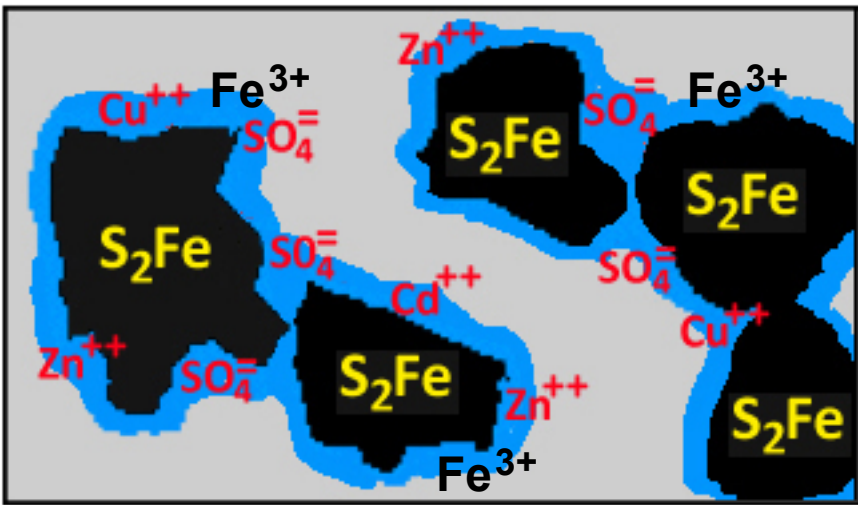


Contaminación secundaria

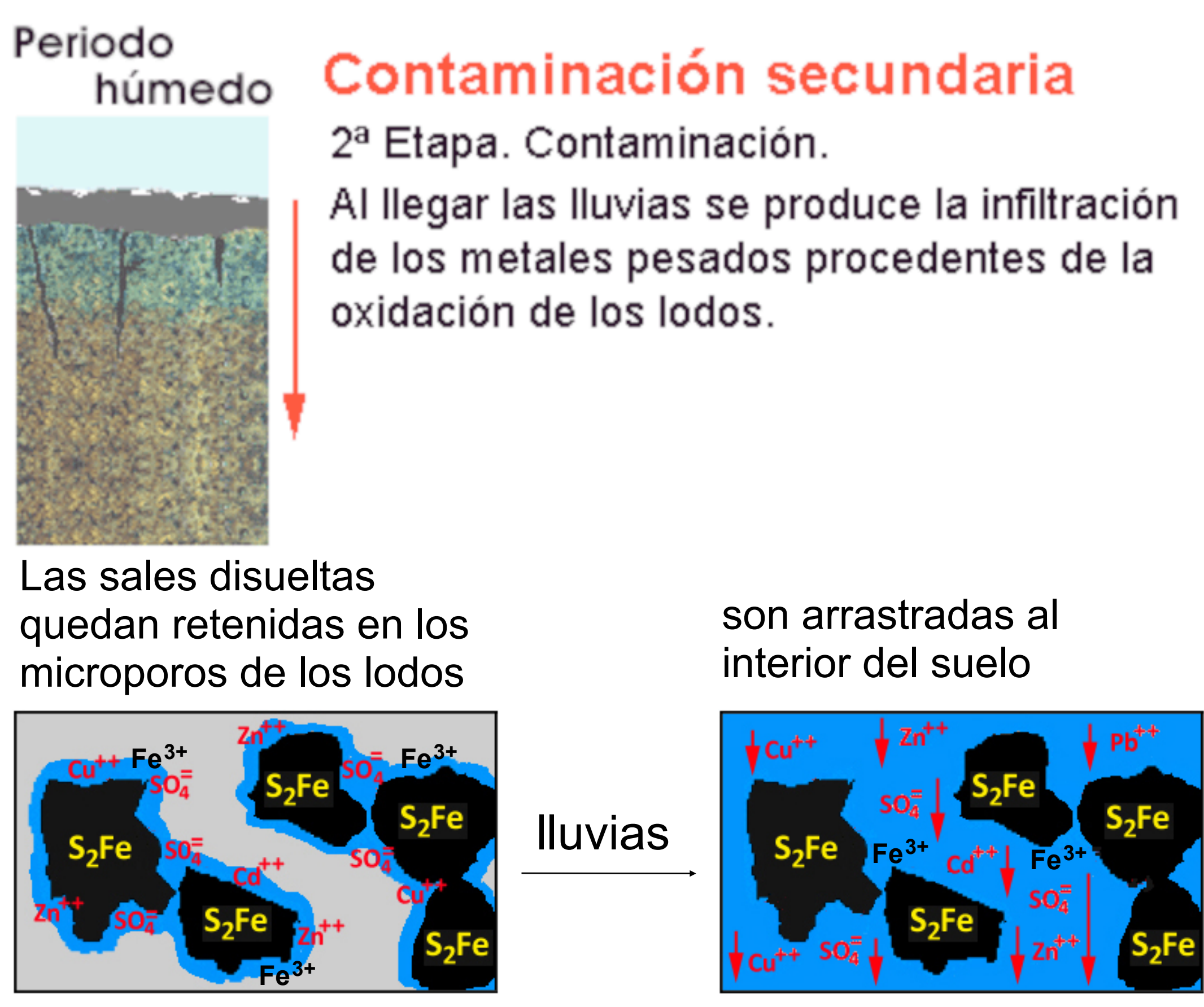
2ª Etapa. Contaminación.

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

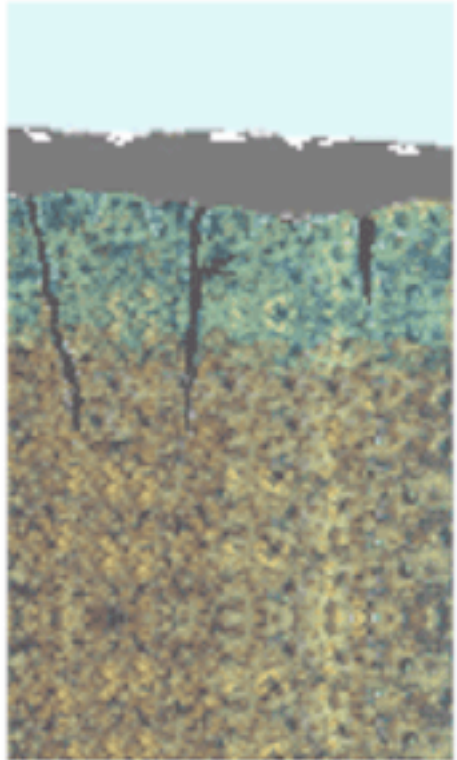


Y en el interior la capa de lodos se satura de agua de lluvia, este agua inunda los macroporos que carecen de capacidad de retención del agua, es en definitiva agua de gravedad que ya no puede ser retenida y se infiltran en el suelo produciendo una nueva contaminación, la contaminación secundaria, que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



Y en el interior 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.

Periodo húmedo

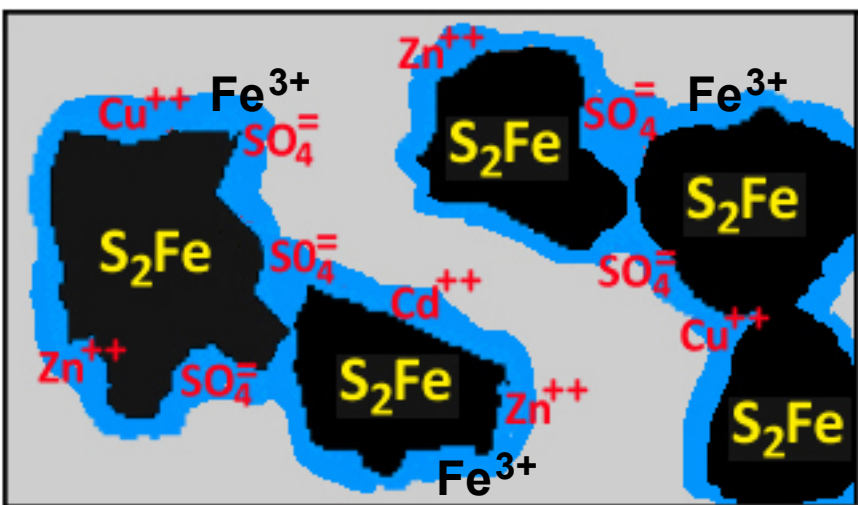


Contaminación secundaria

2ª Etapa. Contaminación.

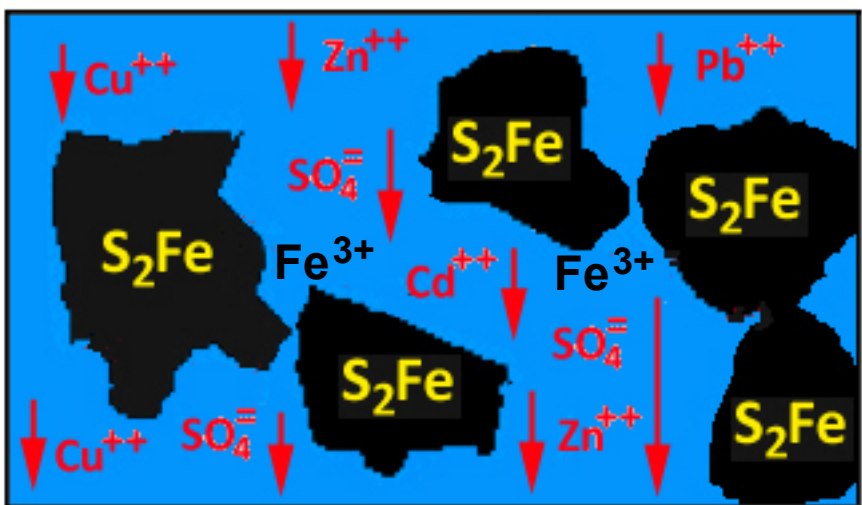
Al llegar las lluvias se produce la infiltración de los metales pesados procedentes de la oxidación de los lodos.

Las sales disueltas quedan retenidas en los microporos de los lodos



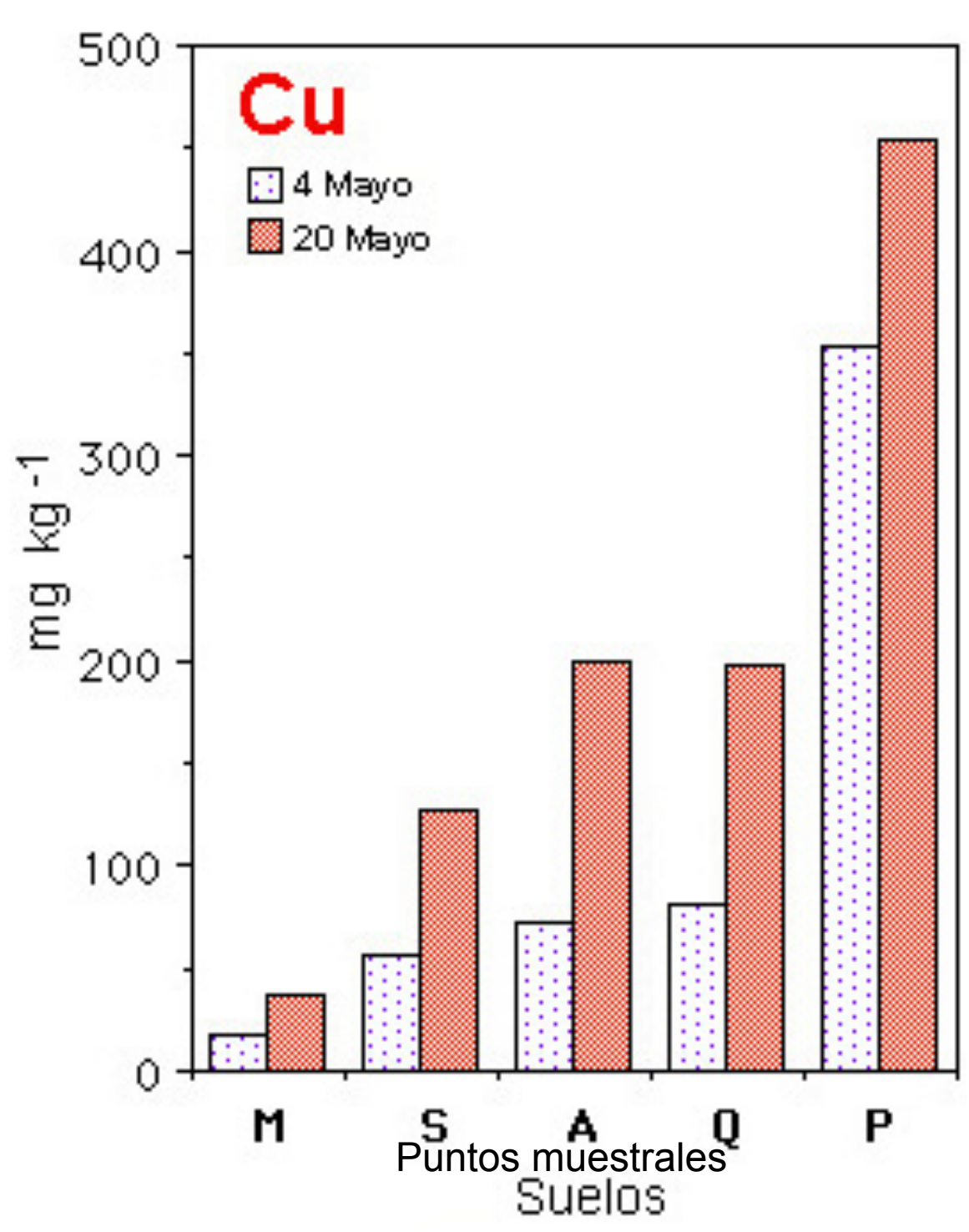
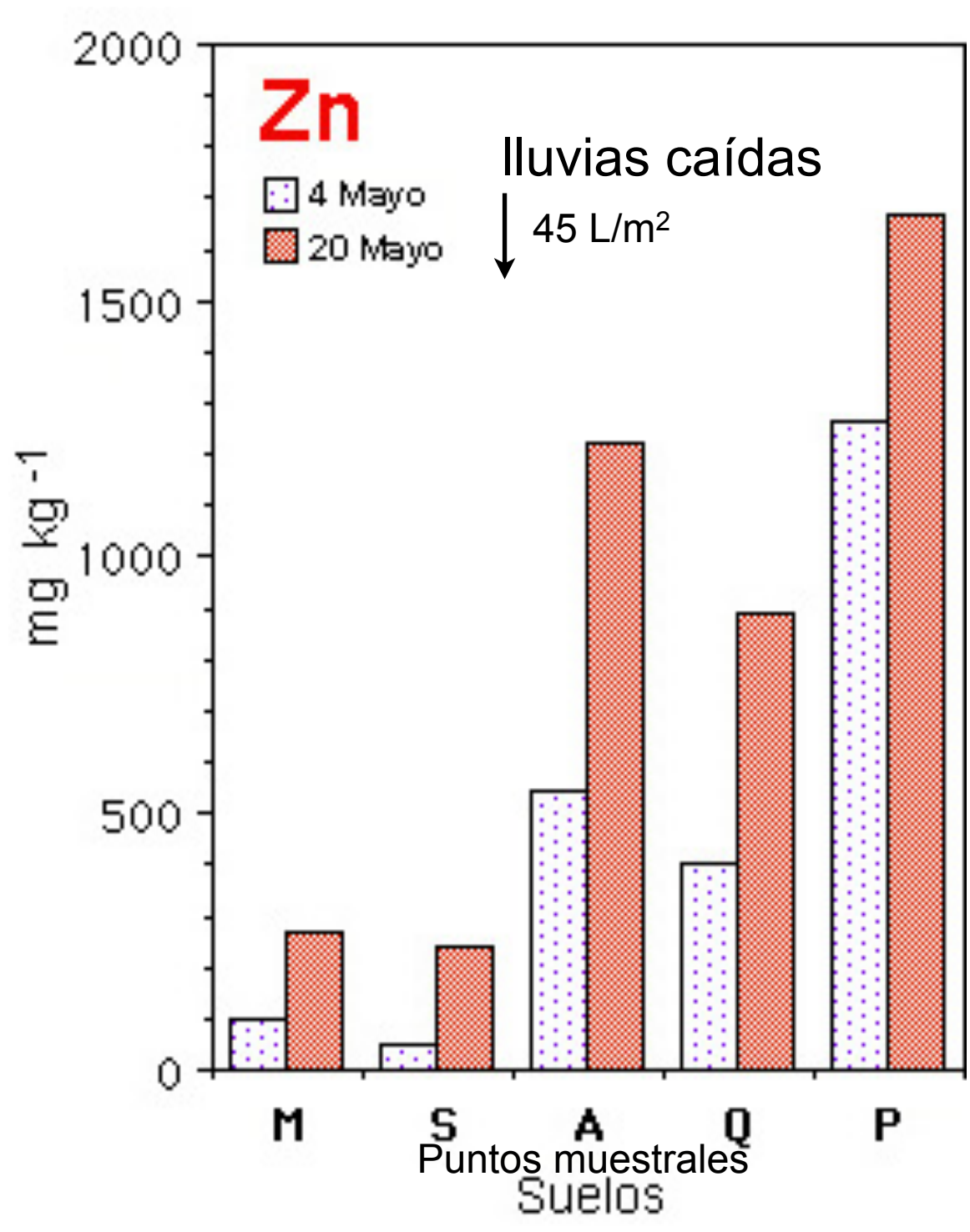
Necesidad de retirar los lodos de la superficie del suelo

son arrastradas al interior del suelo



Iluvias

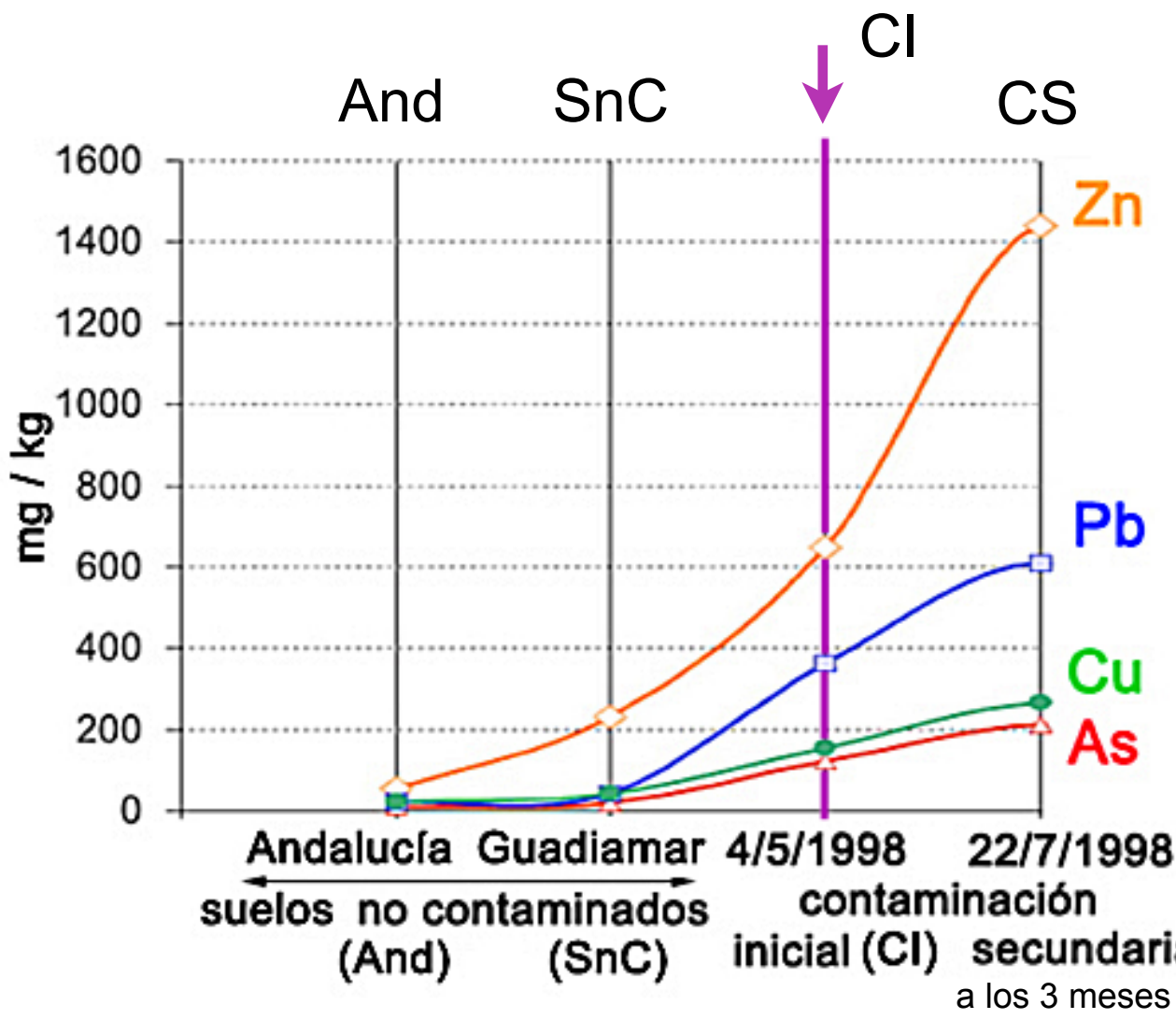
Y en el interior la capa de lodos se satura de agua de lluvia, este agua inunda los macroporos que carecen de capacidad de retención del agua, es en definitiva agua de gravedad que ya no puede ser retenida y se infiltran en el suelo produciendo una nueva contaminación, la contaminación secundaria, que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



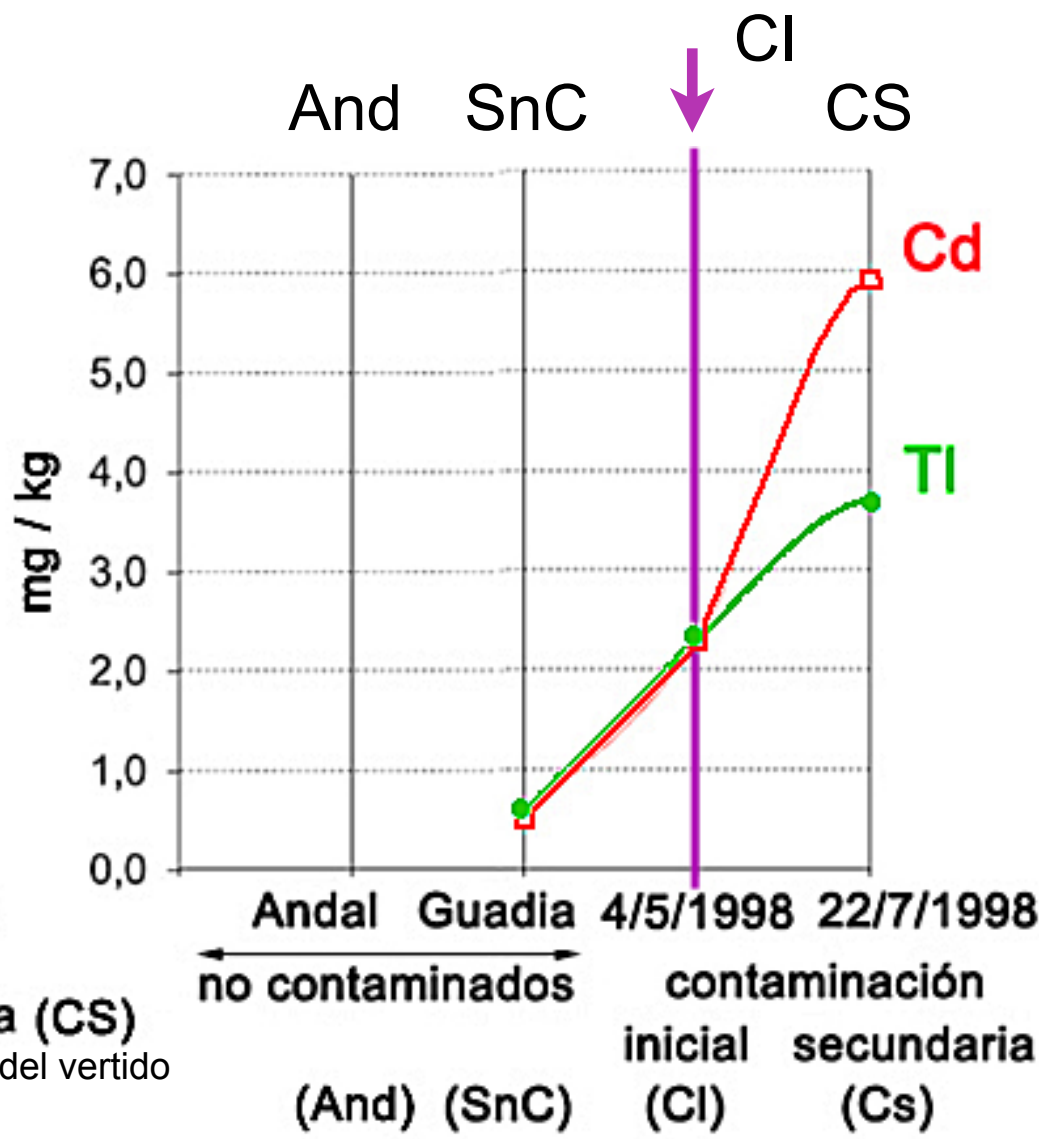
Suelos horiz. 0-10cm

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.

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



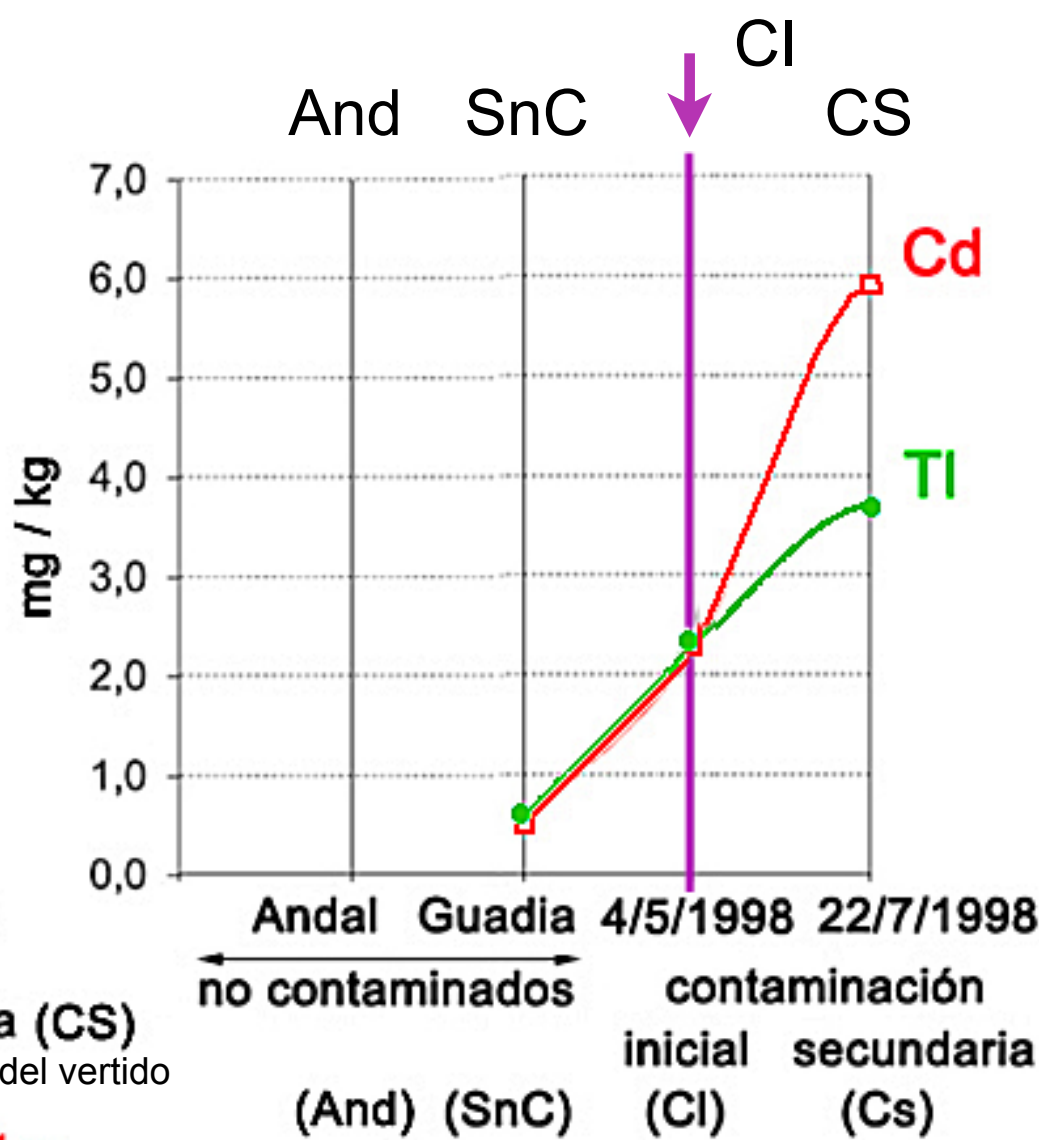
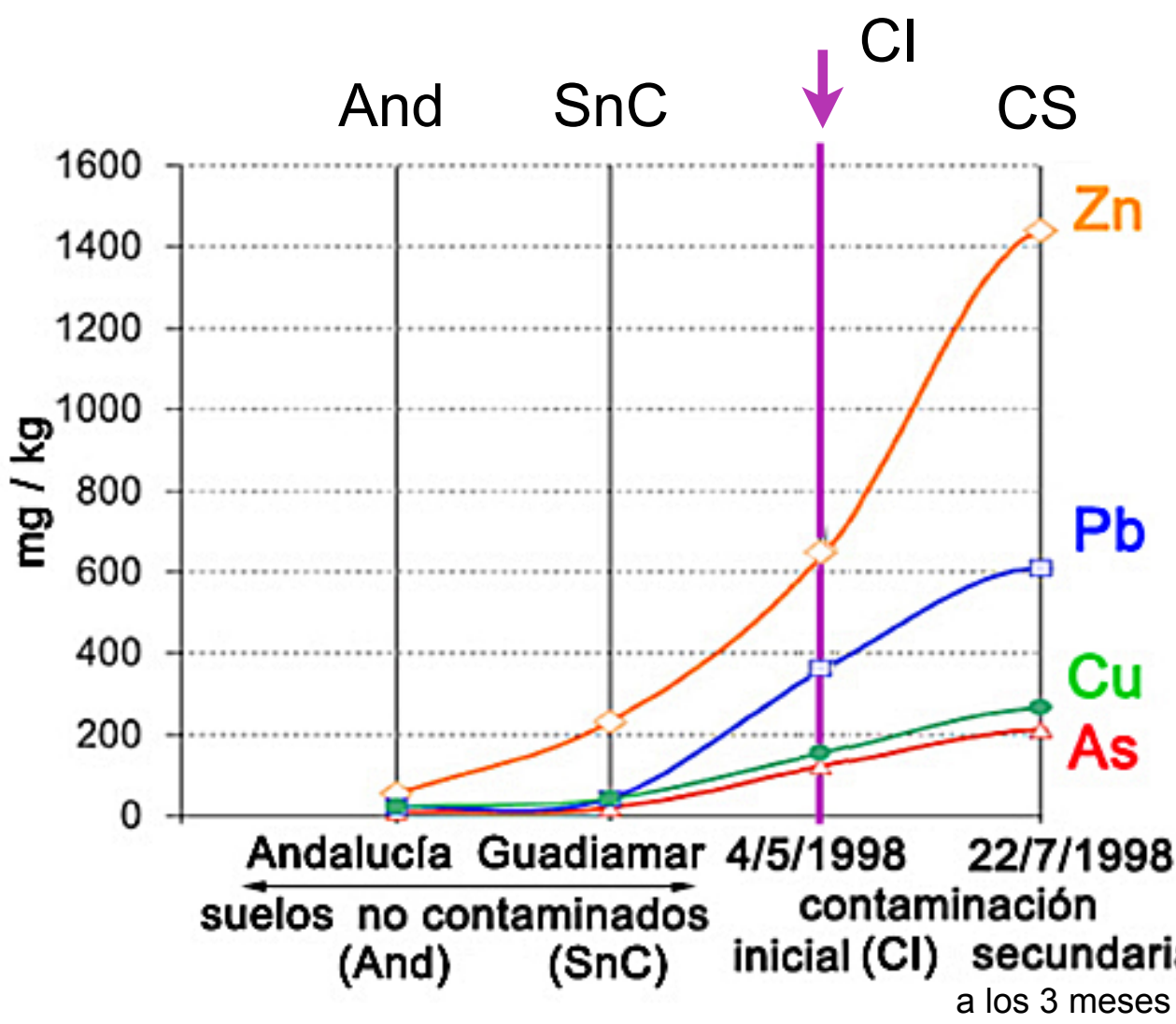
	And	SnC	CI	CS
Zn	56	231	647	1.439
Pb	24	42	361	608
Cu	24	42	153	267
As	10	18	122	213



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

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

De manera que valores medios de los suelos en su horizonte superficial a sólo tres meses del vertido, **al final de julio, transcurridos sólo tres meses del vertido**, eran muy altos, por ejemplo la concentración de As pasó de 122 a 213 mg/kg. A esta contaminación secundaria, por su causa, la llamamos contaminación oxidativa,

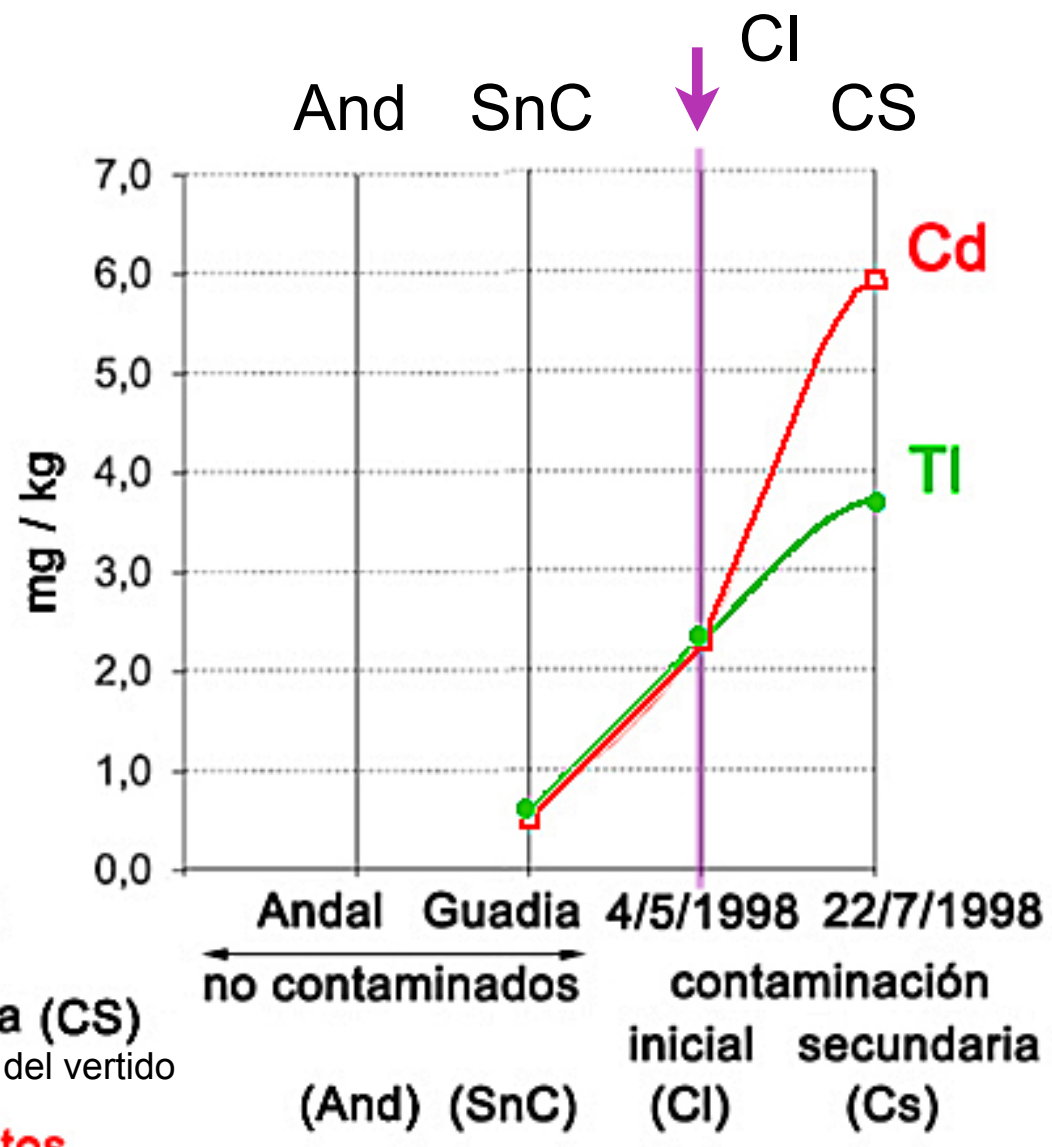
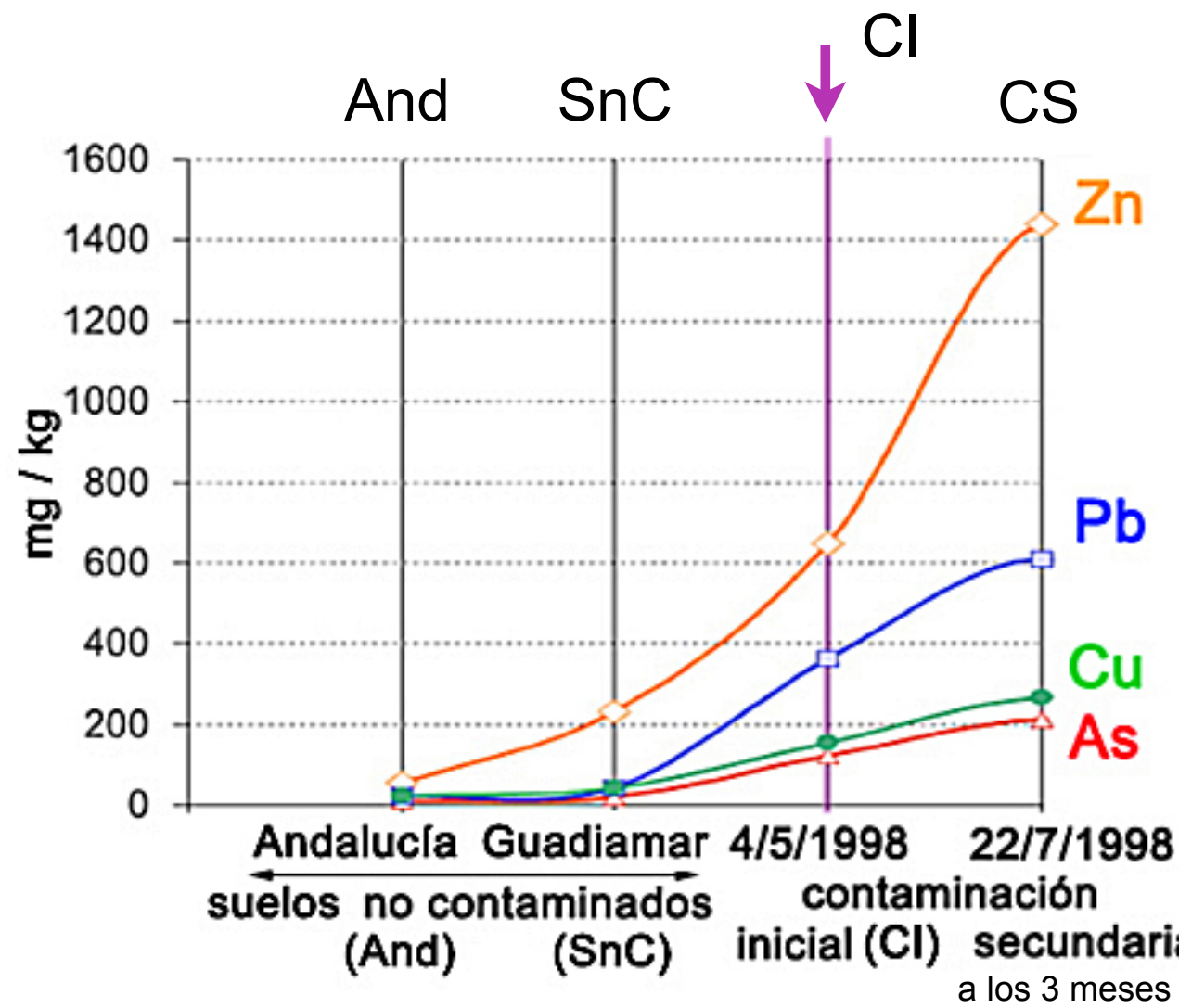


	And	SnC	CI	CS	Incrementos
Zn	56	231	647	1.439	122%
Pb	24	42	361	608	68%
Cu	24	42	153	267	75%
As	10	18	122	213	75%

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

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

Bien esta contaminación secundaria suponía unos incrementos del orden de un 70%, con unos máximos del 159% para el Cd, con respecto a las concentraciones de la contaminación inicial



	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% 1.083%

	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, As y 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 1.083%, caso del As, a sólo tres meses del vertido pasa de 18 a 213 mg/kg.

• 3 La remediación

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 química de relojería. Y así se le comunicó a la Junta de Andalucía y la Junta, así lo hizo.

hasta aquí 15´

• 3 La remediación

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 química de relojería. Y así se le comunicó a la Junta de Andalucía y la Junta, así lo hizo.

hasta aquí 15´

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La remediación
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 remediación
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 remediación
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. Como se había calculado que el vertido correspondiente a los lodos fue del orden de 1 millón de m³ pues se perdieron en la zona unos 6 millones de m³ de suelos, lo representa que los suelos se decapitaron una media de más de 30 cm, los 30 cm superficiales, donde radica fundamentalmente la fertilidad del suelo. Por otra parte, se calcula que los camiones que transportaron los lodos pudieron dar 350 vueltas a la Tierra por el ecuador.

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**

4.400 hectáreas = 4.400 *10.000 = 44 millones de m².

7 millones de m³ / 44 = 16 cm de espesor de suelo



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

Se movieron más de 7 millones de metros cúbicos de lodos y suelos. Como se había calculado que el vertido correspondiente a los lodos fue del orden de 1 millón de m³ pues se perdieron en la zona unos 6 millones de m³ de suelos, lo representa que los suelos se decapitaron una media de más de 30 cm, los 30 cm superficiales, donde radica fundamentalmente la fertilidad del suelo. Por otra parte, se calcula que los camiones que transportaron los lodos pudieron dar 350 vueltas a la Tierra por el ecuador.

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**

4.400 hectáreas = 4.400 *10.000 = 44 millones de m².
7 millones de m³ / 44 = 16 cm de espesor de suelo



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

Se movieron más de 7 millones de metros cúbicos de lodos y suelos. Como se había calculado que el vertido correspondiente a los lodos fue del orden de 1 millón de m³ pues se perdieron en la zona unos 6 millones de m³ de suelos, lo representa que los suelos se decapitaron una media de más de 30 cm, los 30 cm superficiales, donde radica fundamentalmente la fertilidad del suelo. Por otra parte, se calcula que los camiones que transportaron los lodos pudieron dar 350 vueltas a la Tierra por el ecuador.

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**

4.400 hectáreas = 4.400 *10.000 = 44 millones de m².
7 millones de m³ / 44 = 16 cm de espesor de suelo

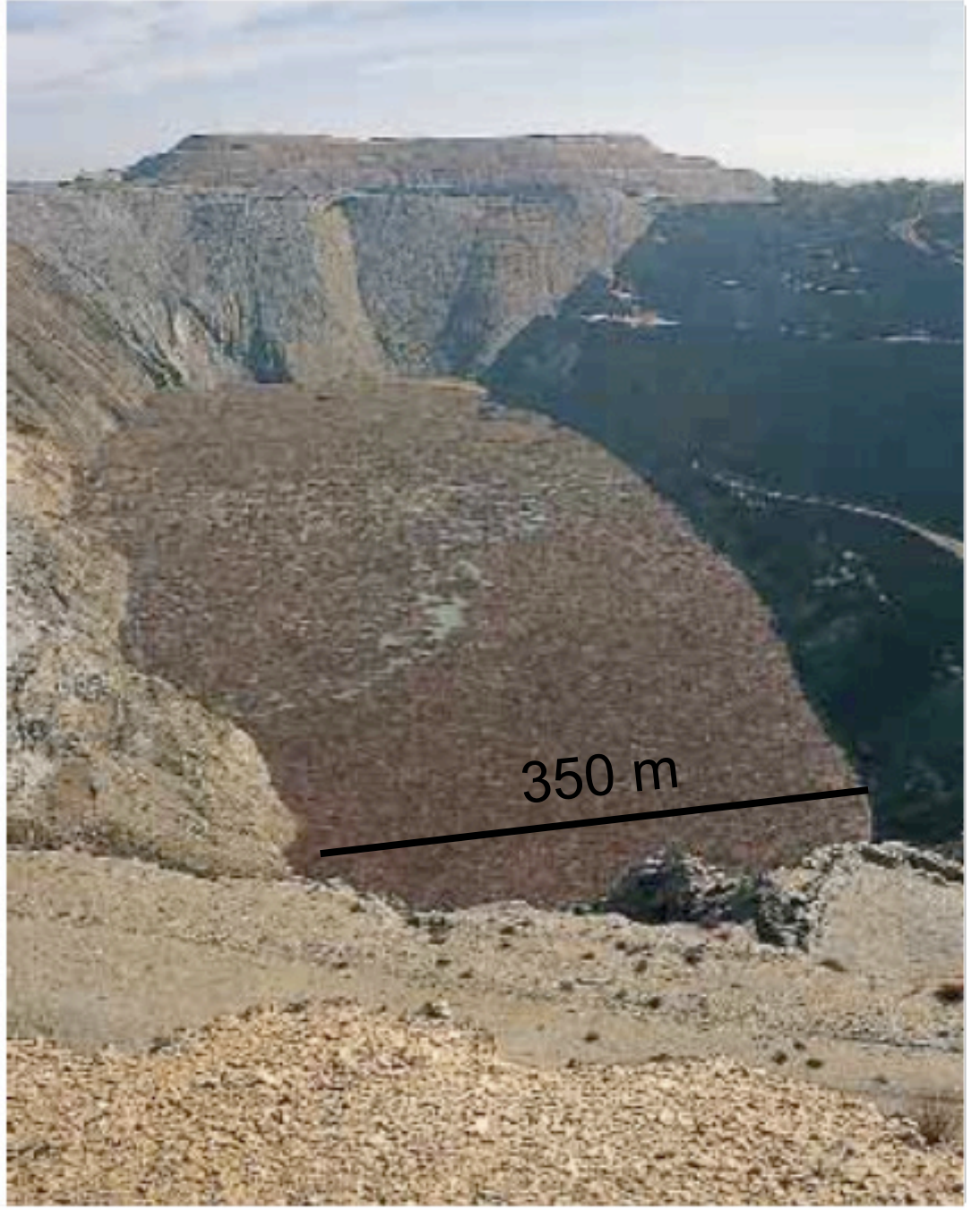
Aznalcóllar, hoy.

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



Aznalcóllar, hoy.

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



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



Y todo esto en unas condiciones muy duras, con todo tipo de protecciones y a 40°, lo que hacía el trabajo muy engorroso, ... claro que nosotros pertenecíamos a otra empresa.

Aznalcóllar, hoy.

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



Y todo esto en unas condiciones muy duras, con todo tipo de protecciones y a 40°, lo que hacía el trabajo muy engorroso, ... claro que nosotros pertenecíamos a otra empresa.

Aznalcóllar, hoy.

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

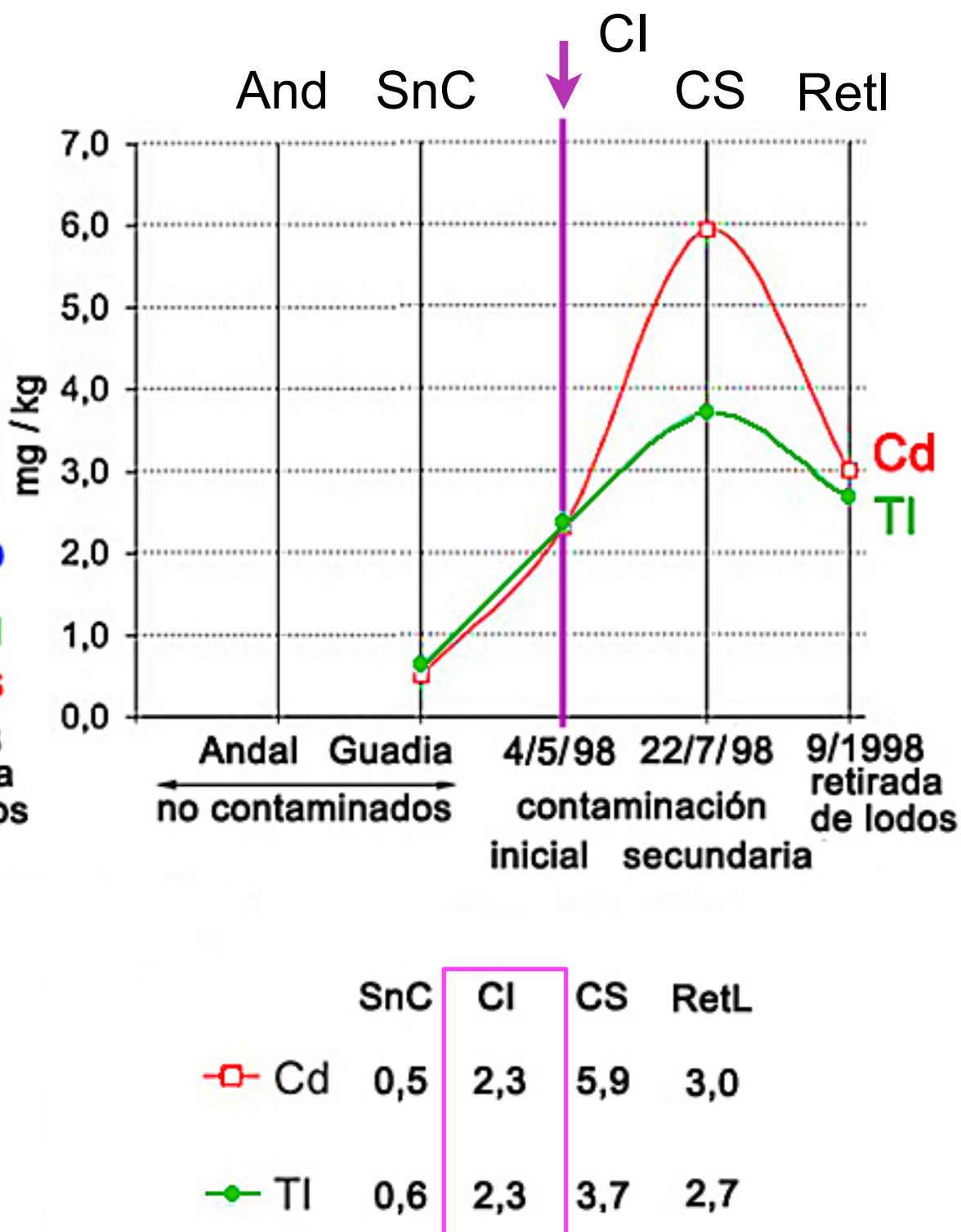
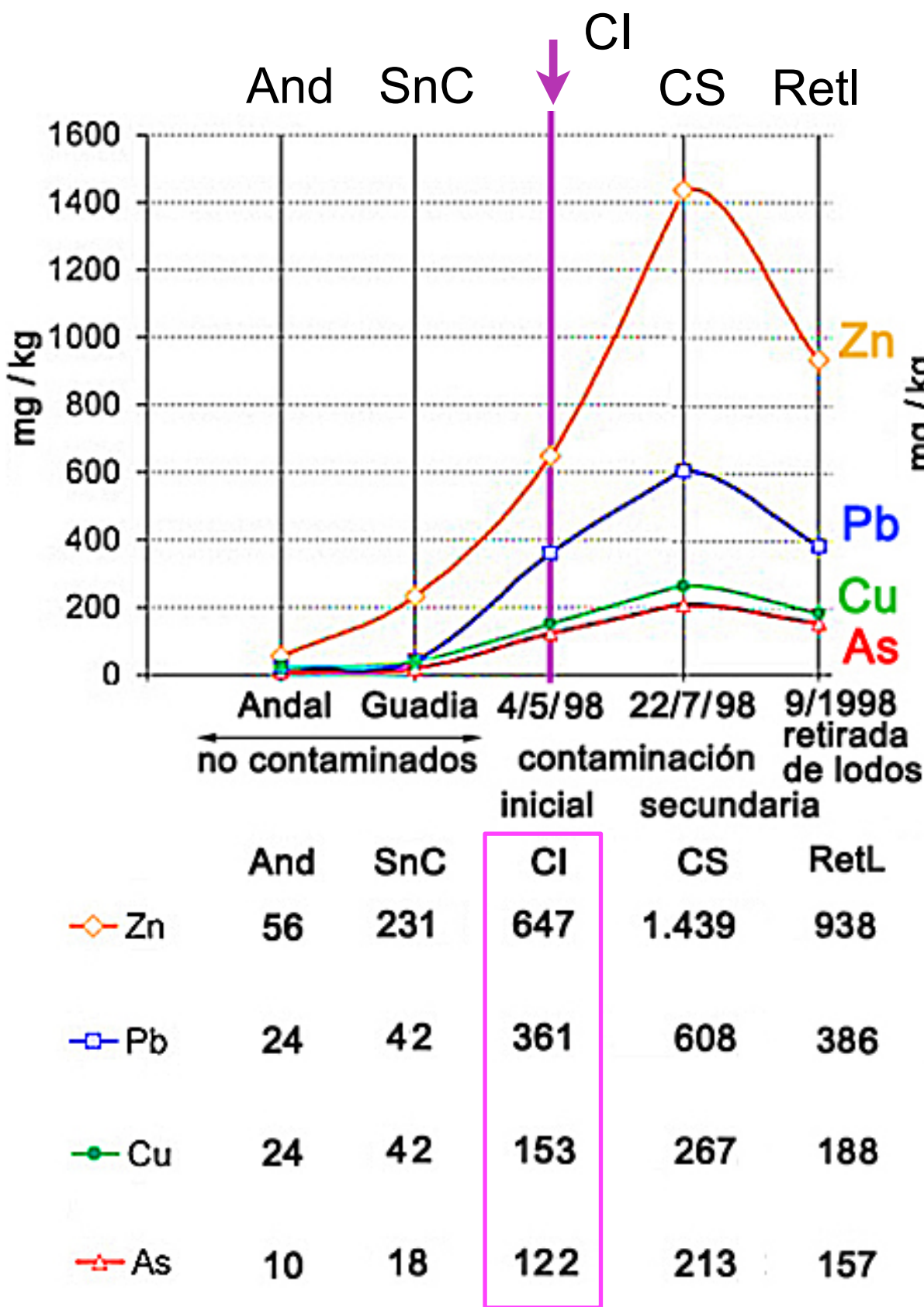


Pero la situación realmente no estaba para muchas bromas, pues había también una contaminación eólica muy fuerte.

Contaminación eólica

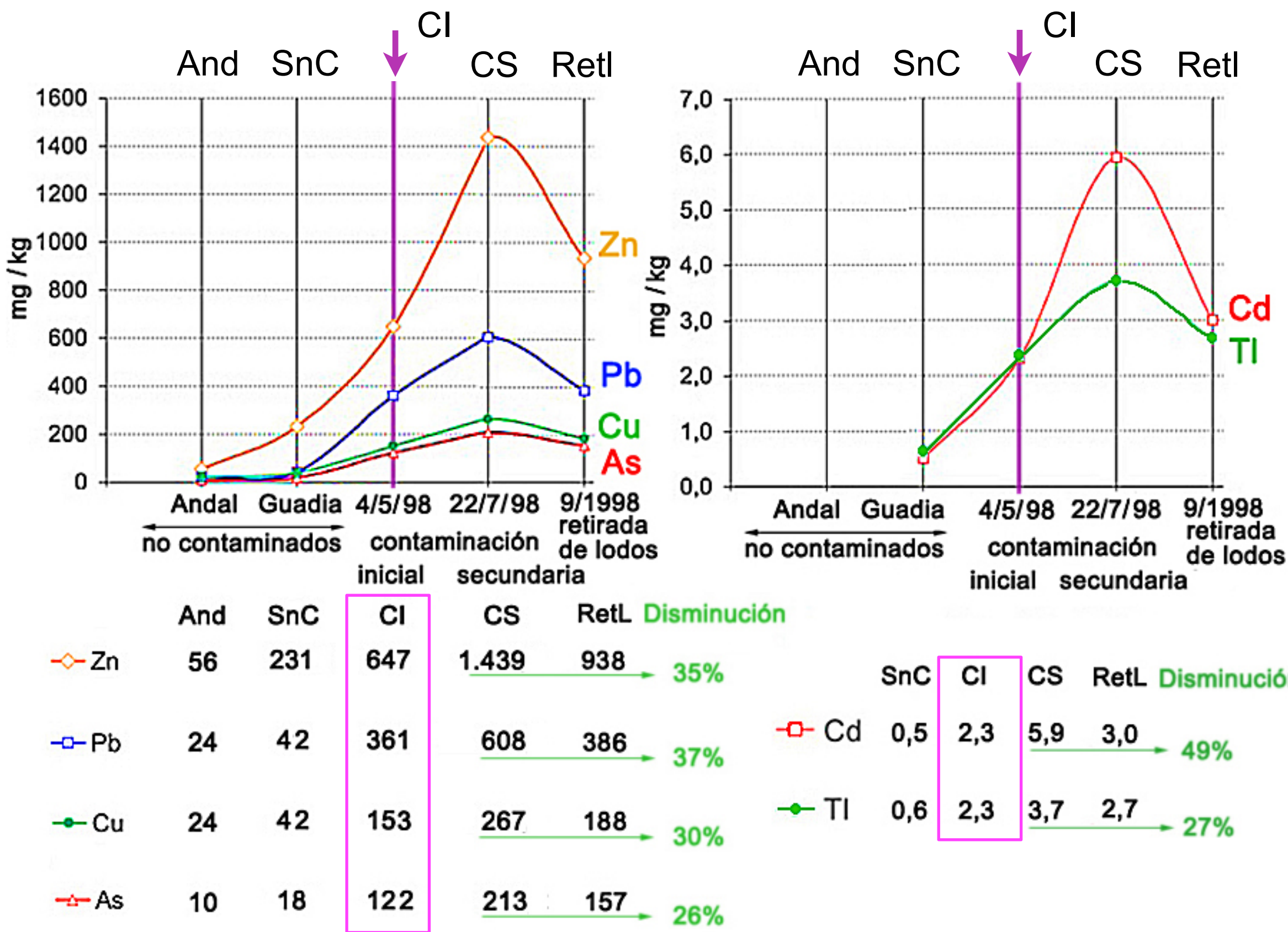


Pero la situación realmente no estaba para muchas bromas, pues había también una contaminación eólica muy fuerte.



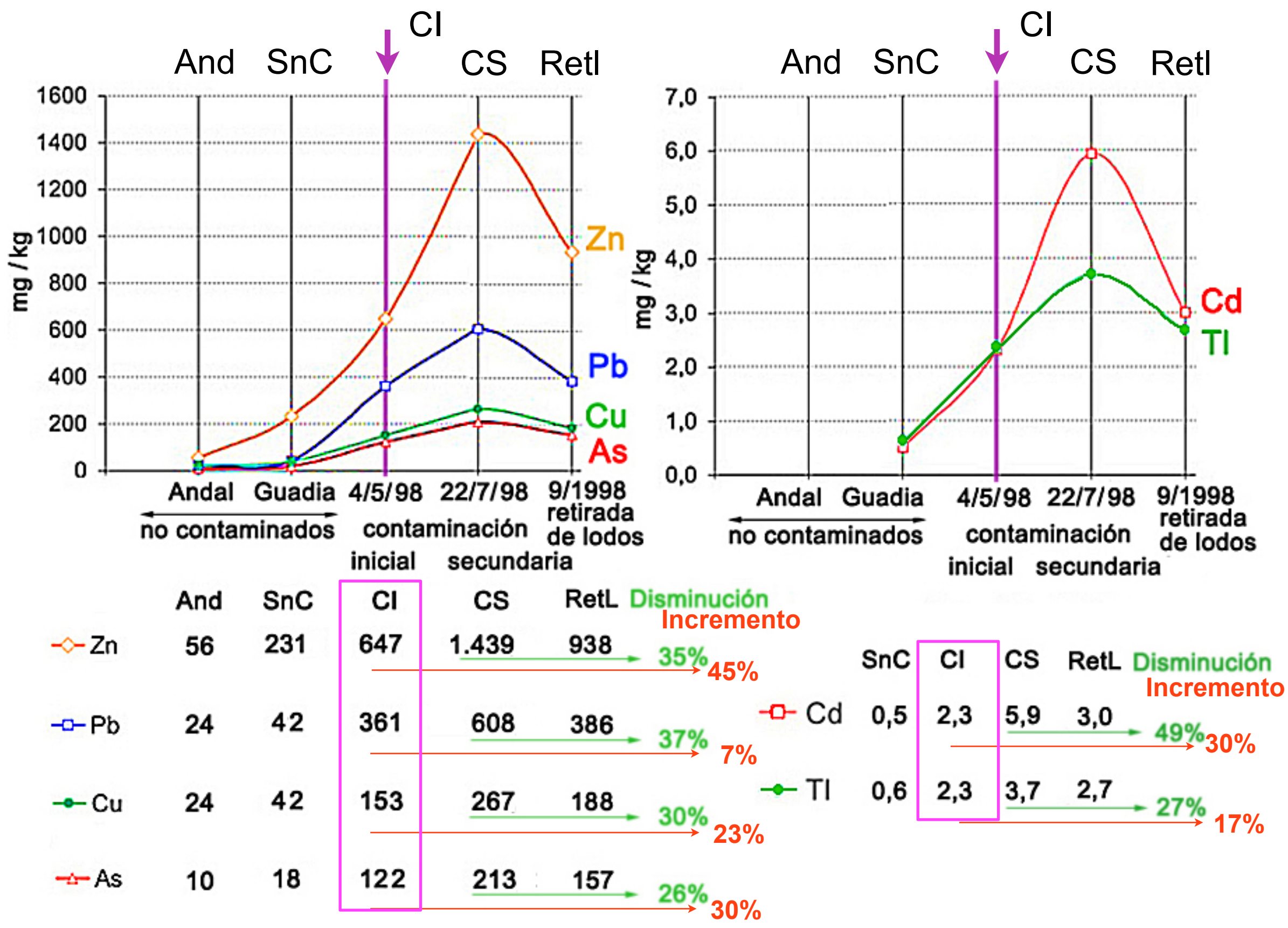
mg/kg, As y metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

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



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

Se había conseguido rebajar la contaminación en algo más de un 30% (siempre trabajando sobre fracción total, valores medios y en muestras de horizontes superficiales), pero los resultados no eran demasiado gratificantes.



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

Pues después de retirar siete millones de metros cúbicos de lodos y suelos y gastar más de 100 millones de euros, la contaminación era mayor de la que hubo en un primer momento. ¡Sólo se había rebajado la contaminación secundaria en aproximadamente un 30%. ¡Había que seguir trabajando!

3. La remediación 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 remediación 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.

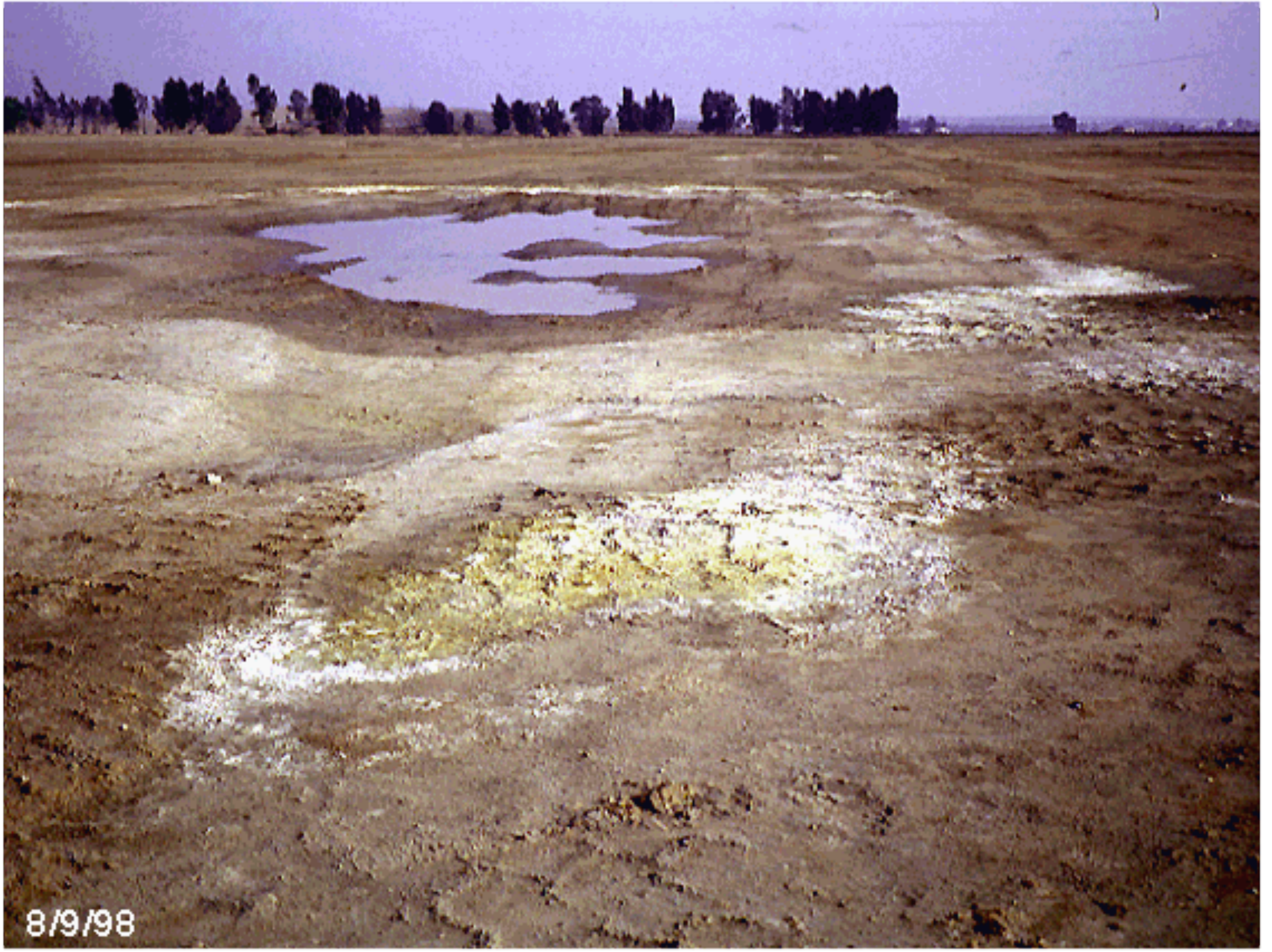
1. El accidente
2. La contaminación
3. La remediación
4. La no intervención
5. El futuro



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

Aznalcóllar, hoy.

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



tan sólo dos meses después ofrecía este aspecto. Con las escasas lluvias del verano el aspecto de la zona había cambiado.

Aznalcóllar, hoy.

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



tan sólo dos meses después ofrecía este aspecto. Con las escasas lluvias del verano el aspecto de la zona había cambiado.



Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

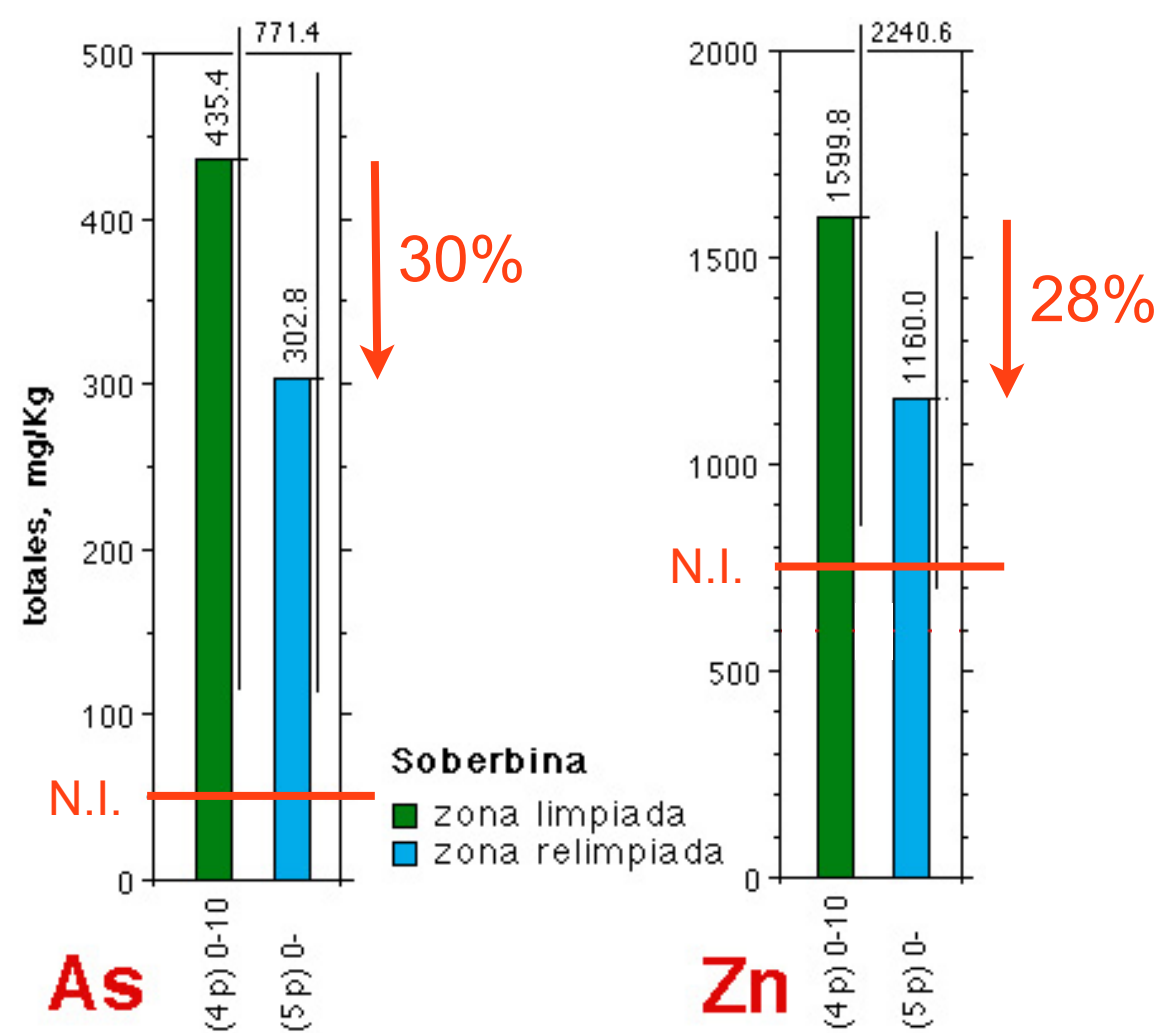
1 Revisar la limpieza

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

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza



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

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

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, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación

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; algunas no germinaron, el muchos casos desarrollo de las plantas fue escaso, otras se secaron y la absorción final de metales en la parcela fue muy escasa. Por todo ello la experiencia se abandonó.

Vicario: Brassica juncea (recolección 3000 kg/ha y año)

As cantidad a extraer 600 kg/ha. extracción 0,6 g/ha año . Número de cosechas 1.000.000

Pb	370	1,6	230.000
Cu	149	3,1	48.000
Zn	1224	80,5	15.000

Medidas complementarias

Objetivos

A) Disminución de las concentraciones

Bien se había hecho lo que se podía para eliminar contaminantes. ¿Qué otra cosa se podía hacer?

Pues se pensó que si no se podía eliminar más contaminantes se buscó en, al menos, inmovilizarlos.

Medidas complementarias

Objetivos

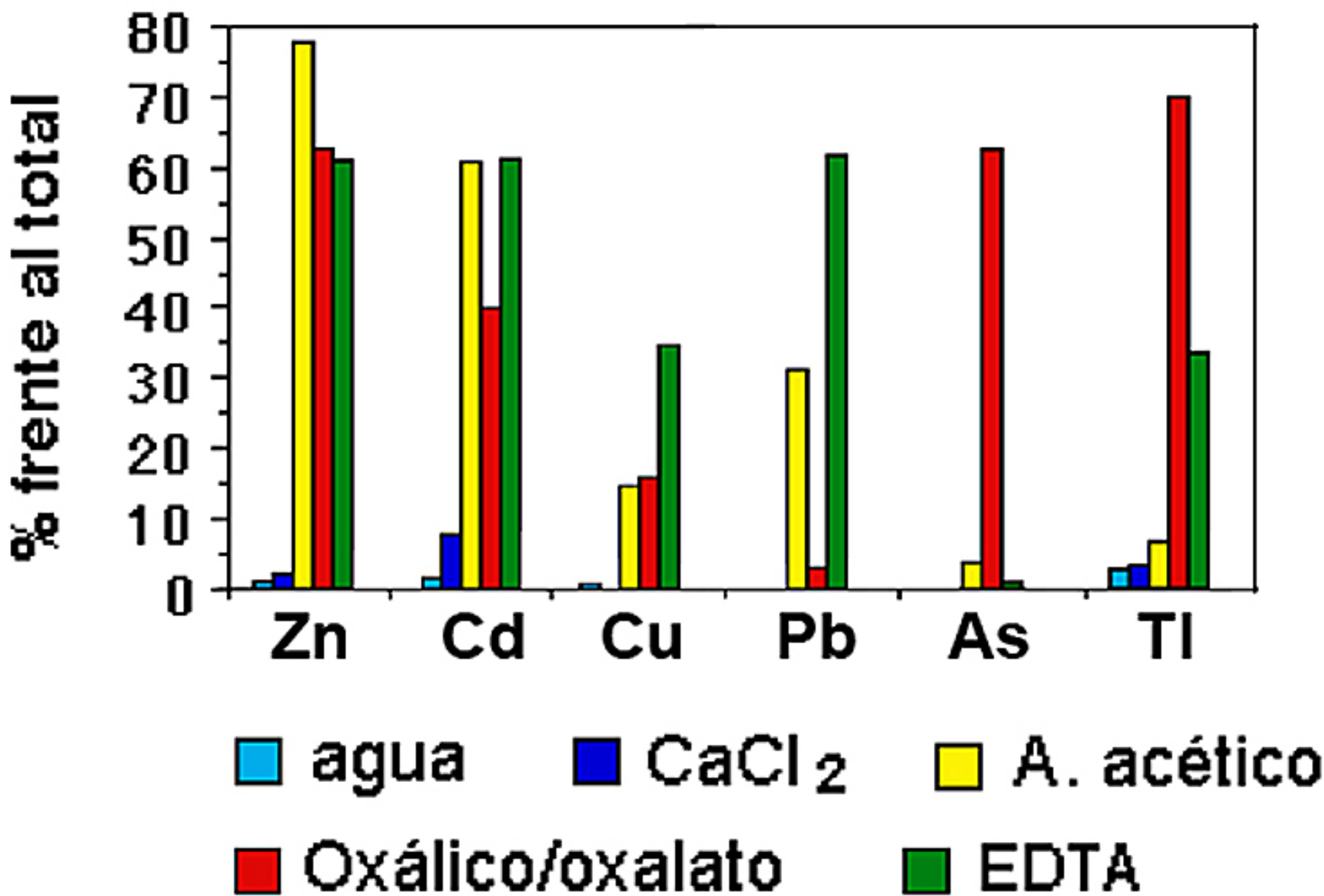
A) Disminución de las concentraciones

B) Inmovilización de los contaminantes

Bien se había hecho lo que se podía para eliminar contaminantes. ¿Qué otra cosa se podía hacer?

Pues se pensó que si no se podía eliminar más contaminantes se buscó en, al menos, inmovilizarlos.

Fraccionamiento de los metales pesados



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 ocluídos 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. En general las extracciones fueron altas ...

EDTA = Acido etilendiaminotetraacético

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

Y estos fueron los agentes bloqueantes añadidos

Para los carbonatos: se hicieron pruebas en el laboratorio del poder encalante con carbonato de calcio puro, cenizas de celulosa, lodo de depuradora y espumas de azucarera.

Se eligieron las espumas de azucarera por: High CaCO_3 content (40%), Very fine particle size (reactive), High OM content (15-20%), Cheap (industrial waste).

Para calcular la cantidad de a añadir de espumas de azucarera se hizo una valoración en el laboratorio del poder neutralizante de la acidez.

Finalmente se añadieron 4 kg m^{-2} (es decir, 40.000 kg/ha) en la zona ácida (max. 15) y 2 kg m^{-2} zona neutra y básica.

Para los óxidos de Fe y las arcillas (bentonitas) se hicieron pruebas en parcelas experimentales y se añadió un suelo rico en óxidos de Fe y arcillas a 20.000 kg/ha.

Con la materia orgánica hubo problemas en su adquisición y sólo se añadió a una pequeña parte de la zona.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

3 Adición de bloqueantes:

Y estos fueron los agentes bloqueantes añadidos

Para los carbonatos: se hicieron pruebas en el laboratorio del poder encalante con carbonato de calcio puro, cenizas de celulosa, lodo de depuradora y espumas de azucarera.

Se eligieron las espumas de azucarera por: High CaCO_3 content (40%), Very fine particle size (reactive), High OM content (15-20%), Cheap (industrial waste).

Para calcular la cantidad de a añadir de espumas de azucarera se hizo una valoración en el laboratorio del poder neutralizante de la acidez.

Finalmente se añadieron 4 kg m^{-2} (es decir, 40.000 kg/ha) en la zona ácida (max. 15) y 2 kg m^{-2} zona neutra y básica.

Para los óxidos de Fe y las arcillas (bentonitas) se hicieron pruebas en parcelas experimentales y se añadió un suelo rico en óxidos de Fe y arcillas a 20.000 kg/ha.

Con la materia orgánica hubo problemas en su adquisición y sólo se añadió a una pequeña parte de la zona.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

3 Adición de bloqueantes:
carbonatos



Y estos fueron los agentes bloqueantes añadidos

Para los carbonatos: se hicieron pruebas en el laboratorio del poder encalante con carbonato de calcio puro, cenizas de celulosa, lodo de depuradora y espumas de azucarera.

Se eligieron las espumas de azucarera por: High CaCO_3 content (40%), Very fine particle size (reactive), High OM content (15-20%), Cheap (industrial waste).

Para calcular la cantidad de a añadir de espumas de azucarera se hizo una valoración en el laboratorio del poder neutralizante de la acidez.

Finalmente se añadieron 4 kg m^{-2} (es decir, 40.000 kg/ha) en la zona ácida (max. 15) y 2 kg m^{-2} zona neutra y básica.

Para los óxidos de Fe y las arcillas (bentonitas) se hicieron pruebas en parcelas experimentales y se añadió un suelo rico en óxidos de Fe y arcillas a 20.000 kg/ha.

Con la materia orgánica hubo problemas en su adquisición y sólo se añadió a una pequeña parte de la zona.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

3 Adición de bloqueantes:

carbonatos

óxidos de Fe

arcillas



carbonatos: espumas de azucarera



óxidos Fe + arcillas: suelo rojo

Y estos fueron los agentes bloqueantes añadidos

Para los carbonatos: se hicieron pruebas en el laboratorio del poder encalante con carbonato de calcio puro, cenizas de celulosa, lodo de depuradora y espumas de azucarera.

Se eligieron las espumas de azucarera por: High CaCO_3 content (40%), Very fine particle size (reactive), High OM content (15-20%), Cheap (industrial waste).

Para calcular la cantidad de a añadir de espumas de azucarera se hizo una valoración en el laboratorio del poder neutralizante de la acidez.

Finalmente se añadieron 4 kg m^{-2} (es decir, 40.000 kg/ha) en la zona ácida (max. 15) y 2 kg m^{-2} zona neutra y básica.

Para los óxidos de Fe y las arcillas (bentonitas) se hicieron pruebas en parcelas experimentales y se añadió un suelo rico en óxidos de Fe y arcillas a 20.000 kg/ha.

Con la materia orgánica hubo problemas en su adquisición y sólo se añadió a una pequeña parte de la zona.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

3 Adición de bloqueantes:

carbonatos

óxidos de Fe

arcillas

materia orgánica



carbonatos: espumas de azucarera



óxidos Fe + arcillas: suelo rojo



materia orgánica: estiércol

Y estos fueron los agentes bloqueantes añadidos

Para los carbonatos: se hicieron pruebas en el laboratorio del poder encalante con carbonato de calcio puro, cenizas de celulosa, lodo de depuradora y espumas de azucarera.

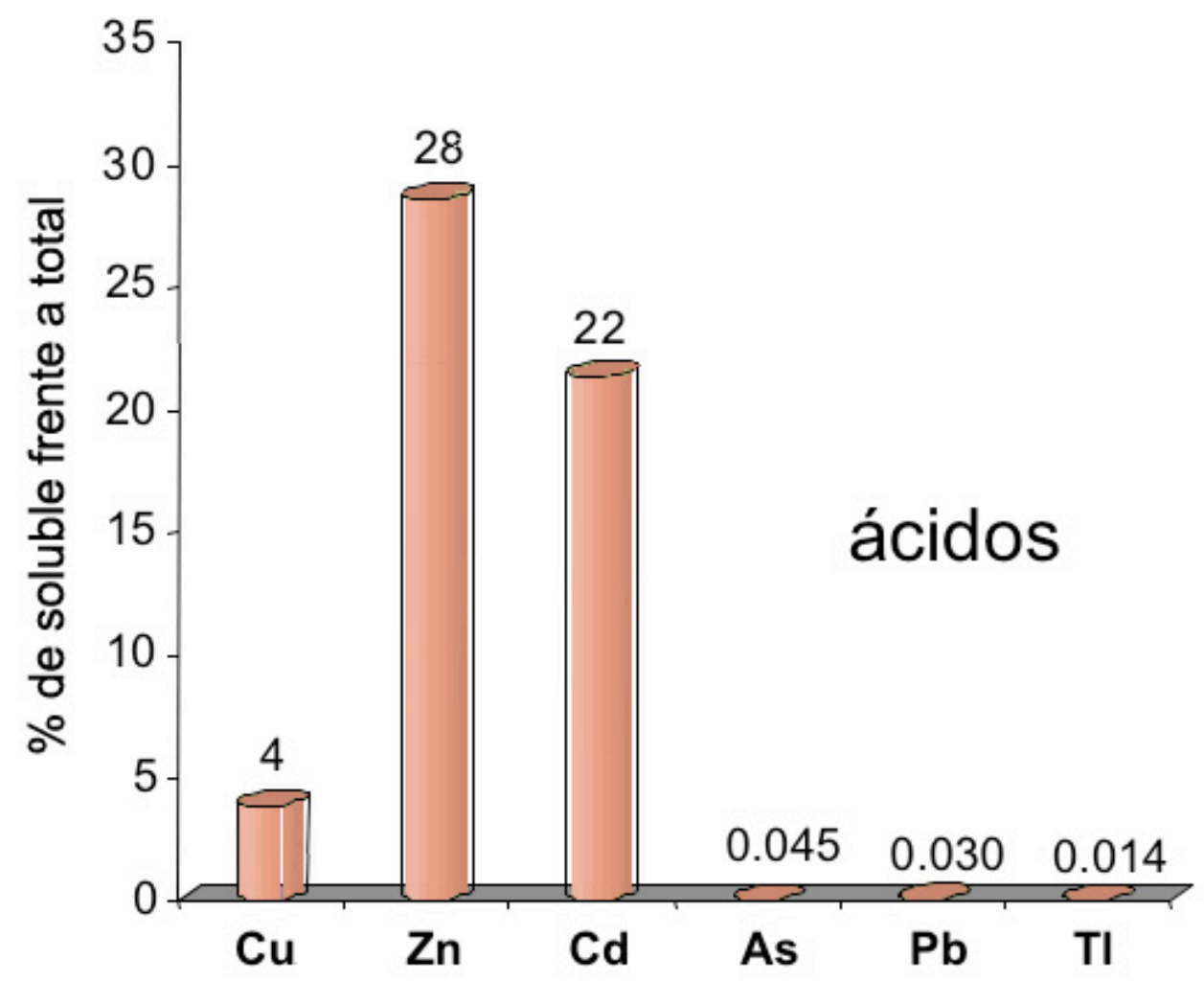
Se eligieron las espumas de azucarera por: High CaCO_3 content (40%), Very fine particle size (reactive), High OM content (15-20%), Cheap (industrial waste).

Para calcular la cantidad de a añadir de espumas de azucarera se hizo una valoración en el laboratorio del poder neutralizante de la acidez.

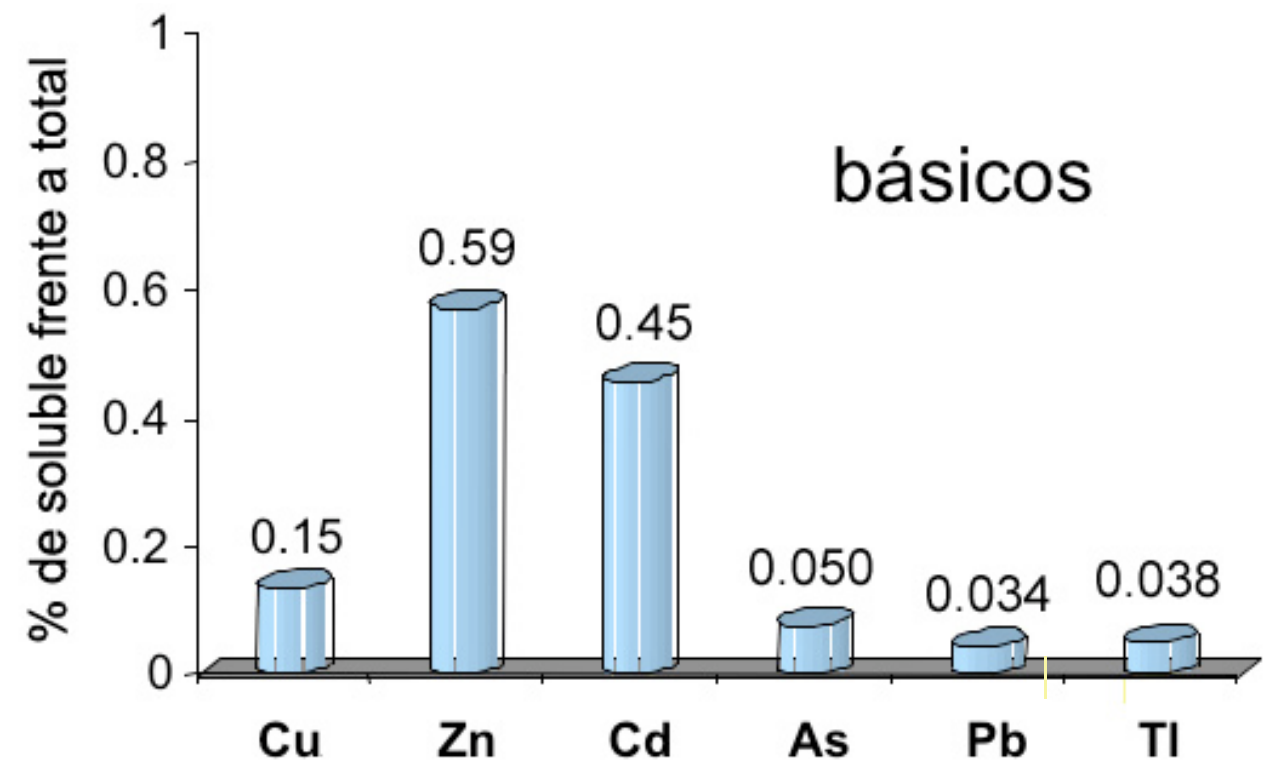
Finalmente se añadieron 4 kg m^{-2} (es decir, 40.000 kg/ha) en la zona ácida (max. 15) y 2 kg m^{-2} zona neutra y básica.

Para los óxidos de Fe y las arcillas (bentonitas) se hicieron pruebas en parcelas experimentales y se añadió un suelo rico en óxidos de Fe y arcillas a 20.000 kg/ha.

Con la materia orgánica hubo problemas en su adquisición y sólo se añadió a una pequeña parte de la zona.



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 (de hasta casi 50 veces) 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.

Medidas complementarias

Objetivos

A) Disminución de las concentraciones

B) Inmovilización de los contaminantes

Bien, aparte de eliminar e inmovilizar los contaminantes ¿Que más se podía hacer?.
Pues se pensó en que si no se podían extraer ni bloquear más contaminantes, al menos se podría intentar diluirlos.

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 más se podía hacer?.
Pues se pensó en que si no se podían extraer ni bloquear más contaminantes, al menos se podría intentar diluirlos.



Medias, totales, mg/kg

prof. cm	As	Zn	Pb	Cu	Cd	Tl
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

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

Como en el horizonte superficial era donde se producían las máximas concentraciones se podría mezclar este con el horizonte subsuperficial que estaba menos contaminado. Eran los mismos contaminantes pero mejor repartidos.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

3 Adición de bloqueantes:

carbonatos, óxidos de Fe, arcillas, estiércol.

un simple arado profundo en toda la zona podría servir.

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

3 Adición de bloqueantes:

carbonatos, óxidos de Fe, arcillas, estiércol.

4 Arado profundo



un simple arado profundo en toda la zona podría servir.

Aznalcóllar, hoy.

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



El arado fue esencial en la zona ácida en la que los suelos había sufrido un fuerte encostramiento superficial, impidiendo por completo el desarrollo de las plantas.

Aznalcóllar, hoy.

1. El accidente
2. La contaminación
3. La remediación
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 remediación
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

La últimas medidas buscaron un freno a la escorrentía y a la erosión, en definitiva había que estabilizar la nueva superficie del terreno.

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, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

3 Adición de bloqueantes:

carbonatos, óxidos de Fe, arcillas, estiércol.

4 Arado profundo

Medidas complementarias

Actuaciones, 1999/2000

1 Revisar la limpieza

2 Fitorremediación ¿?

3 Adición de bloqueantes
carbonatos, óxidos

4 Arado profundo

5 **Revegetación**



para ello se procedió a una intensa campaña de revegetación

Aznalcóllar, hoy.

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



se sembraron gramíneas y otras especies autóctonas. Y numerosas especies arbóreas ...

Aznalcóllar, hoy.

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



en muchísimos casos los arboles plantados fracasaron,

Aznalcóllar, hoy.

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



pero en otros muchos casos si se desarrollaron ... como es el caso de los ...
(pino piñonero)

Aznalcóllar, hoy.

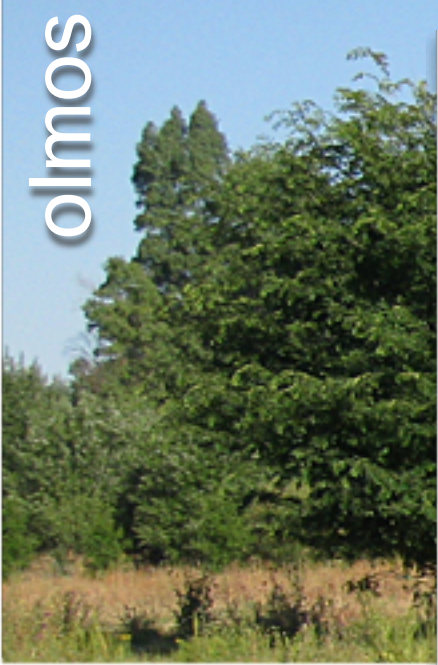
1. El accidente 2. La contaminación 3. La remediación 4. La no intervención 5. El futuro



pero en otros muchos casos si se desarrollaron ... como es el caso de los ...
(pino piñonero)

Aznalcóllar, hoy.

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



pero en otros muchos casos si se desarrollaron ... como es el caso de los ...
(pino piñonero)

Aznalcóllar, hoy.

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

eucaiptos



olmos



acebuches



lentiscos



pero en otros muchos casos si se desarrollaron ... como es el caso de los ...
(pino piñonero)

Aznalcóllar, hoy.

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



algarrobos



eucaliptos



olmos



acebuches



lentiscos

pero en otros muchos casos si se desarrollaron ... como es el caso de los ...
(pino piñonero)

Aznalcóllar, hoy.

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

algarrobos



eucaliptos



pinos



olmos



acebuches



lentiscos



pero en otros muchos casos si se desarrollaron ... como es el caso de los ...
(pino piñonero)

Aznalcóllar, hoy.

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

algarrobos



pinos



sauces



eucaliptos



olmos



acebuches



lentiscos



pero en otros muchos casos si se desarrollaron ... como es el caso de los ...
(pino piñonero)

Aznalcóllar, hoy.

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

algarrobos



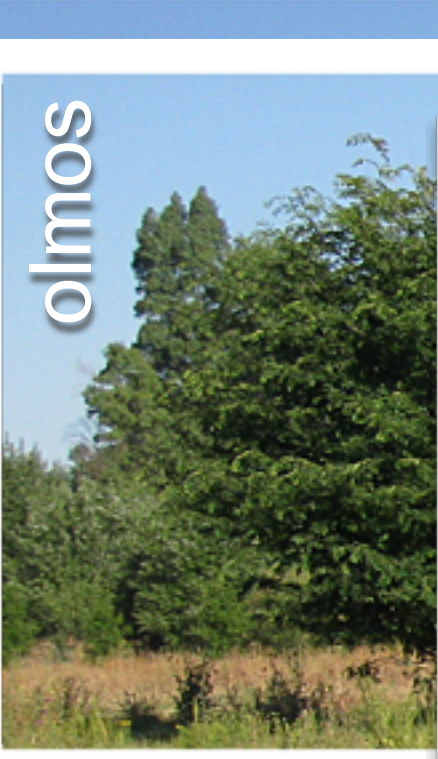
eucaliptos



pinos



olmos



saucos



acebuches



tamarix



lentiscos



pero en otros muchos casos si se desarrollaron ... como es el caso de los ...
(pino piñonero)

Aznalcóllar, hoy.

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



Para evitar que cualquier posible actividad agrícola en estos suelos pudiera repercutir desfavorablemente en la aceptación por los mercados de los productos agrícolas de la región, la zona del vertido se expropió, se cercó, se estableció lo que se llama el Corredor Verde del Guadiamar, corredor entre las marismas y Sierra Morena y se prohibió cualquier uso, no sólo agrícola sino

Aznalcóllar, hoy.

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



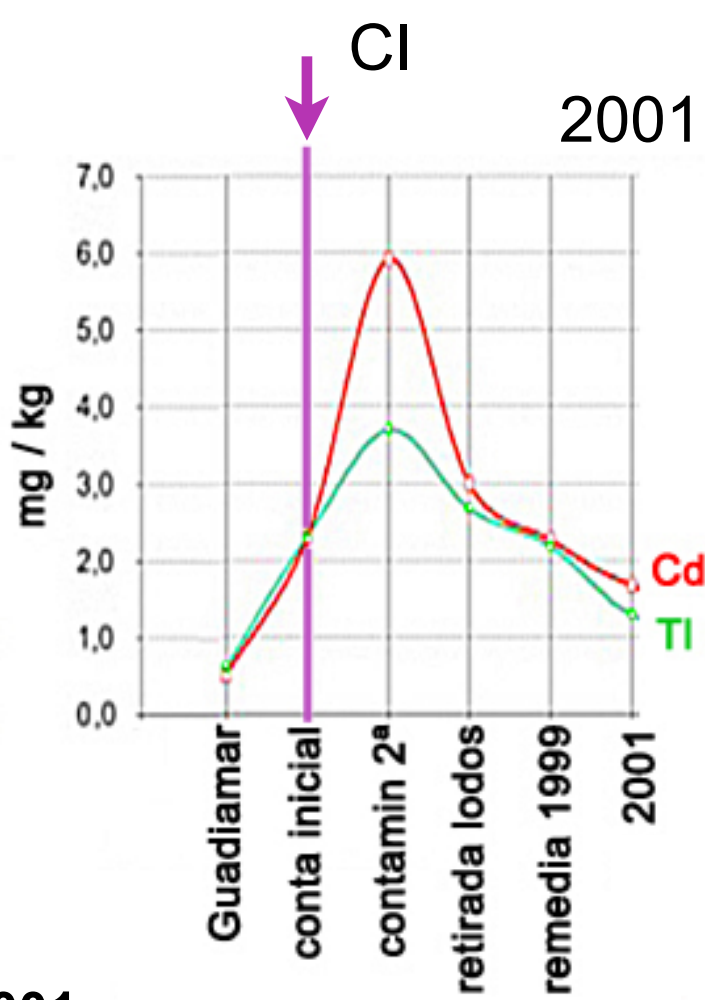
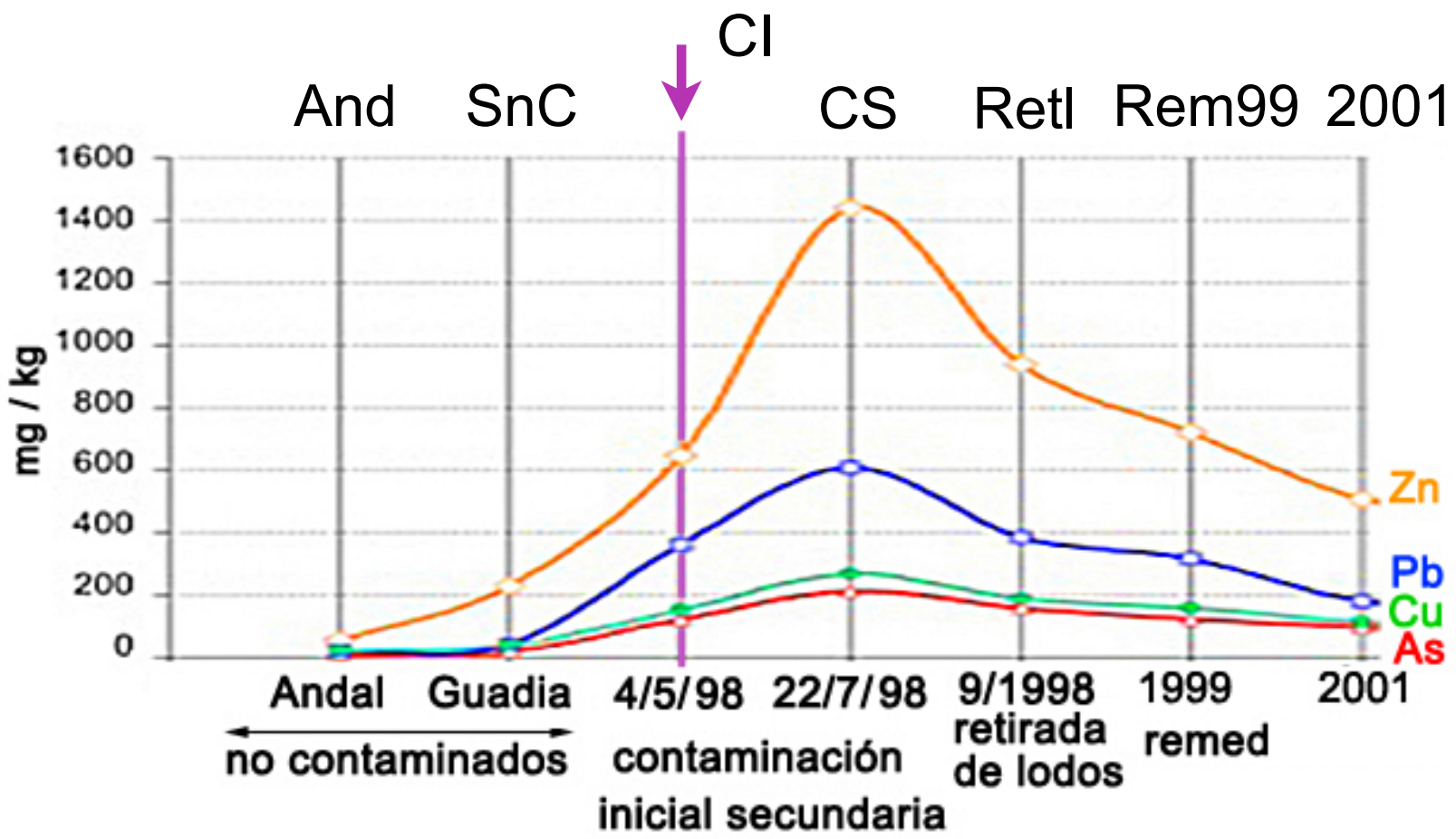
también se prohibió la pesca y el pastoreo ...

Aznalcóllar, hoy.

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



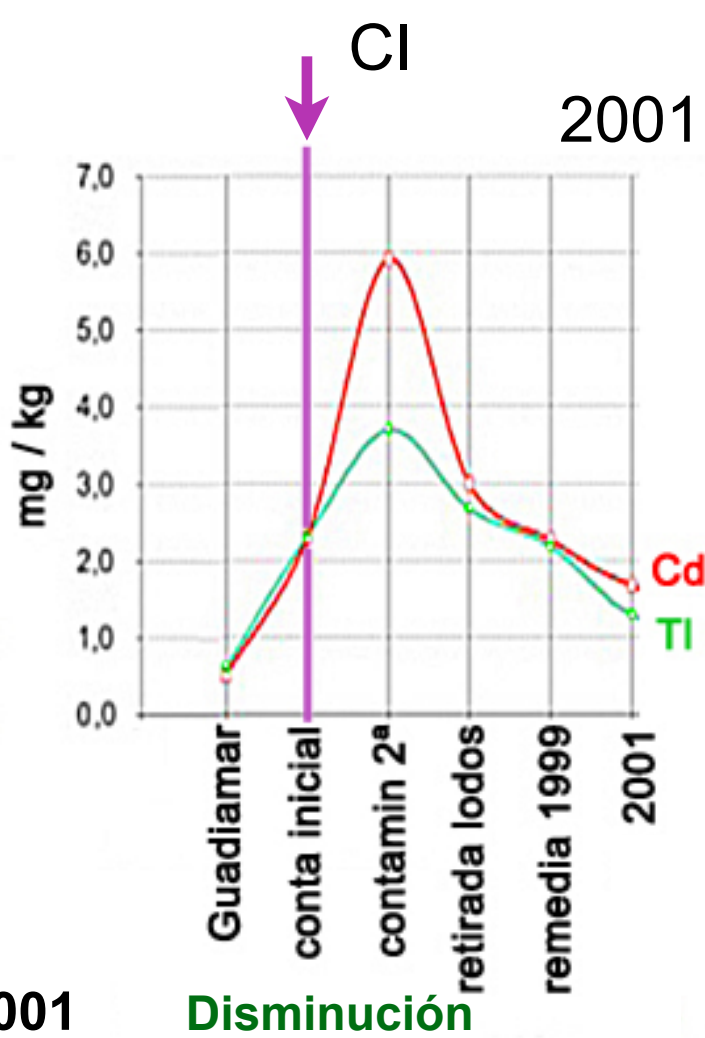
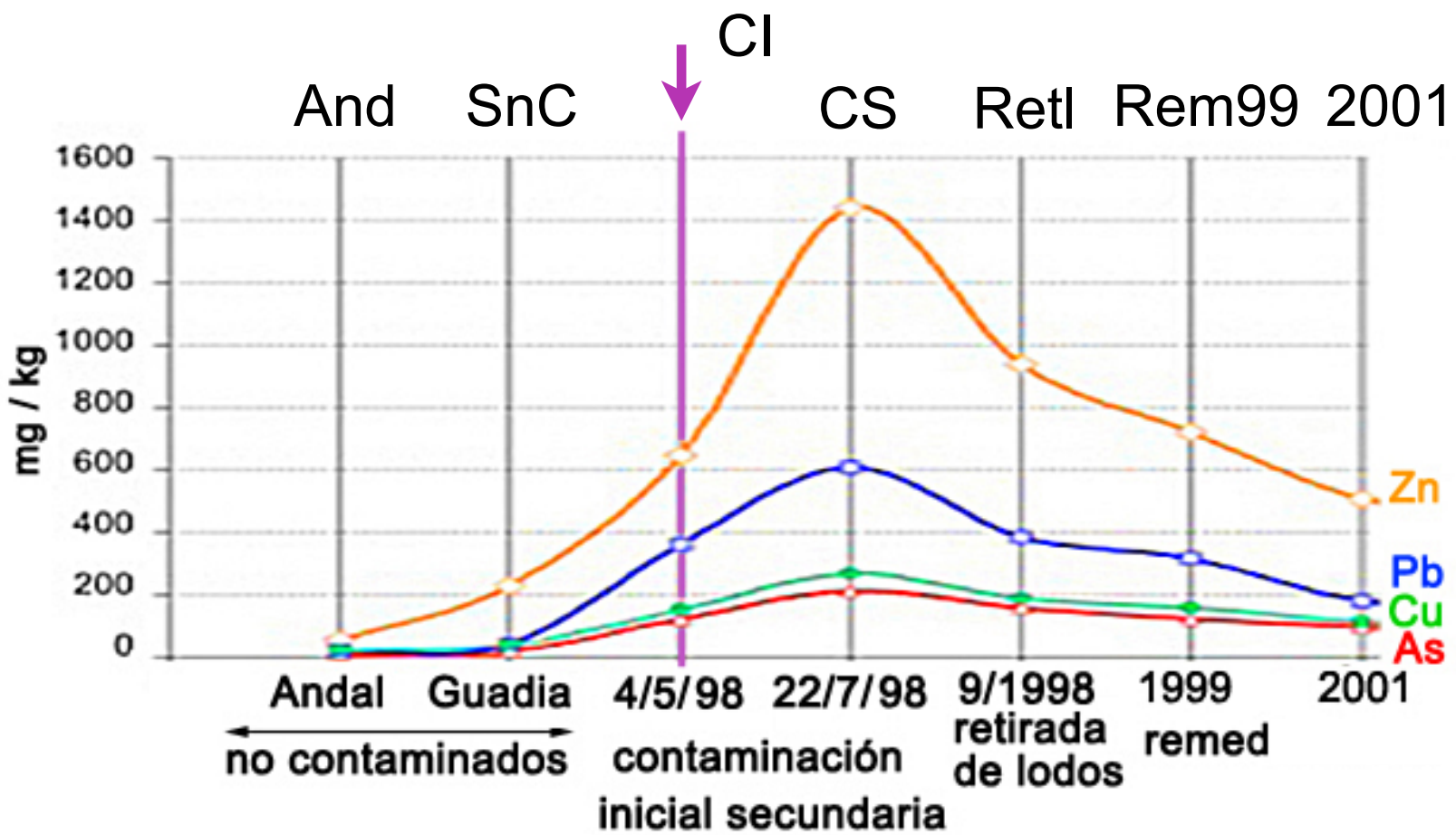
aunque luego cada aquí, en este país nuestro, cada uno interpreta las normas a su manera.



	And	SnC	CI	CS	RetL	Rem99	2001
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, As y metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

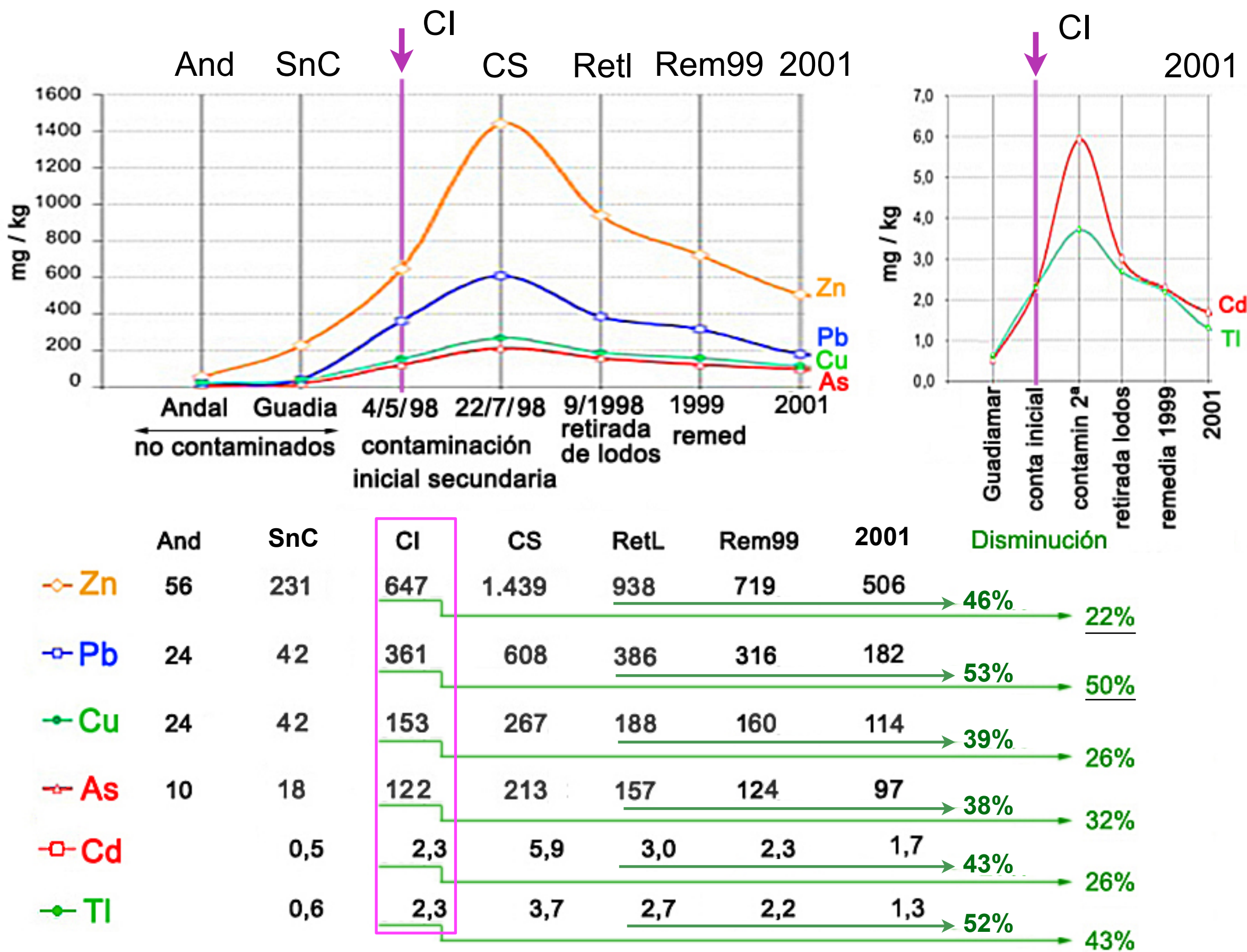
Las medidas de remediación terminaron prácticamente en el año 2000. Al año siguiente las muestras analizadas de los suelos mostraban claros decrecimientos



	And	SnC	CI	CS	RetL	Rem99	2001	
Zn	56	231	647	1.439	938	719	506	→ 46%
Pb	24	42	361	608	386	316	182	→ 53%
Cu	24	42	153	267	188	160	114	→ 39%
As	10	18	122	213	157	124	97	→ 38%
Cd		0,5	2,3	5,9	3,0	2,3	1,7	→ 43%
Tl		0,6	2,3	3,7	2,7	2,2	1,3	→ 52%

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

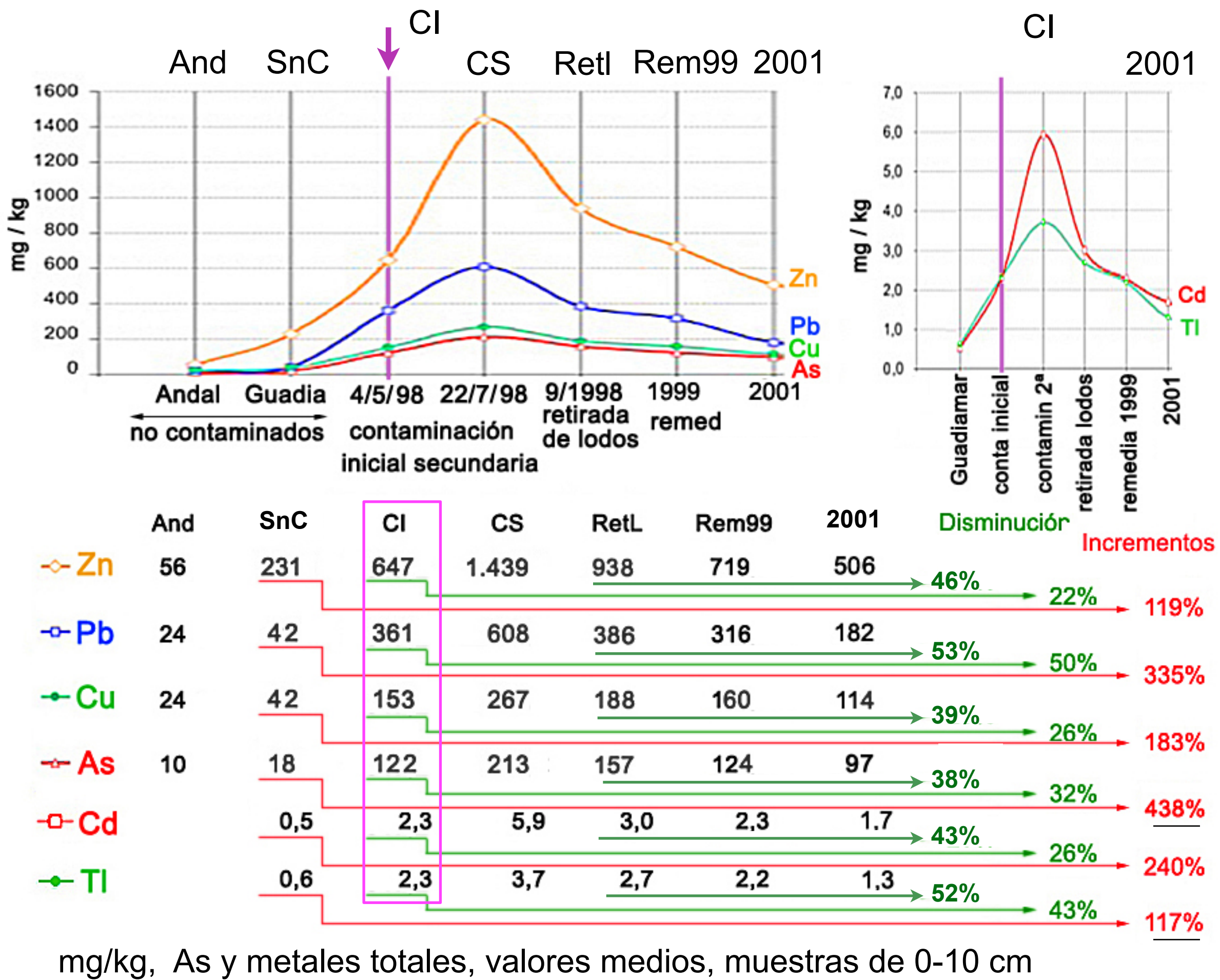
Las medidas de remediación terminaron prácticamente en el año 2000. Al año siguiente las muestras analizadas de los suelos mostraban claros decrecimientos



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

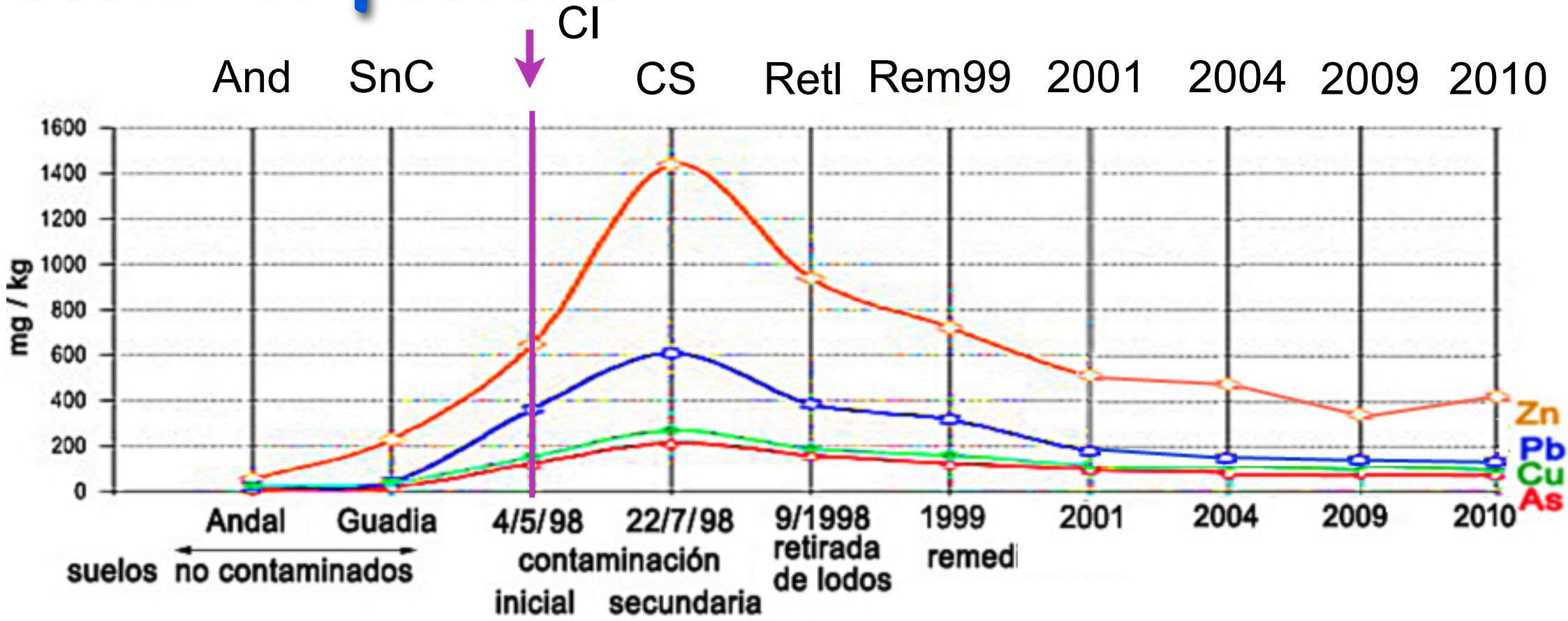
y ya las concentraciones de todos los contaminantes eran más bajas que las que se produjeron en el primer momento del vertido, se había rebajado del orden del 20 al 50%,

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



pero todavía las concentraciones eran mas altas que las que presentaban los suelos antes del vertido (con incrementos muy importantes para el As del 438%)

Evolución posterior

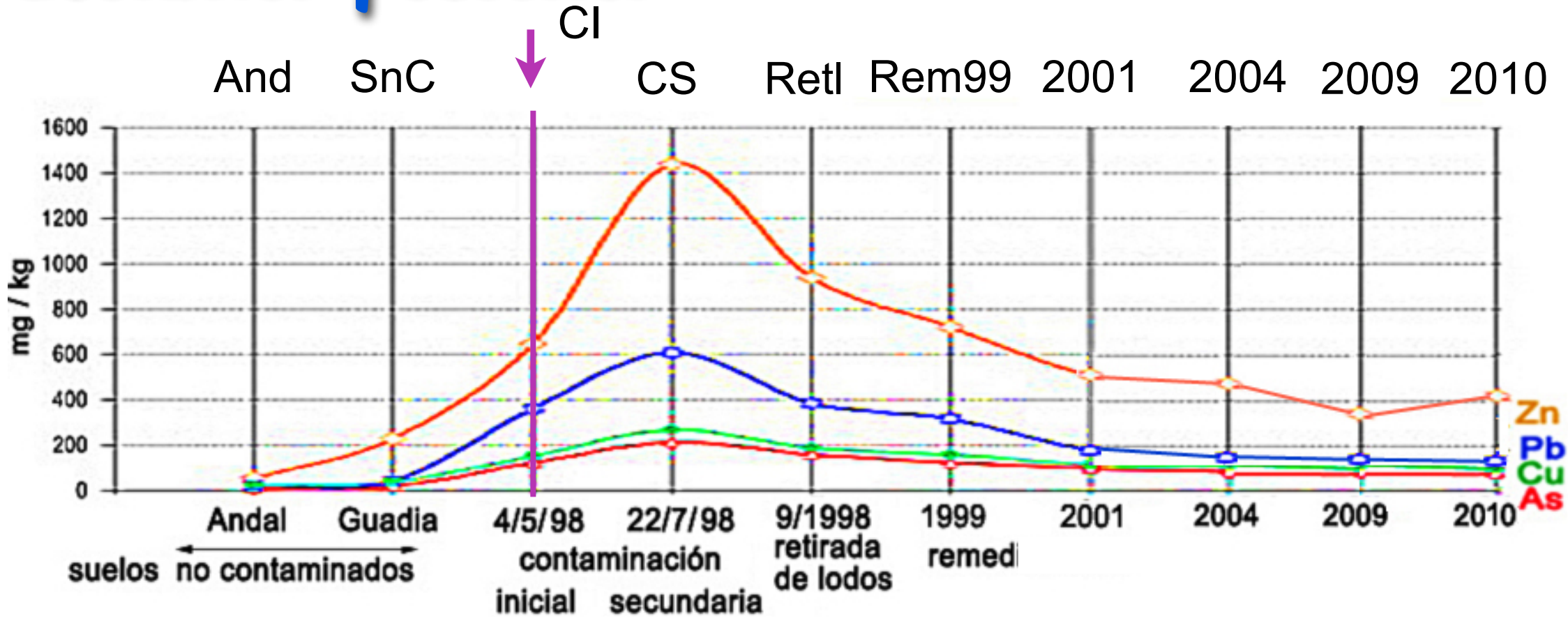


	And	SnC	CI	CS	RetL	Rem99	2001	2004	2009	2010	Disminución
Zn	56	231	647	1439	938	719	506	462	332	418	17%
Pb	24	42	361	608	386	316	182	169	154	152	16%
Cu	24	41	153	267	188	160	114	109	96	104	9%
As	10	18	122	213	157	124	97	83	72	77	21%

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

A partir del 2001 ya no se llevó a cabo ninguna labor de remediación importante, pero en nuestro seguimiento de los años 2004, 2009 y 2010 las concentraciones han seguido disminuyendo del orden de un 10 a un 20% con respecto a las últimas medidas de remediación y

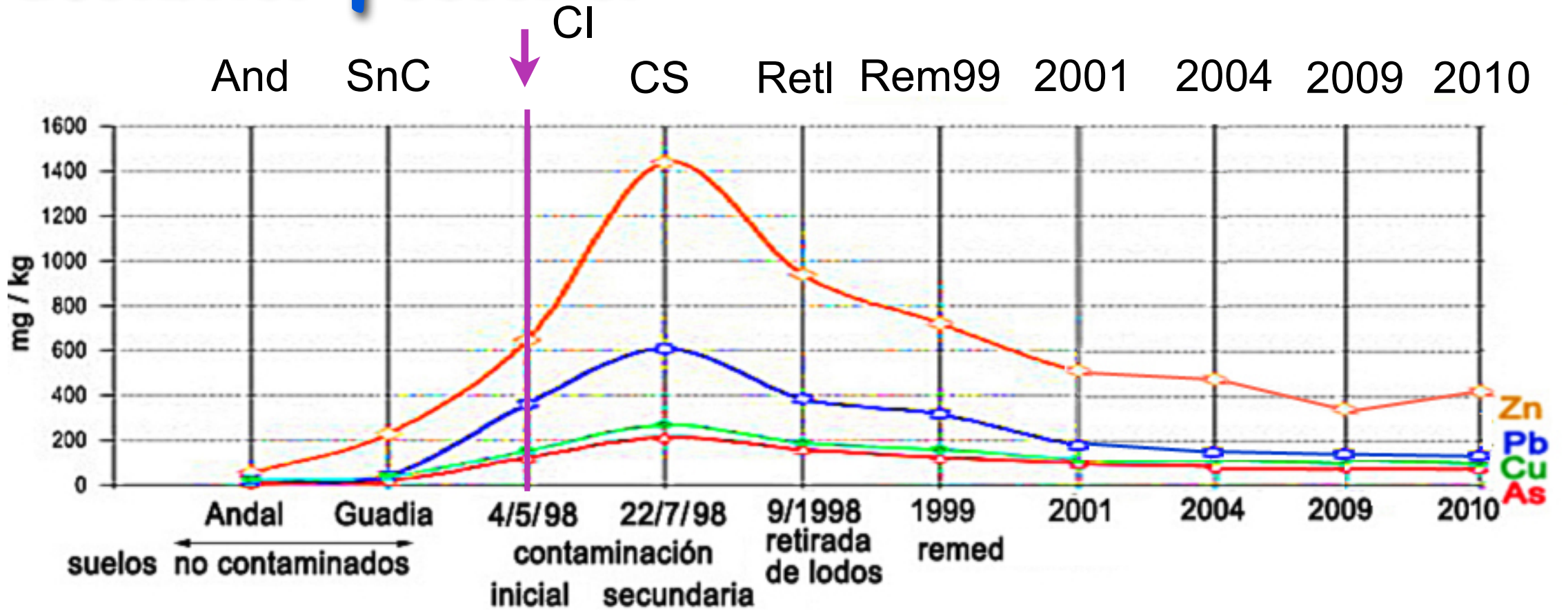
Evolución posterior



	And	SnC	CI	CS	RetL	Rem99	2001	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, As y metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

Evolución posterior

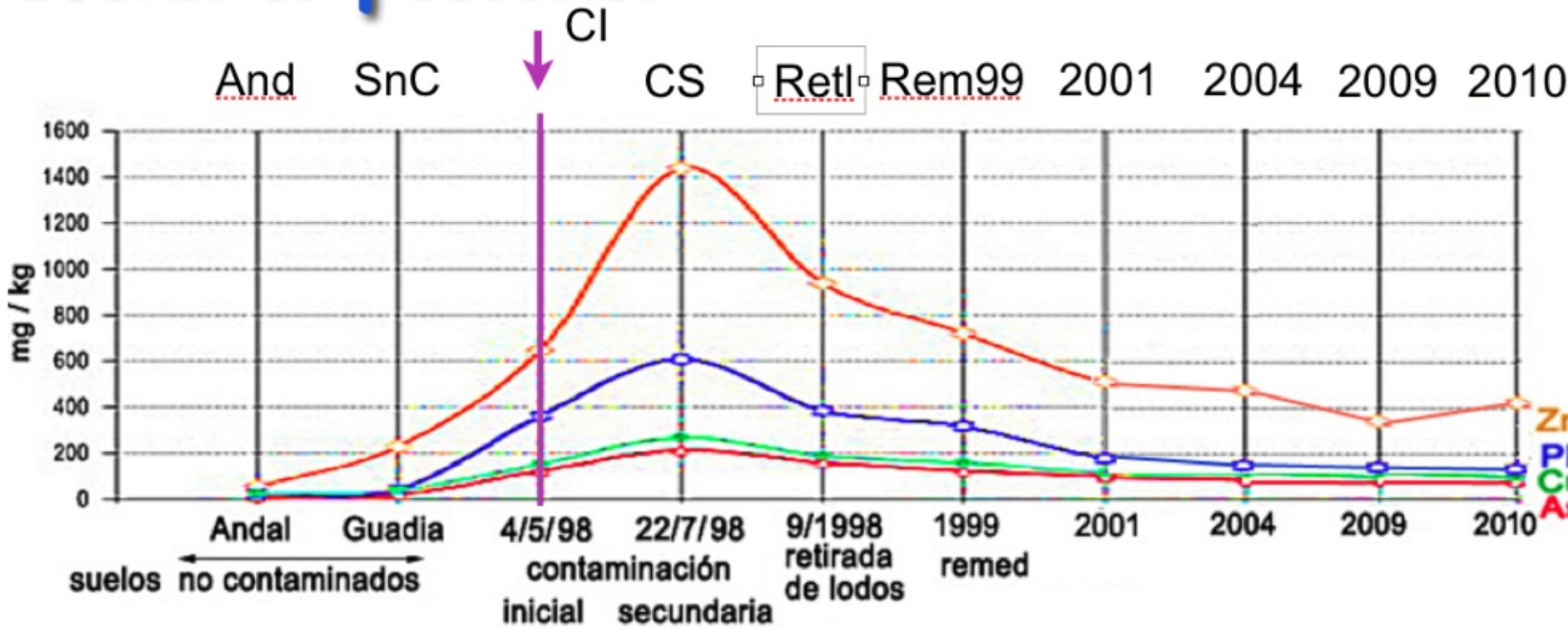


	And	SnC	CI	CS	RetL	Rem99	2001	2004	2009	2010	Disminución		Incremento	
Zn	56	231	647	1439	938	719	506	462	332	418	17%	35%	81%	
Pb	24	42	361	608	386	316	182	169	154	152	16%	58%	262%	
Cu	24	41	153	267	188	160	114	109	96	104	9%	32%	154%	
As	10	18	122	213	157	124	97	83	72	77	21%	37%	328%	

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

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

Evolución posterior

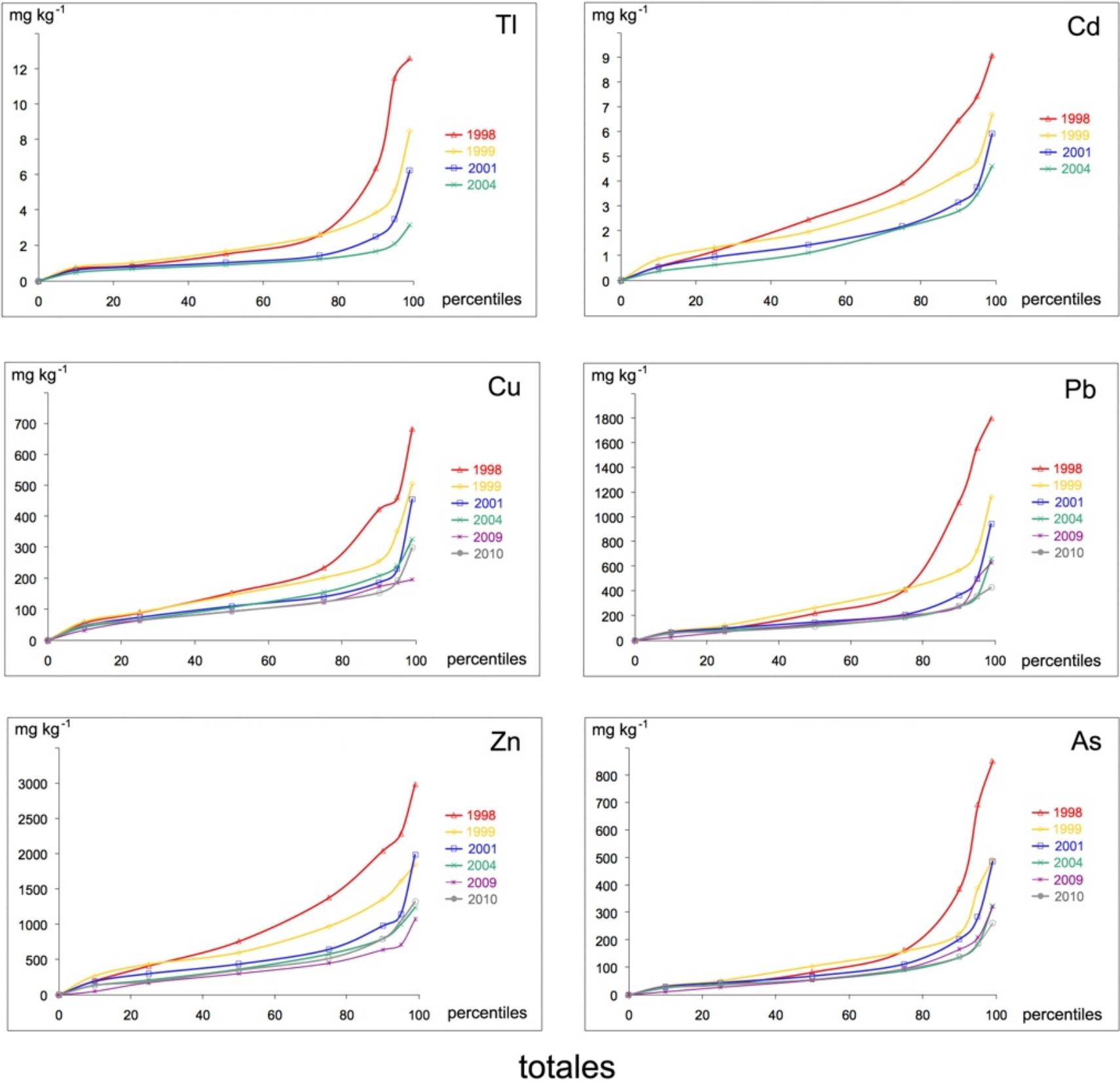


	And	SnC	CI	CS	RetL	Rem99	2001	2004	2009	2010	Nivel de intervención parques	
Zn	56	231	647	1439	938	719	506	462	332	418	1000	Incremento
Pb	24	42	361	608	386	316	182	169	154	152	1000	81%
Cu	24	41	153	267	188	160	114	109	96	104	500	262%
As	10	18	122	213	157	124	97	83	72	77	100	154%
												328%

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

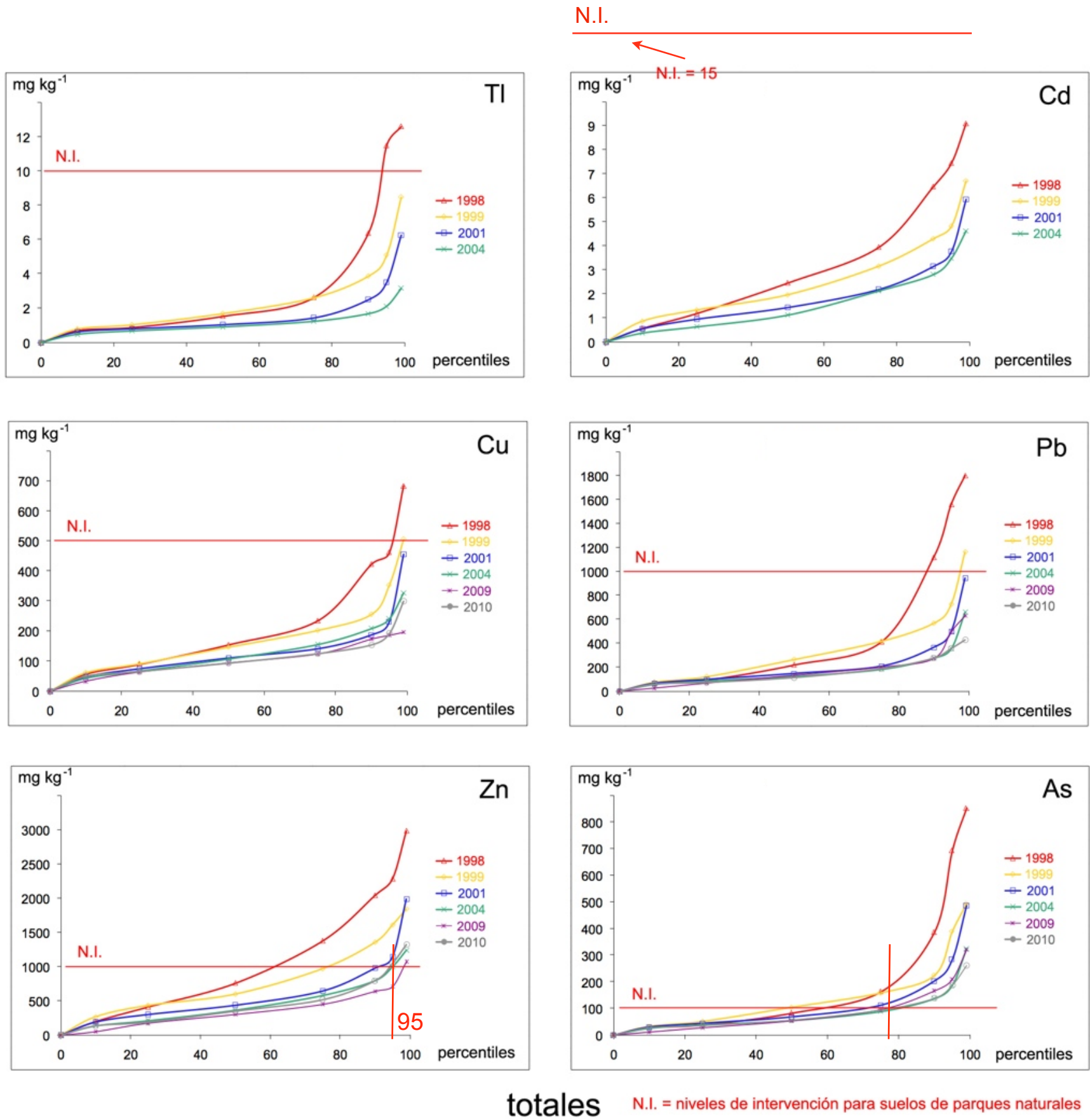
No obstante el valor medio de todos los contaminantes estaban por debajo de los niveles de intervención establecidos para parques.

Pero ¡jojo!, estamos hablando de valores medios, esto sólo representa el valor medio para los suelos. De hecho hasta este momento sólo hemos hablado de valores medios, pero es muy importante conocer el comportamiento de la toda la población de suelos, para conocer, por ejemplo cuantos suelos presentan concentraciones superiores al valor establecido para el nivel de intervención. Para ello podemos recurrir a los percentiles.



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

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

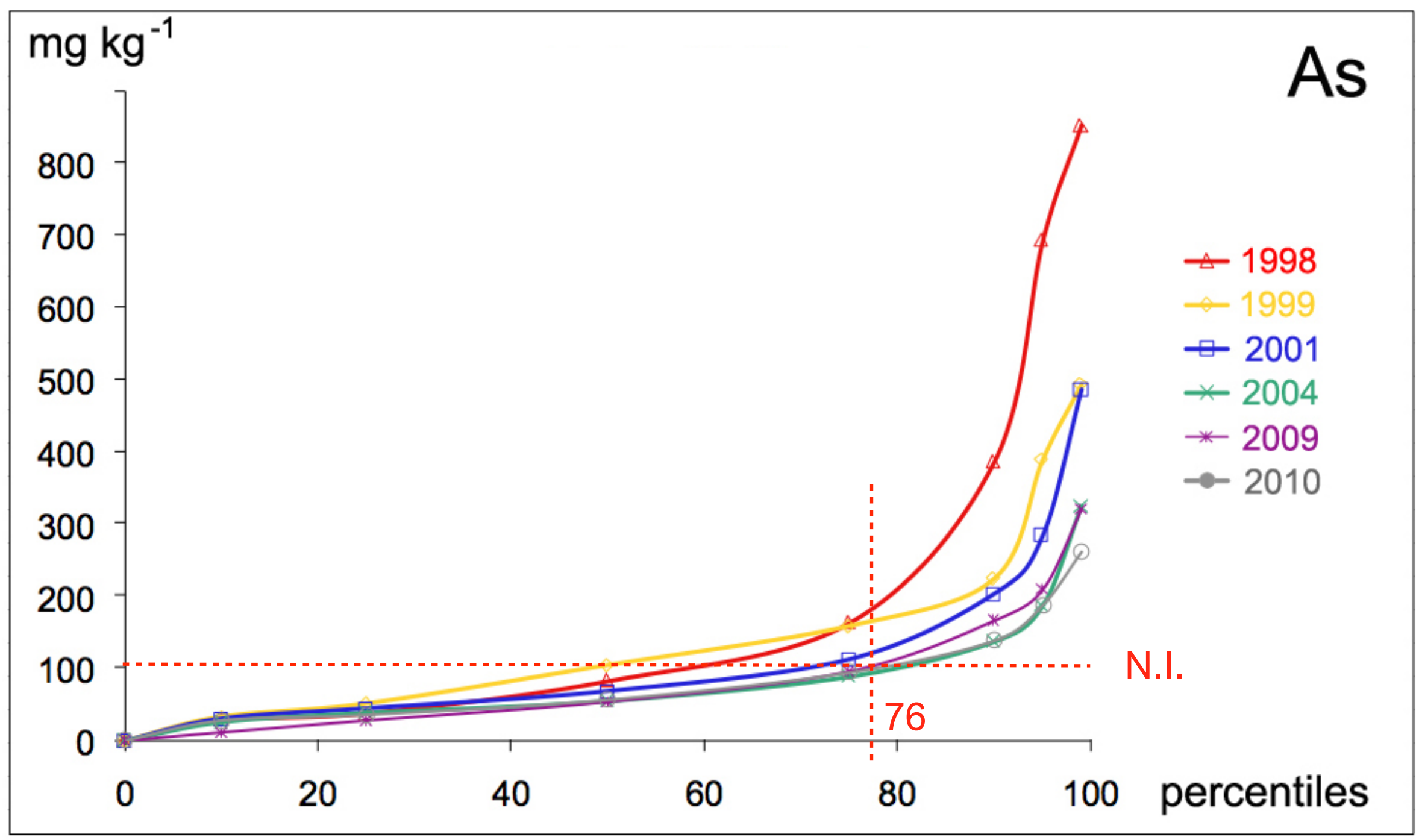


mg/kg, As y metales totales, valores medios, muestras de 0-10 cm

Si referimos estas concentraciones a las de los niveles de intervención de los suelos de parques naturales, destacamos como para el Cd, Tl, Cu y Pb a partir del 2004 el 100% de los suelos está por debajo de este N.I.; 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 considerase como potencialmente contaminado; y sólo para el As encontramos una situación delicada.

Aznalcóllar, hoy.

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

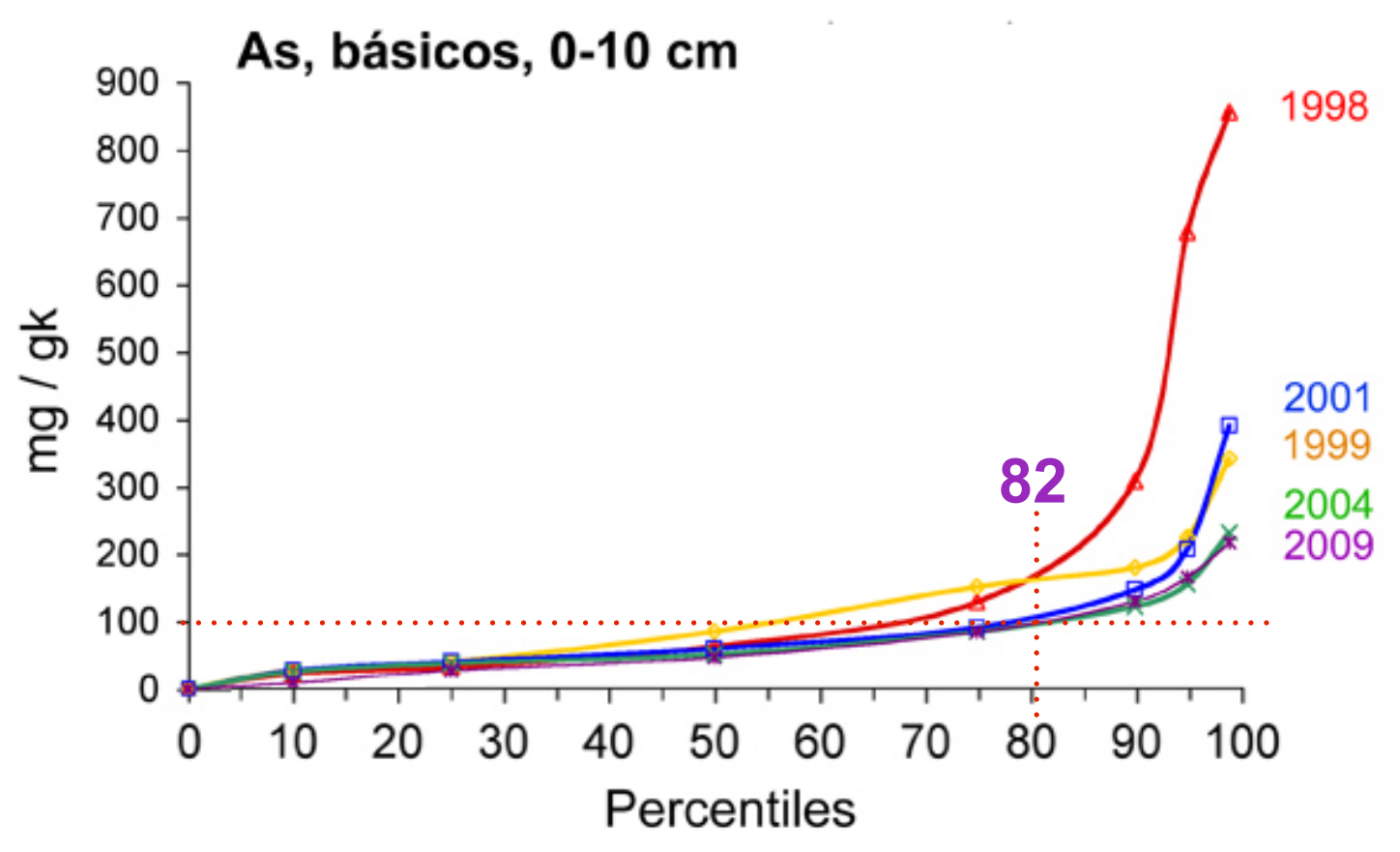
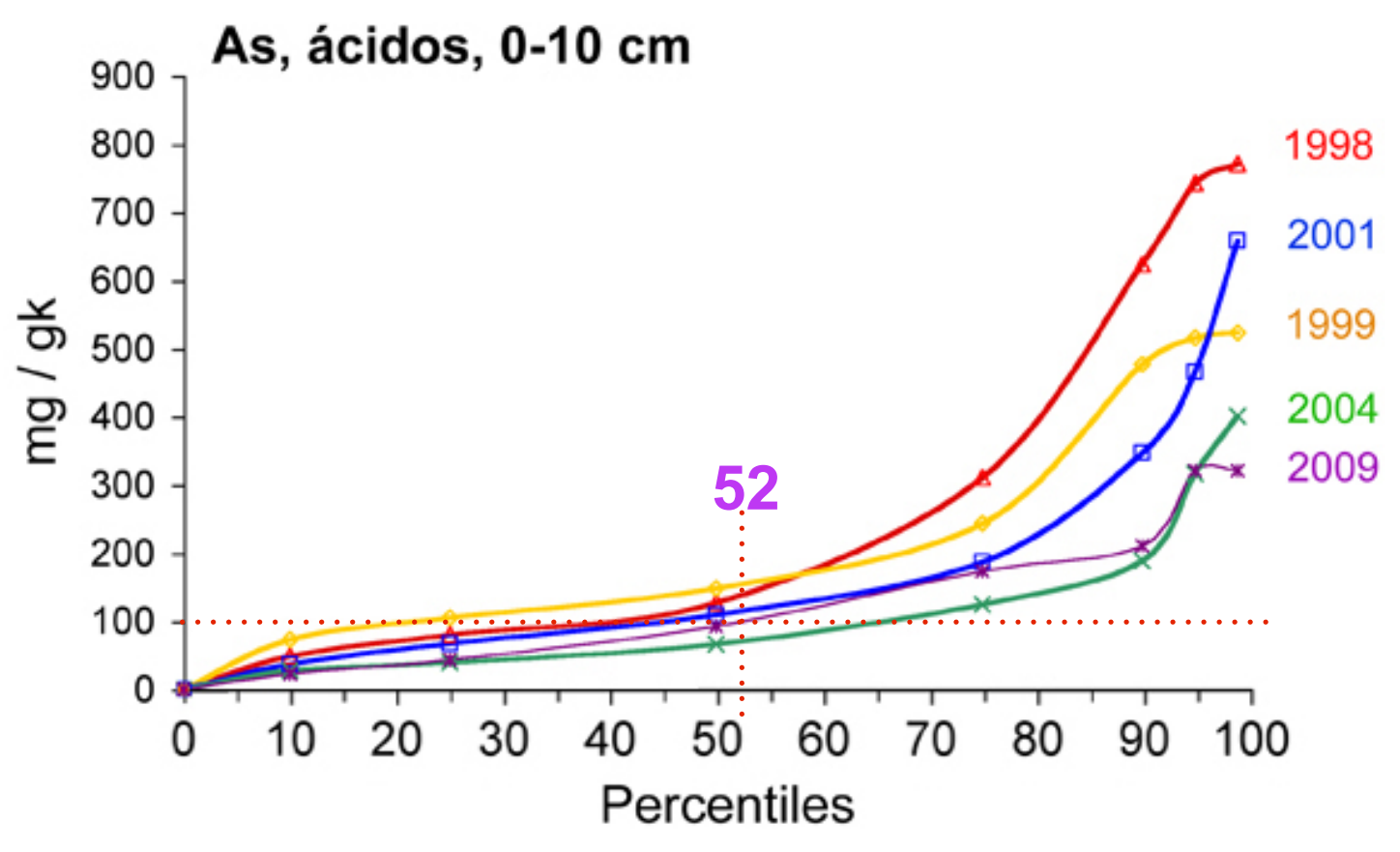


N.I. = niveles de intervención suelos de parques
valores medios, muestras de 0-10 cm

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 remediación
- 4. La no intervención
- 5. El futuro



Mucho mas preocupante la zona ácida, con casi la mitad de suelos superando el N.I., mientras que en la zona básica de suelos con carbonatos, los suelos potencialmente contaminados a niveles tóxicos no superan el 20% (exactamente el 18%).

totales

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%

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 5% 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 argucia. Y es los valores de los niveles de intervención que se usa en cada situación. Efectivamente 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.

Podemos pues afirmar rotundamente que las medidas de remediación llevadas a cabo deben ser valoradas muy positivamente, aunque en honor a la verdad a quedado con cierta contaminación.

totales

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%

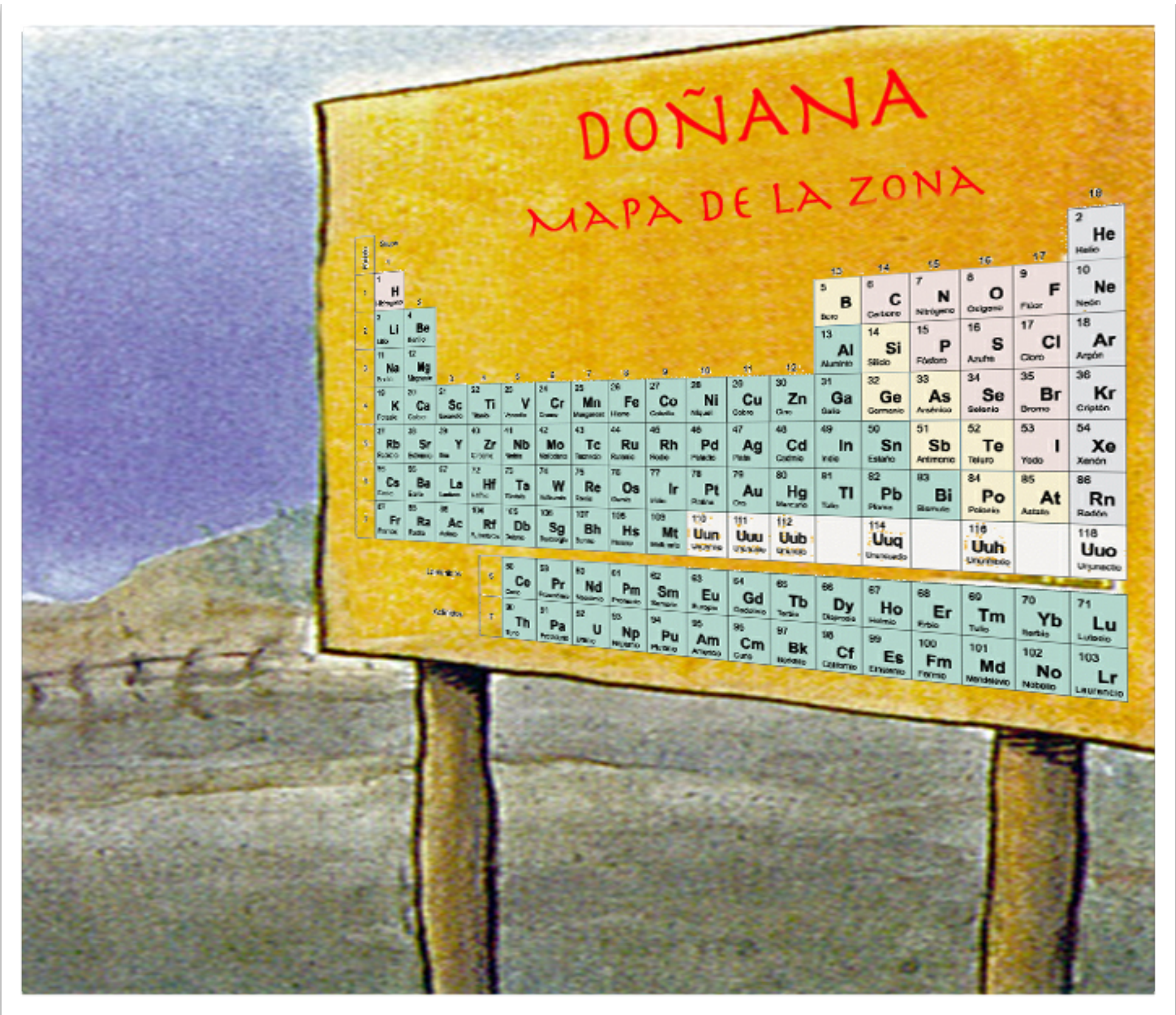
Si comparamos la situación actual con la que se presentaba en el año del vertido vemos que la situación ha mejorado sensiblemente. En aquel año superaban los N.I. el 7% de los suelos para el Cd, el 8% para Cu, 11% para Tl, y 26% para el Pb mientras que en 2009 no se supera en ningún caso para ninguno de estos metales. El Zn ha pasado de superarse el 42% en 1998 a sólo el 5% 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 argucia. Y es los valores de los niveles de intervención que se usa en cada situación. Efectivamente 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.

Podemos pues afirmar rotundamente que las medidas de remediación llevadas a cabo deben ser valoradas muy positivamente, aunque en honor a la verdad a quedado con cierta contaminación.

Aznalcóllar, hoy.

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



Bien queda contaminación pero 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 inmune, es decir, que tienen riesgo de padecer enfermedades infecciosas y tumores. Muchos tienen lesiones en riñones –glomerulonefritis crónicas– aunque en algunos grados», asegura Laura, patóloga veterinaria del equipo investigador. El elevado número de ejemplares diseccionados para el estudio –17– los convierte 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»

I. ÁLVAREZ

El director de la Estación Biológica de Doñana nació en las tierras secas de Almería, pero el grazido de los ánades 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.

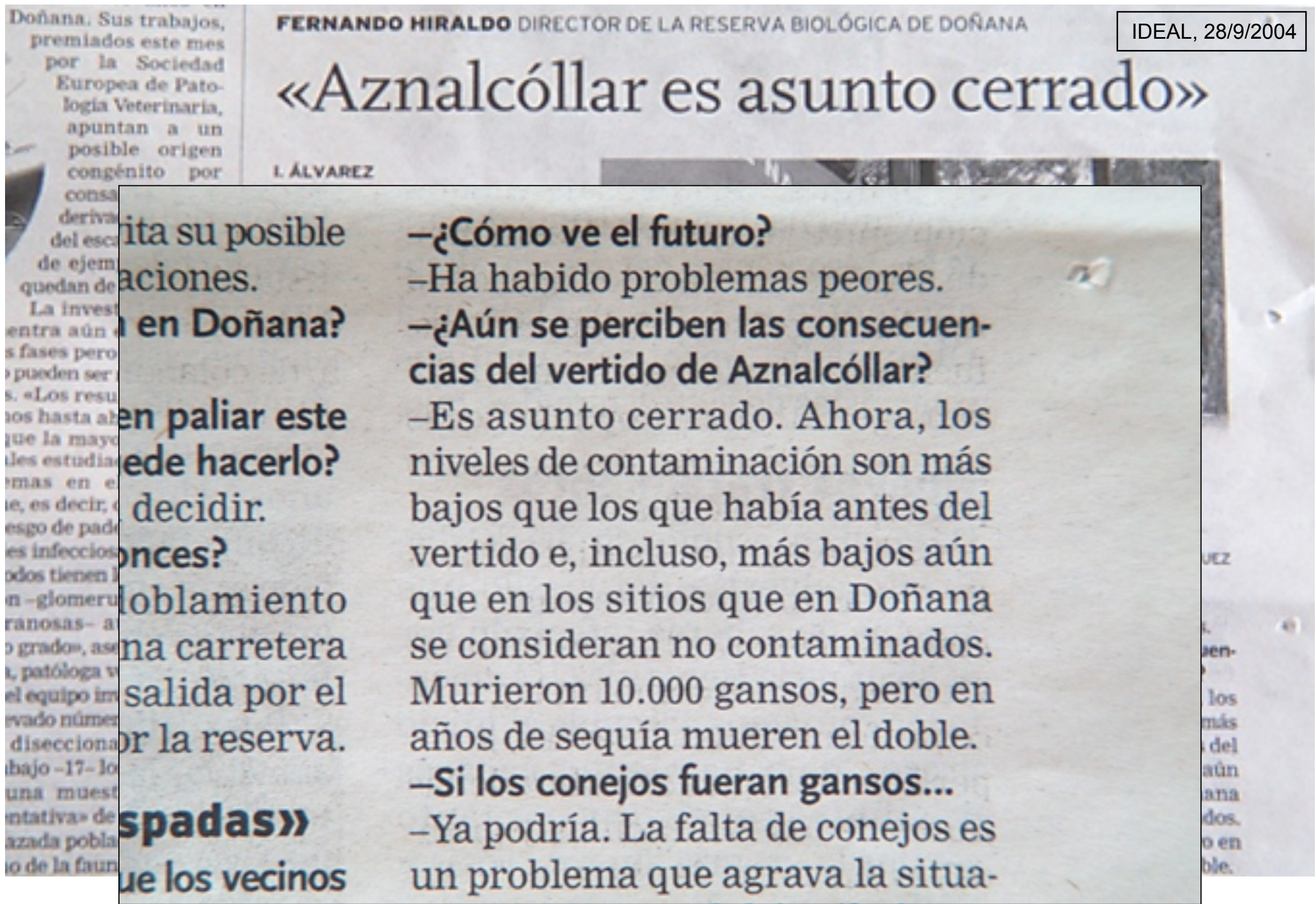
—¿Aún se perciben las consecuencias del vertido de Aznalcóllar?

—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 todavía podemos precisar más. 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?.

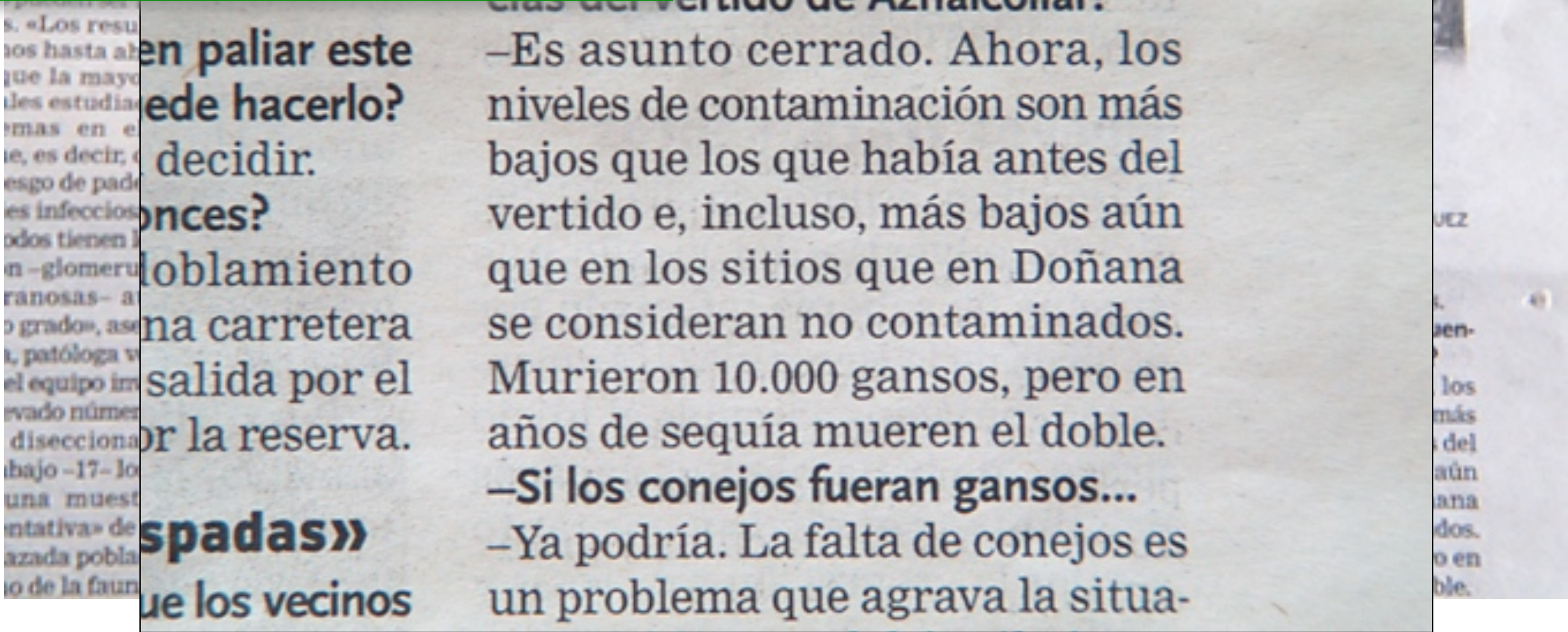


Pero tampoco la situación era tan optimista como la veían otros como ...

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 todavía podemos precisar más. 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%

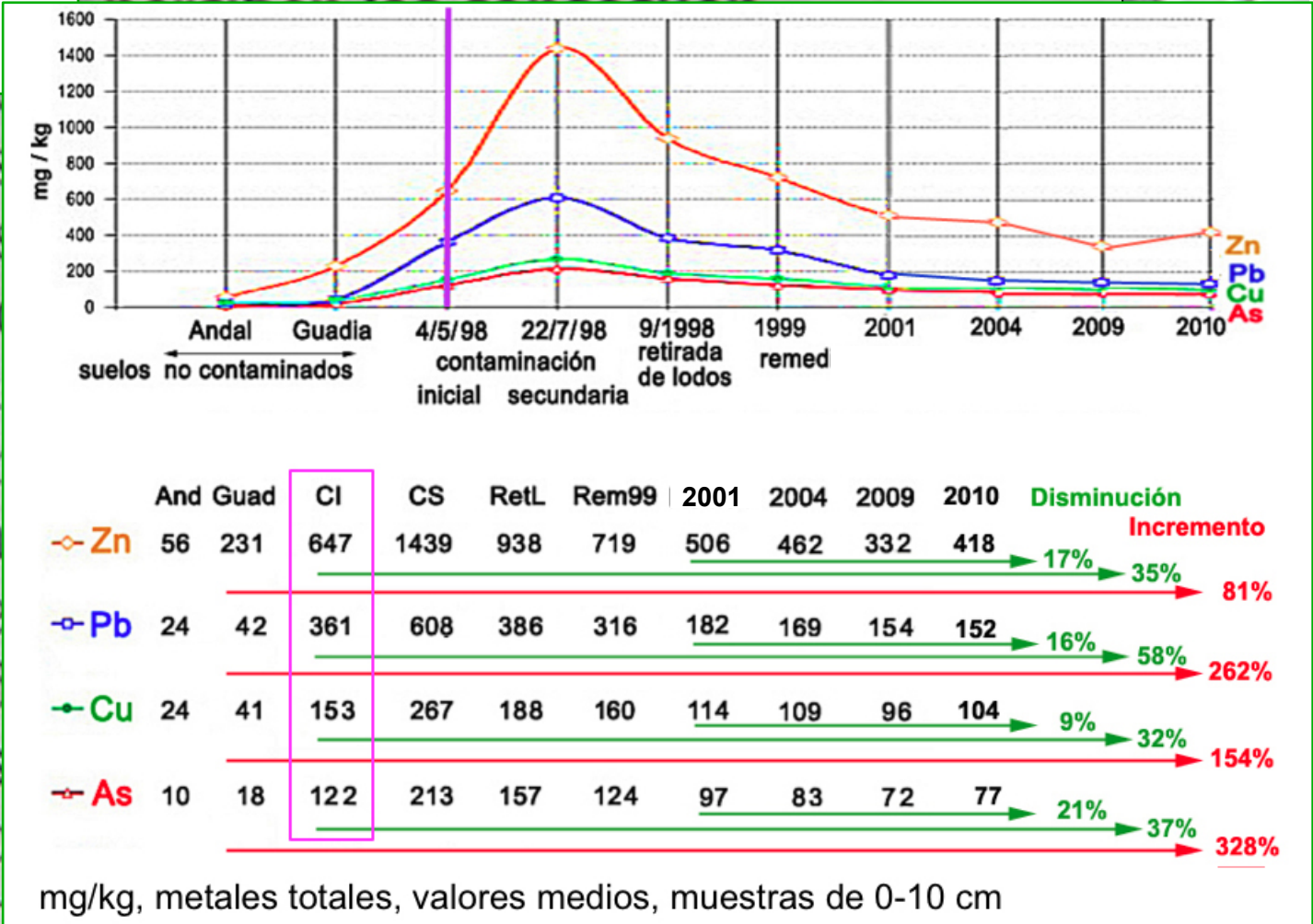
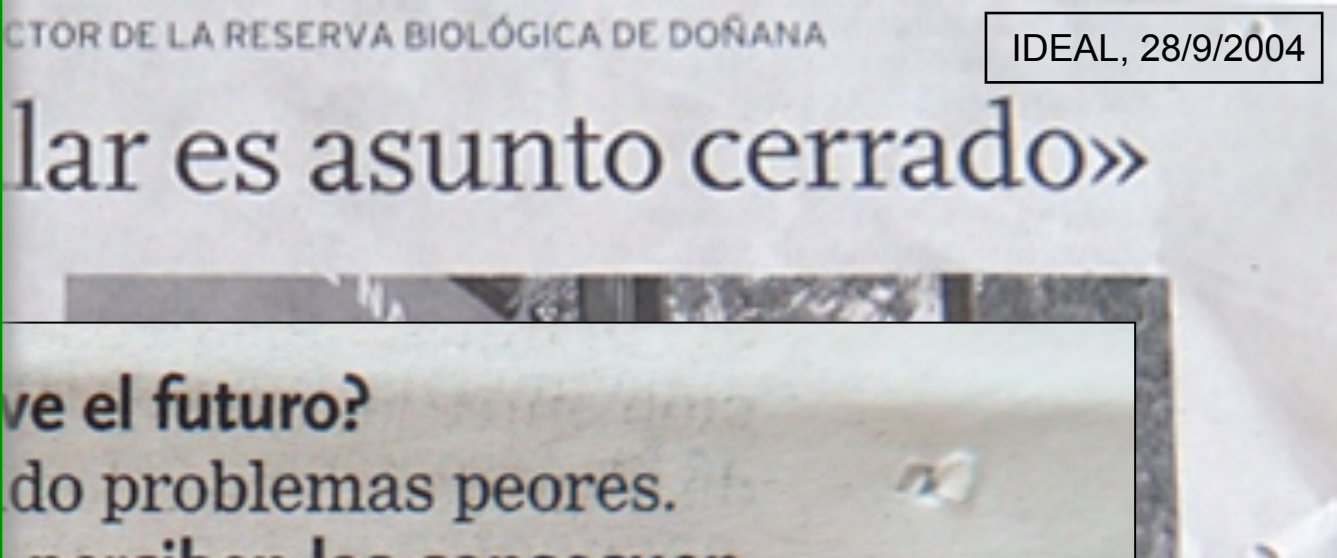
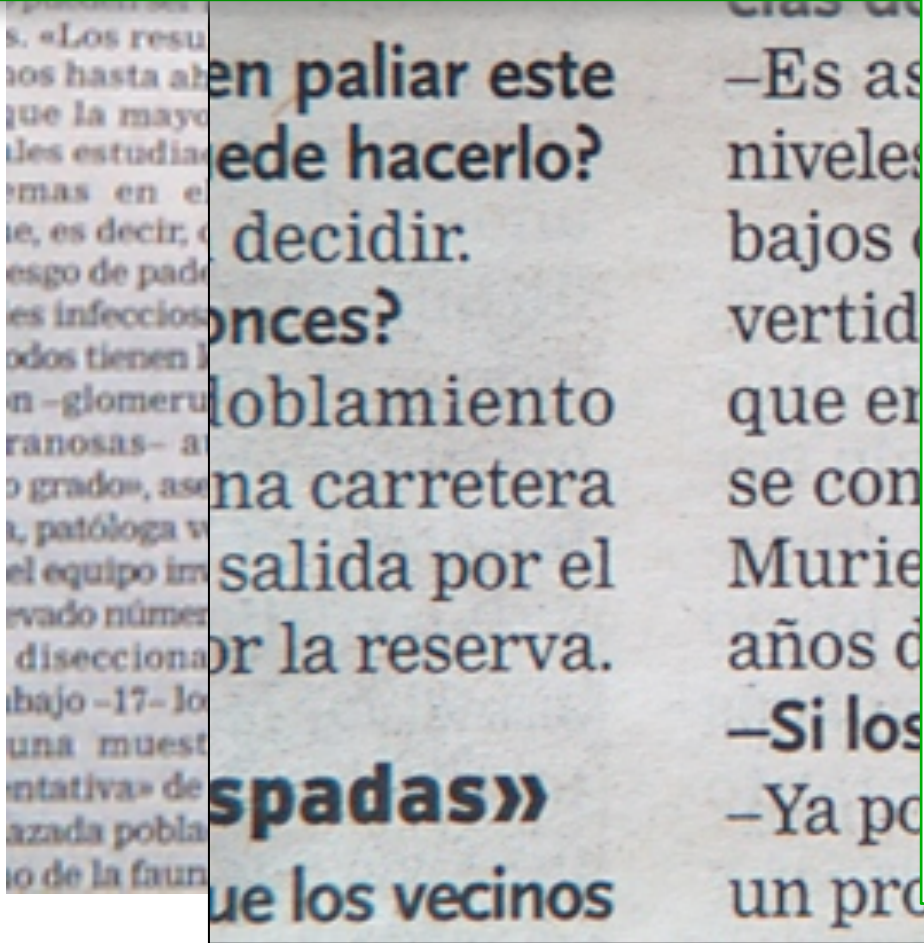


Pero tampoco la situación era tan optimista como la veían otros como ...

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 todavía podemos precisar más. 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?.

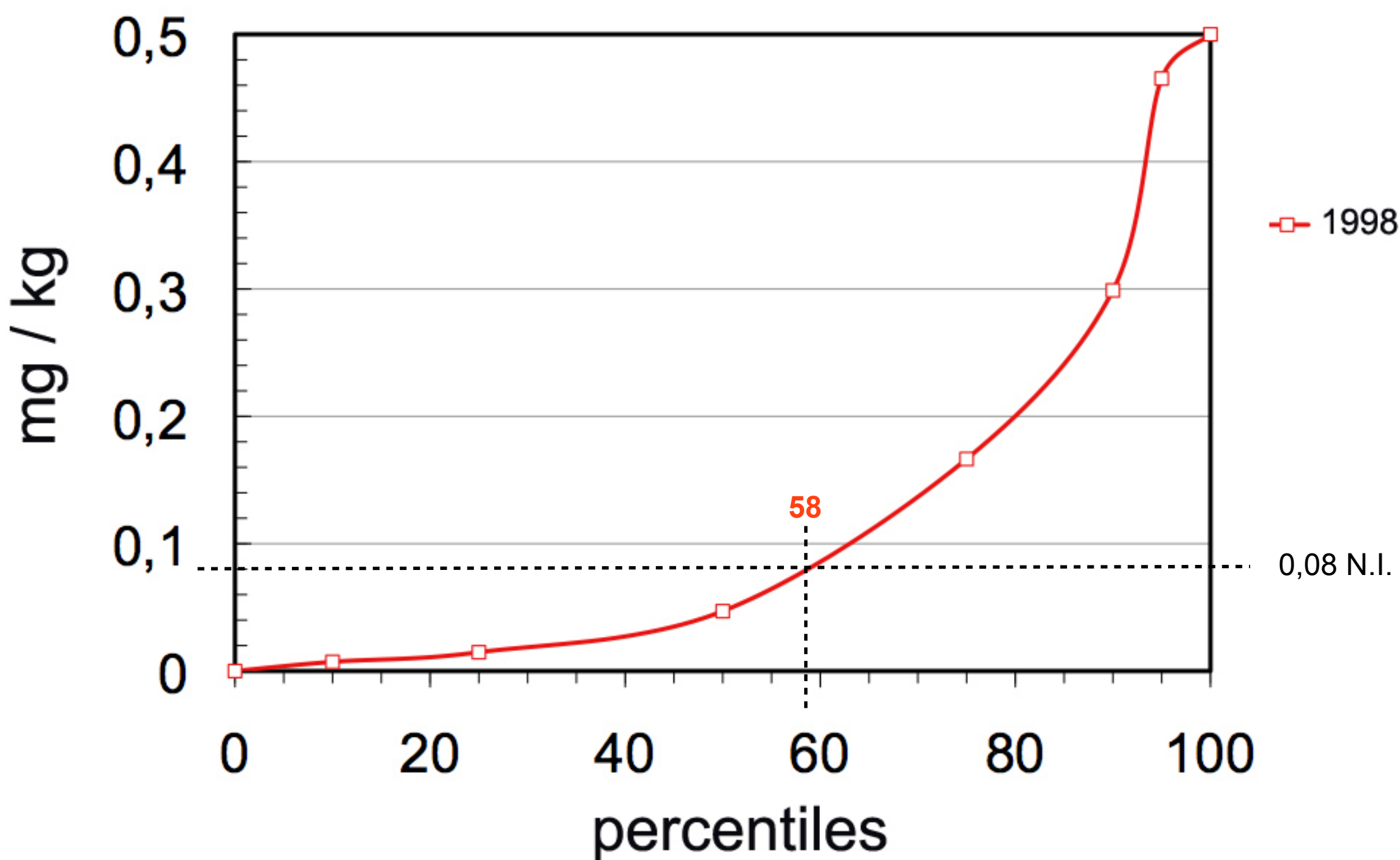
Uso del suelo: Parques nacionales		
2010	nivel interv. mg kg ⁻¹	suelos potencialmente contaminados
Cd	15	0%
Cu	500	0%
Tl	10	0%
Pb	1000	0%
Zn	1000	5%
As	100	24%



As soluble, 0-10 cm

Aznalcóllar, hoy.

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

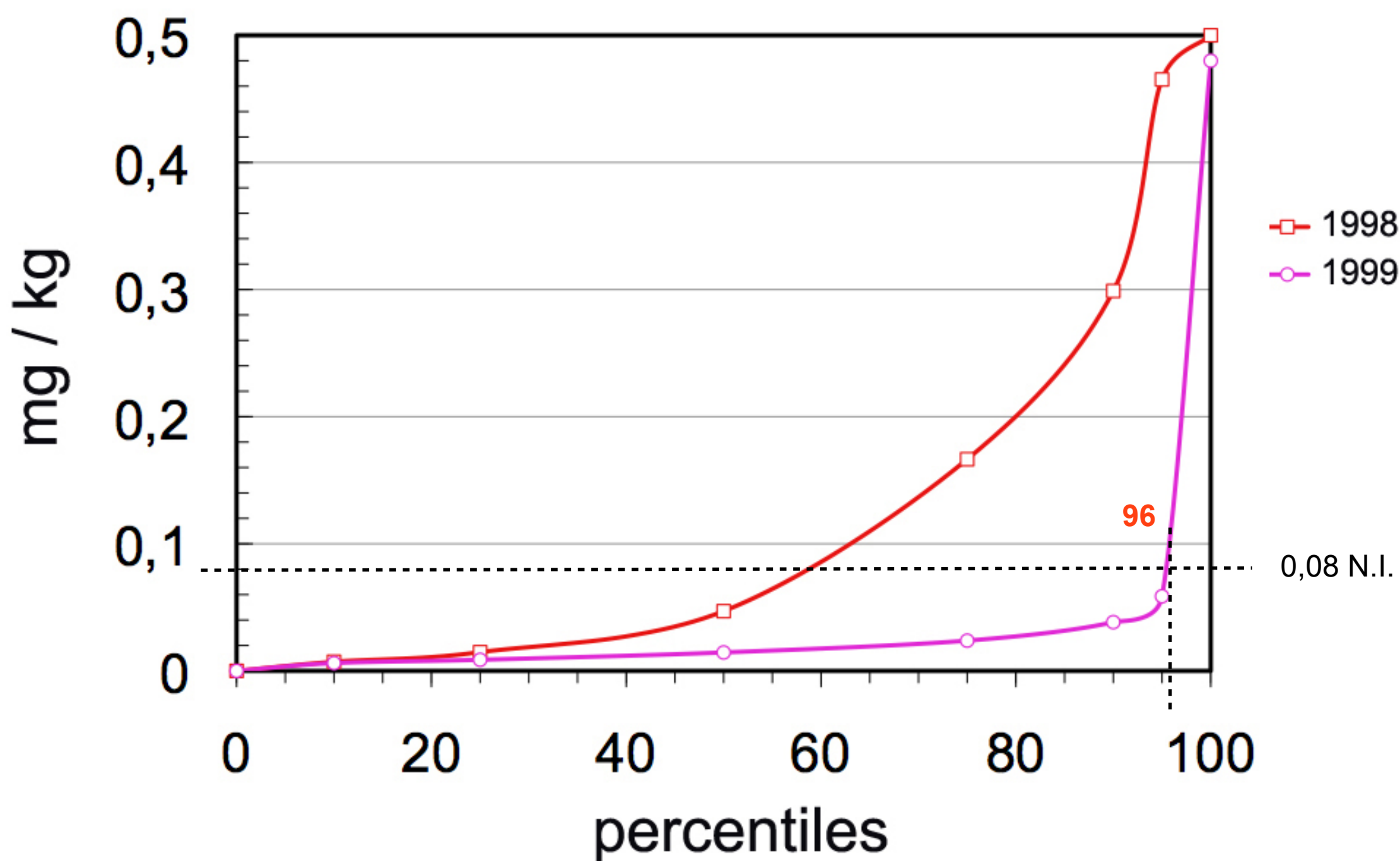


Bien, en esta gráfica representamos los percentiles de la fracción As soluble. Actualmente la comunidad científica no ha llegado a establecer unos niveles de intervención para el As y metales pesados en la solución del suelo. En su defecto hemos recurrido a los niveles máximos definidos por la FAO para que un agua pueda ser utilizada para consumo del ganado. Este nivel de intervención en mg/kg es de 0,08. En el año del vertido un porcentaje importante de los suelos superaba este límite establecido por la FAO. El percentil tiene este valor, o sea el 42% de los suelos se encontraban en situación de toxicidad. En las muestras del 1999 el nivel de intervención pasa ya al percentil 96. En el 2001 cae al 92 y en el 2004 sólo un suelo superaba el nivel. A partir de esta fecha el 100% de los suelos presenta valores de arsénico soluble por debajo del nivel tóxico. El As soluble muestra una clara tendencia a disminuir con el tiempo. En definitiva, aunque en la zona han quedado importantes concentraciones en As total, este As, afortunadamente, parece encontrarse en estos suelos muy poco activo.

As soluble, 0-10 cm

Aznalcóllar, hoy.

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

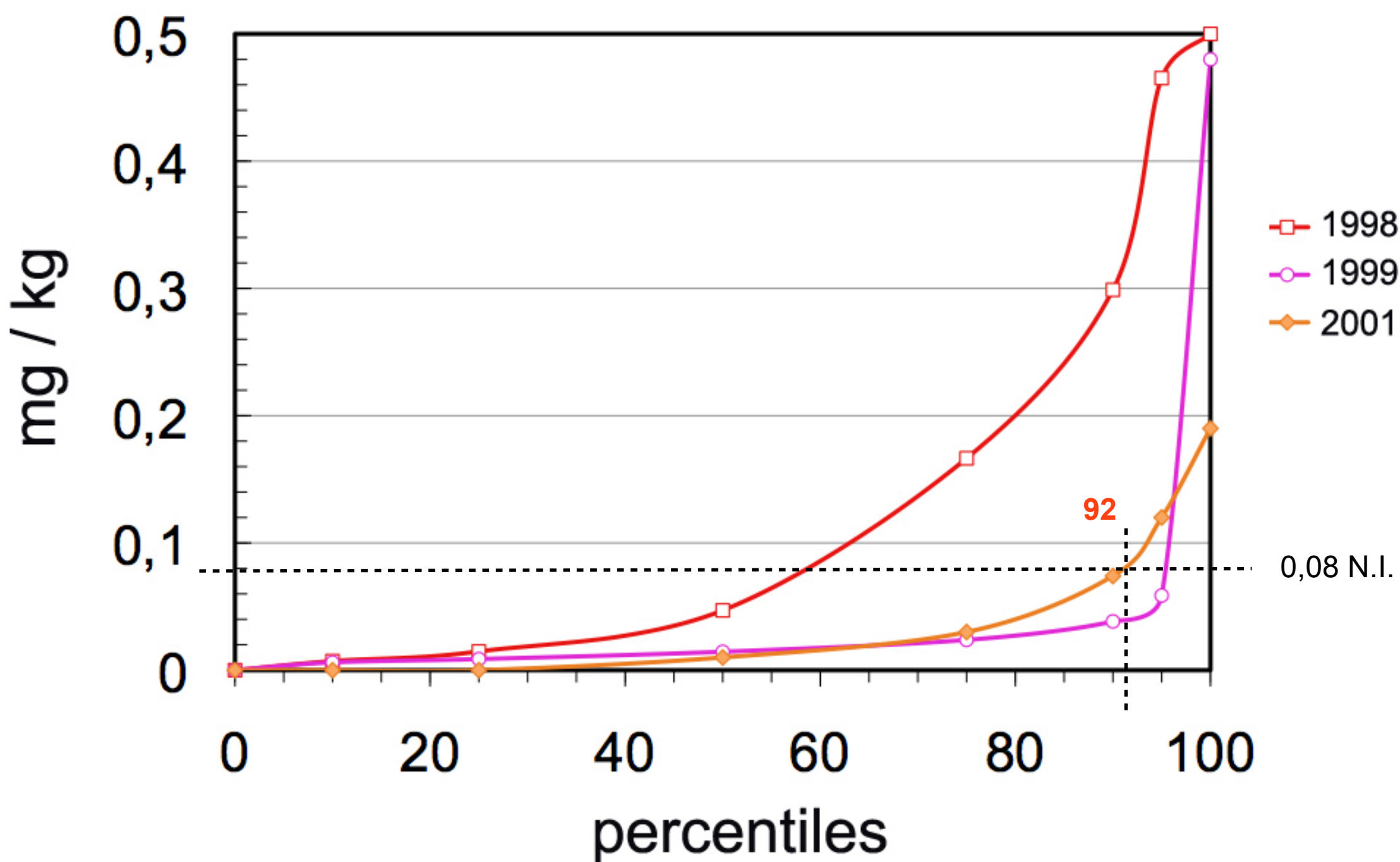


Bien, en esta gráfica representamos los percentiles de la fracción As soluble. Actualmente la comunidad científica no ha llegado a establecer unos niveles de intervención para el As y metales pesados en la solución del suelo. En su defecto hemos recurrido a los niveles máximos definidos por la FAO para que un agua pueda ser utilizada para consumo del ganado. Este nivel de intervención en mg/kg es de 0,08. En el año del vertido un porcentaje importante de los suelos superaba este límite establecido por la FAO. El percentil tiene este valor, o sea el 42% de los suelos se encontraban en situación de toxicidad. En las muestras del 1999 el nivel de intervención pasa ya al percentil 96. En el 2001 cae al 92 y en el 2004 sólo un suelo superaba el nivel. A partir de esta fecha el 100% de los suelos presenta valores de arsénico soluble por debajo del nivel tóxico. El As soluble muestra una clara tendencia a disminuir con el tiempo. En definitiva, aunque en la zona han quedado importantes concentraciones en As total, este As, afortunadamente, parece encontrarse en estos suelos muy poco activo

As soluble, 0-10 cm

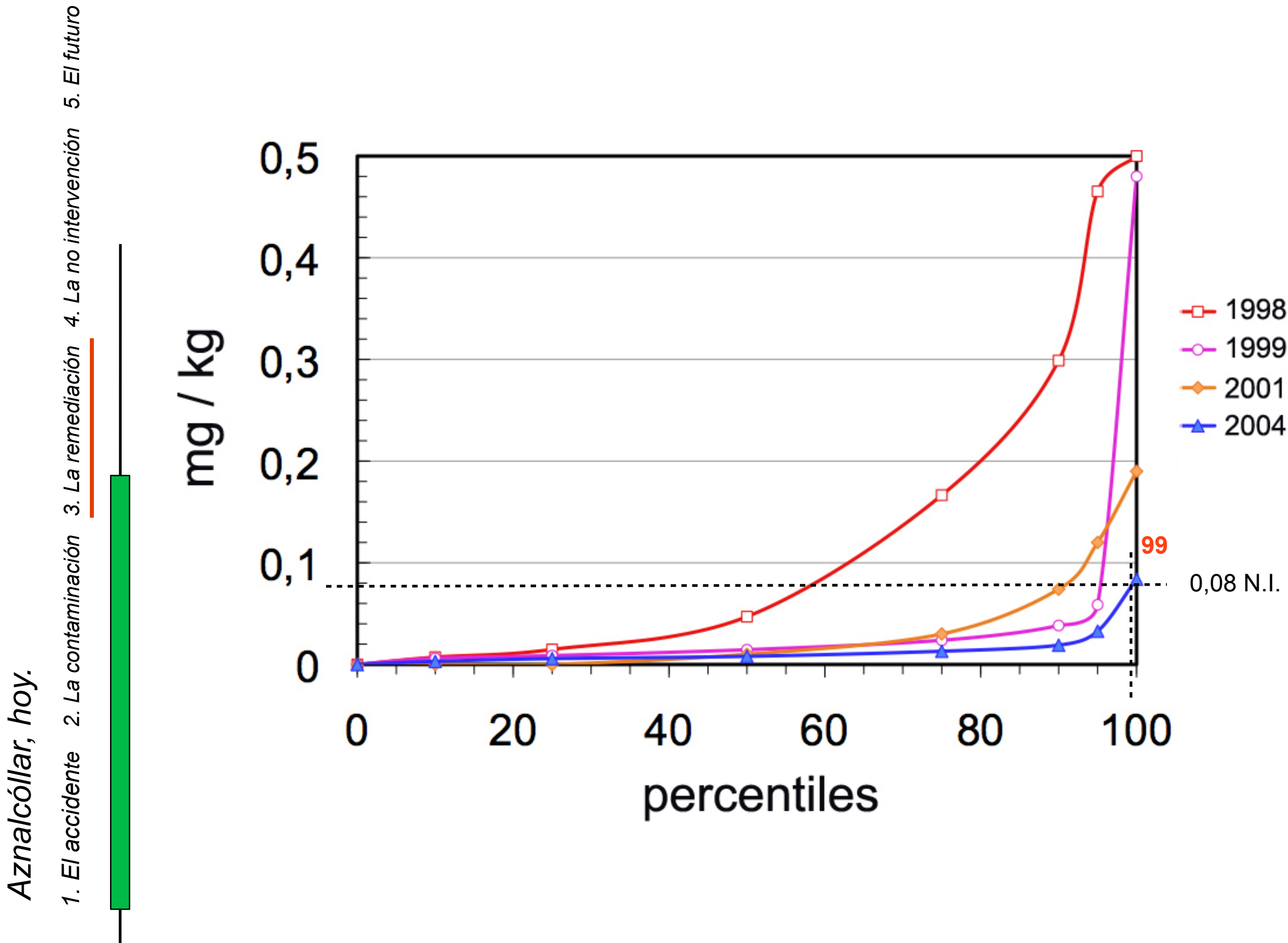
Aznalcóllar, hoy.

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



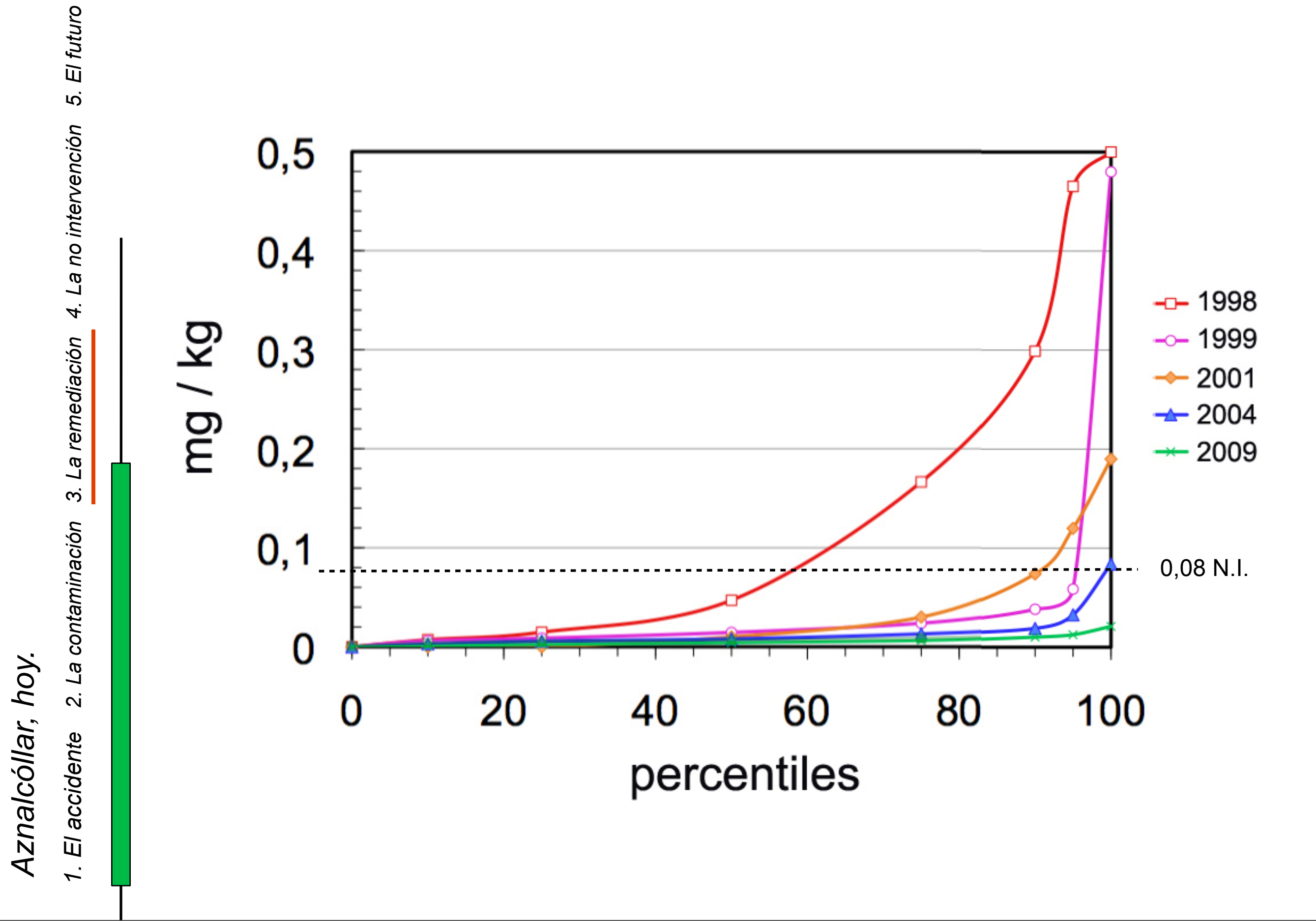
Bien, en esta gráfica representamos los percentiles de la fracción As soluble. Actualmente la comunidad científica no ha llegado a establecer unos niveles de intervención para el As y metales pesados en la solución del suelo. En su defecto hemos recurrido a los niveles máximos definidos por la FAO para que un agua pueda ser utilizada para consumo del ganado. Este nivel de intervención en mg/kg es de 0,08. En el año del vertido un porcentaje importante de los suelos superaba este límite establecido por la FAO. El percentil tiene este valor, o sea el 42% de los suelos se encontraban en situación de toxicidad. En las muestras del 1999 el nivel de intervención pasa ya al percentil 96. En el 2001 cae al 92 y en el 2004 sólo un suelo superaba el nivel. A partir de esta fecha el 100% de los suelos presenta valores de arsénico soluble por debajo del nivel tóxico. El As soluble muestra una clara tendencia a disminuir con el tiempo. En definitiva, aunque en la zona han quedado importantes concentraciones en As total, este As, afortunadamente, parece encontrarse en estos suelos muy poco activo

As soluble, 0-10 cm



Bien, en esta gráfica representamos los percentiles de la fracción As soluble. Actualmente la comunidad científica no ha llegado a establecer unos niveles de intervención para el As y metales pesados en la solución del suelo. En su defecto hemos recurrido a los niveles máximos definidos por la FAO para que un agua pueda ser utilizada para consumo del ganado. Este nivel de intervención en mg/kg es de 0,08. En el año del vertido un porcentaje importante de los suelos superaba este límite establecido por la FAO. El percentil tiene este valor, o sea el 42% de los suelos se encontraban en situación de toxicidad. En las muestras del 1999 el nivel de intervención pasa ya al percentil 96. En el 2001 cae al 92 y en el 2004 sólo un suelo superaba el nivel. A partir de esta fecha el 100% de los suelos presenta valores de arsénico soluble por debajo del nivel tóxico. El As soluble muestra una clara tendencia a disminuir con el tiempo. En definitiva, aunque en la zona han quedado importantes concentraciones en As total, este As, afortunadamente, parece encontrarse en estos suelos muy poco activo

As soluble, 0-10 cm



Bien, en esta gráfica representamos los percentiles de la fracción As soluble. Actualmente la comunidad científica no ha llegado a establecer unos niveles de intervención para el As y metales pesados en la solución del suelo. En su defecto hemos recurrido a los niveles máximos definidos por la FAO para que un agua pueda ser utilizada para consumo del ganado. Este nivel de intervención en mg/kg es de 0,08.

En el año del vertido un porcentaje importante de los suelos superaba este límite establecido por la FAO. El percentil tiene este valor, o sea el 42% de los suelos se encontraban en situación de toxicidad.

En las muestras del 1999 el nivel de intervención pasa ya al percentil 96. En el 2001 cae al 92 y en el 2004 sólo un suelo superaba el nivel. A partir de esta fecha el 100% de los suelos presenta valores de arsénico soluble por debajo del nivel tóxico.

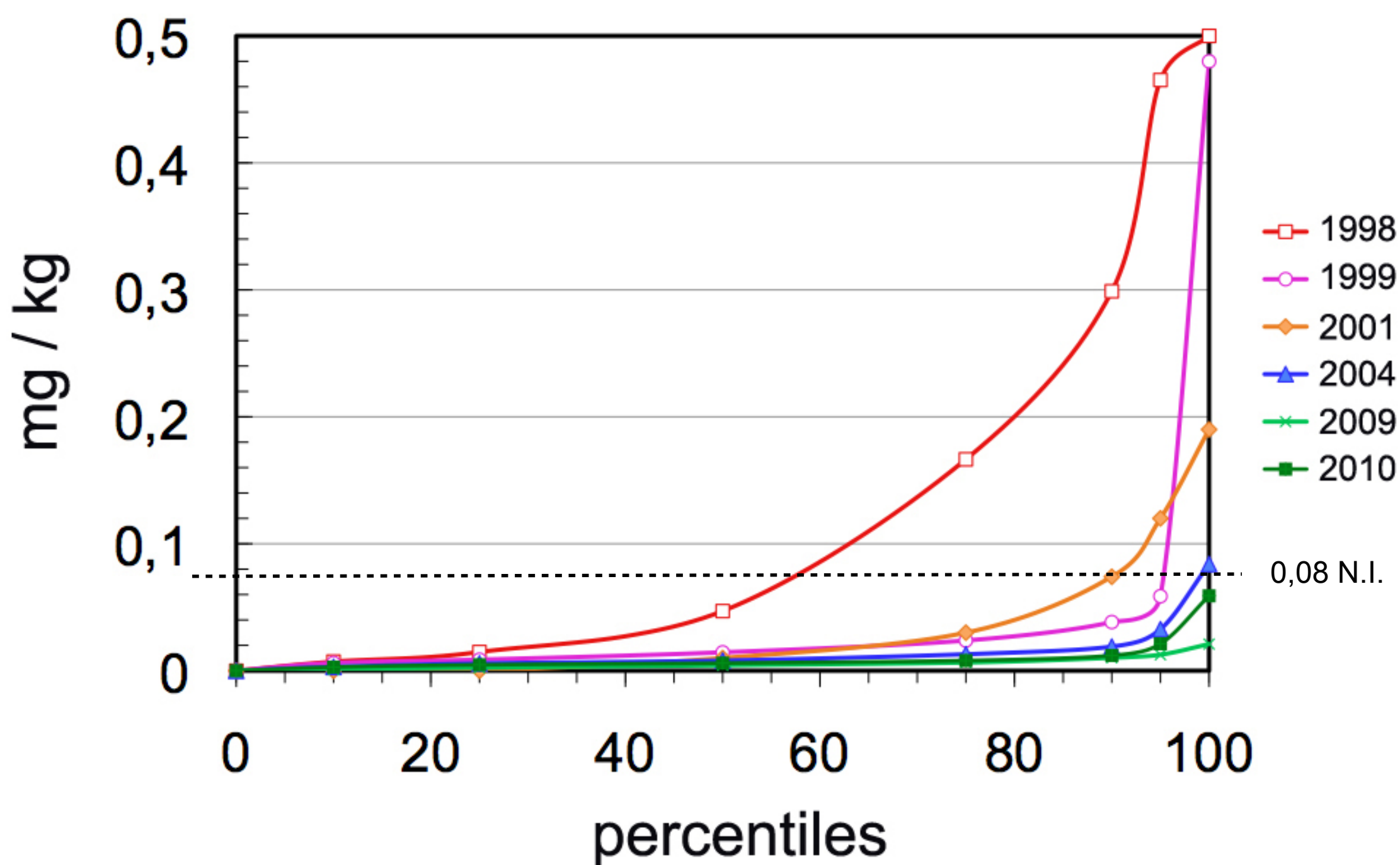
El As soluble muestra una clara tendencia a disminuir con el tiempo.

En definitiva, aunque en la zona han quedado importantes concentraciones en As total, este As, afortunadamente, parece encontrarse en estos suelos muy poco activo

As soluble, 0-10 cm

Aznalcóllar, hoy.

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



Bien, en esta gráfica representamos los percentiles de la fracción As soluble. Actualmente la comunidad científica no ha llegado a establecer unos niveles de intervención para el As y metales pesados en la solución del suelo. En su defecto hemos recurrido a los niveles máximos definidos por la FAO para que un agua pueda ser utilizada para consumo del ganado. Este nivel de intervención en mg/kg es de 0,08. En el año del vertido un porcentaje importante de los suelos superaba este límite establecido por la FAO. El percentil tiene este valor, o sea el 42% de los suelos se encontraban en situación de toxicidad. En las muestras del 1999 el nivel de intervención pasa ya al percentil 96. En el 2001 cae al 92 y en el 2004 sólo un suelo superaba el nivel. A partir de esta fecha el 100% de los suelos presenta valores de arsénico soluble por debajo del nivel tóxico. El As soluble muestra una clara tendencia a disminuir con el tiempo. En definitiva, aunque en la zona han quedado importantes concentraciones en As total, este As, afortunadamente, parece encontrarse en estos suelos muy poco activo

Aznalcóllar, hoy.

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



La zona hoy día parece no mostrar signos de toxicidad. Este es el aspecto que muestra la ribera del Guadiamar. Así es como estaba antes del vertido y así estuvo durante las primeras medidas de rehabilitación.

Aznalcóllar, hoy.

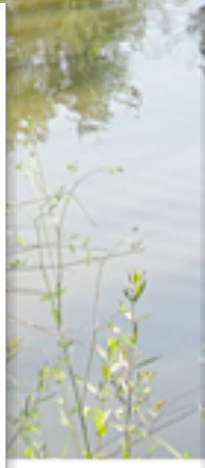
1. El accidente
2. La contaminación
3. La remediación
4. La no intervención
5. El futuro



La zona hoy día parece no mostrar signos de toxicidad. Este es el aspecto que muestra la ribera del 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 remediación
4. La no intervención
5. El futuro



La zona hoy día parece no mostrar signos de toxicidad. Este es el aspecto que muestra la ribera del 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 remediación
4. La no intervención
5. El futuro



en la mayor parte de la zona, especialmente en la zona carbonatada, la implantación de la vegetación es muy completa

Aznalcóllar, hoy.

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



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

- 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?.

15´ para la remediación

Hasta aquí 30´

- 4 Evolución sin intervención

¿La retirada de los lodos fue una decisión correcta?

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?.

15' para la remediación

Hasta aquí 30'

Aznalcóllar, hoy.

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



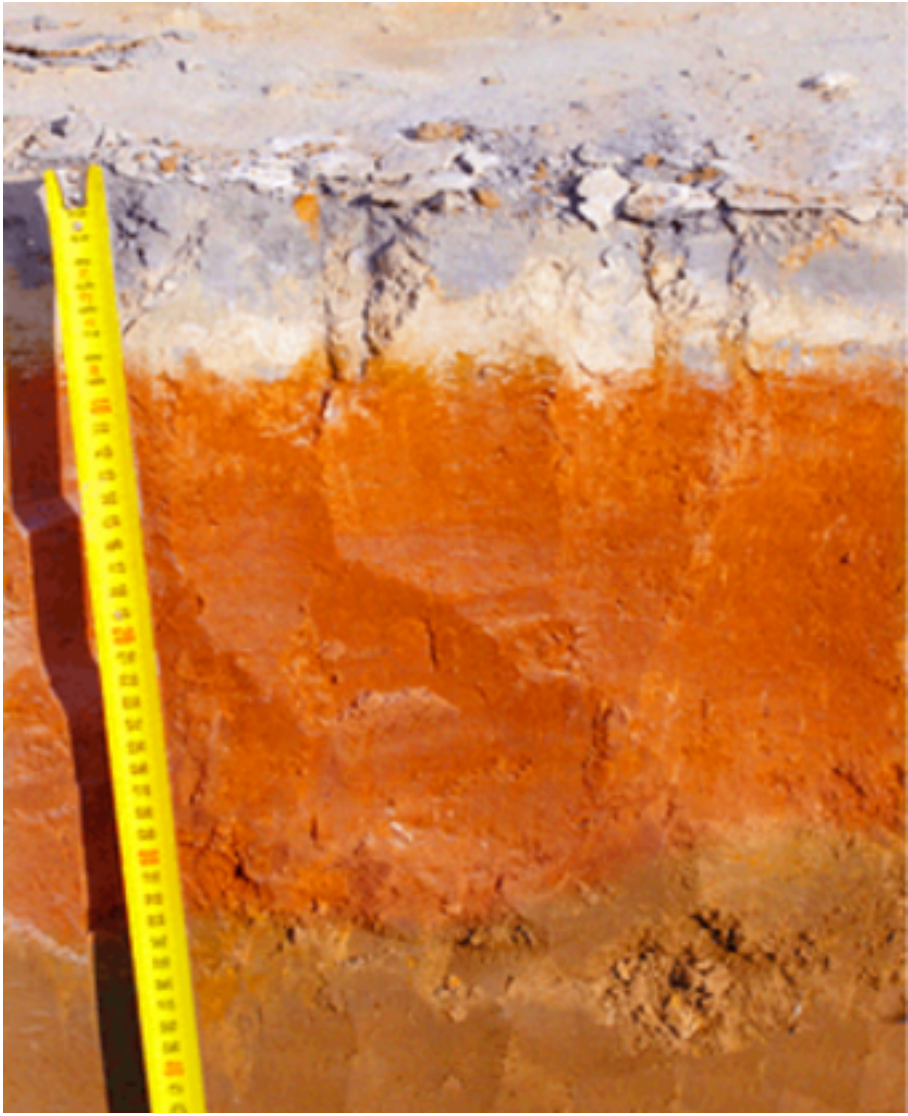
Pues gracias a que la Junta de Andalucía dejó dos parcelas para investigación con la recubierta de lodos sin retirar, en la zona del Vado del Quema

Aznalcóllar, hoy.

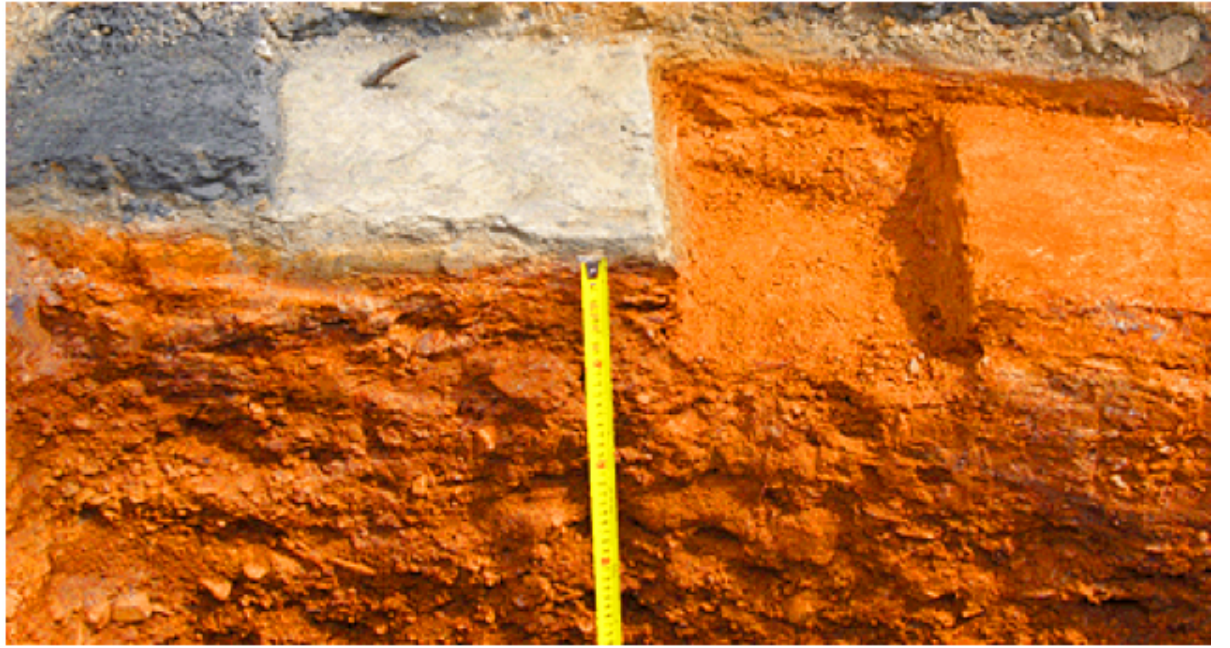
1. El accidente
2. La contaminación
3. La remediación
4. La no intervención
5. El futuro



Y 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.

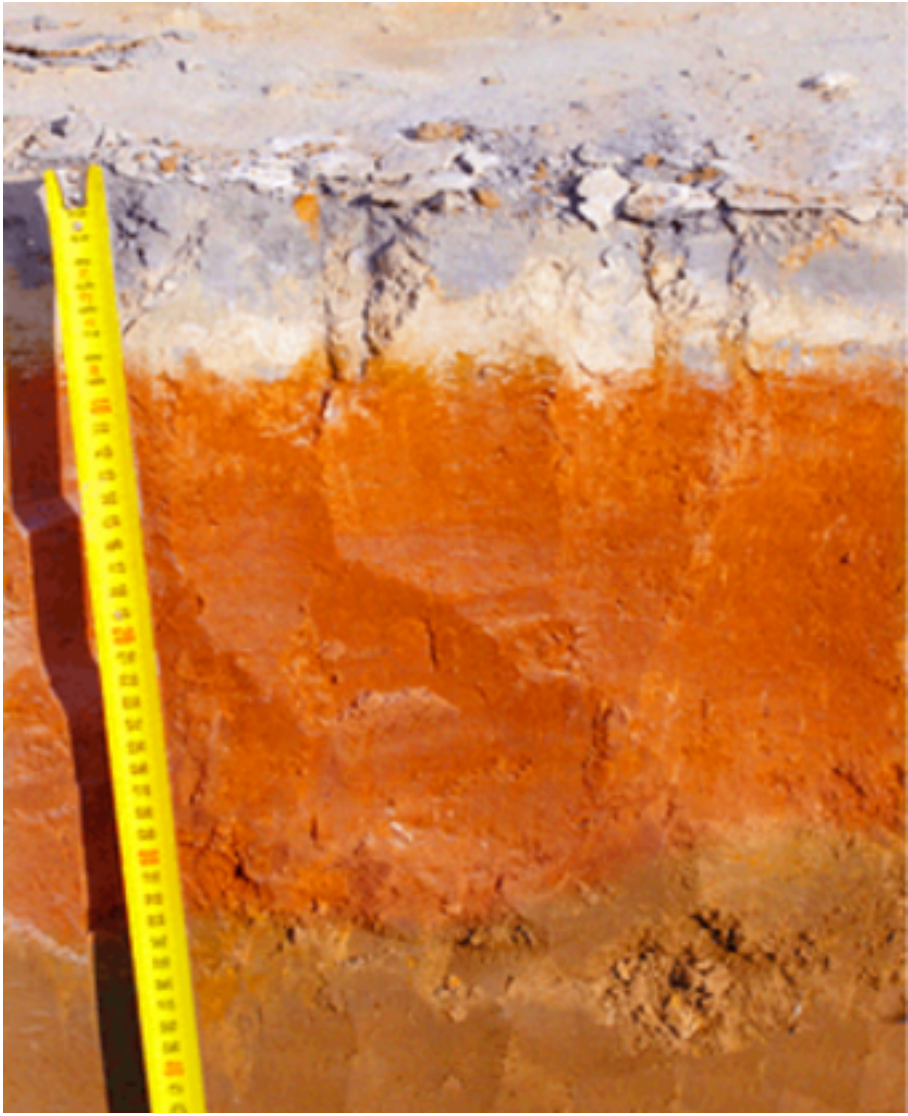


suelo básico con carbonatos

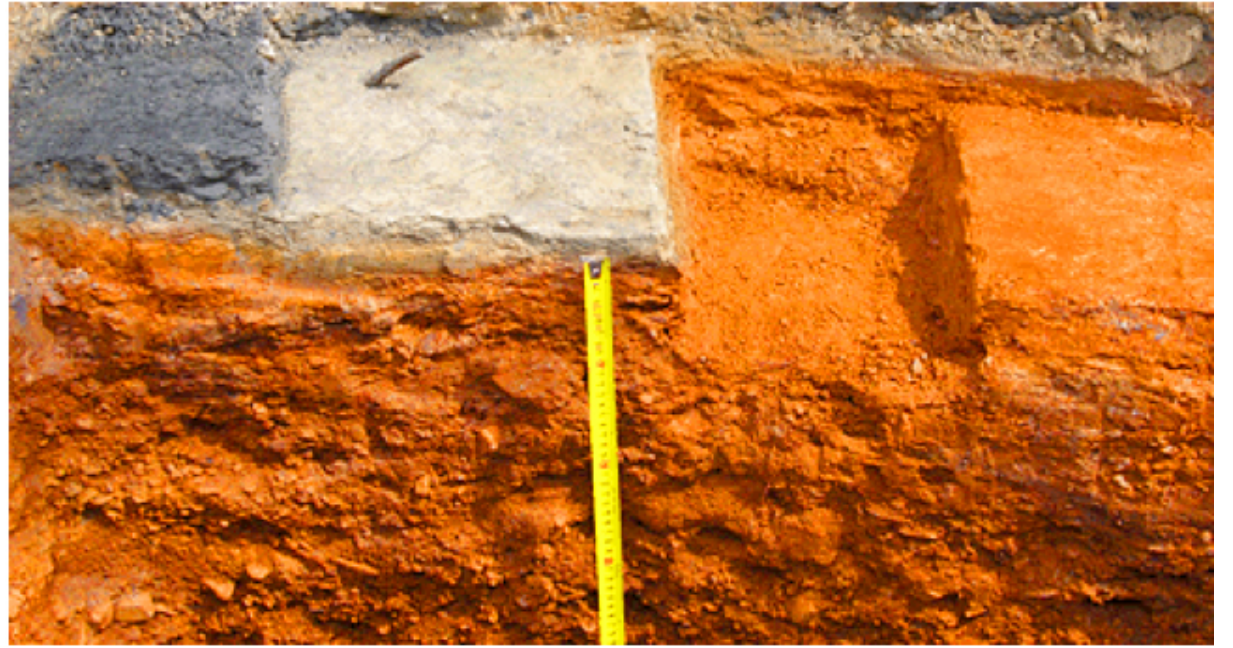


suelo ácido sin carbonatos

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 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.



suelo básico con carbonatos



suelo ácido sin carbonatos

- Alteración
- Contaminación

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 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.

Aznalcóllar, hoy.

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



En todos estos puntos con lodos hemos realizado un muestreo sistemático de los perfiles, tomando muestras cada 1, 5, 10 y 20 cm, según la profundidad. Realizando, en algunos casos, un seguimiento desde los 2 meses hasta los 9 años.

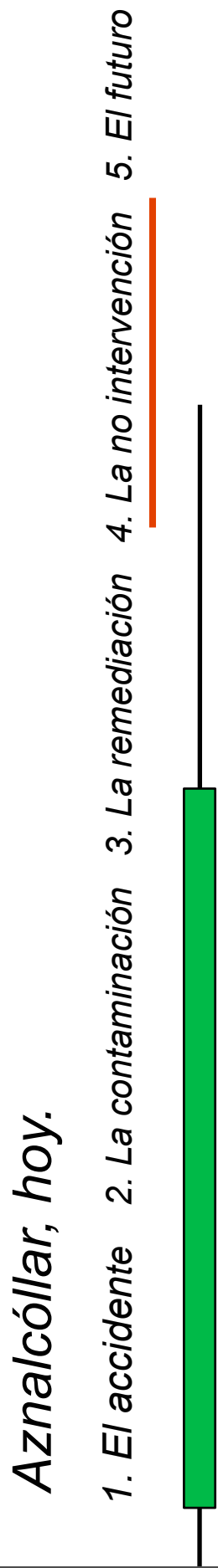


En todos estos puntos con lodos hemos realizado un muestreo sistemático de los perfiles, tomando muestras cada 1, 5, 10 y 20 cm, según la profundidad. Realizando, en algunos casos, un seguimiento desde los 2 meses hasta los 9 años.



En todos estos puntos con lodos hemos realizado un muestreo sistemático de los perfiles, tomando muestras cada 1, 5, 10 y 20 cm, según la profundidad. Realizando, en algunos casos, un seguimiento desde los 2 meses hasta los 9 años.

Alteración



suelo con carbonatos

La alteración se pone claramente de manifiesto al estudiar estas muestras.

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 la mayoría de 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.

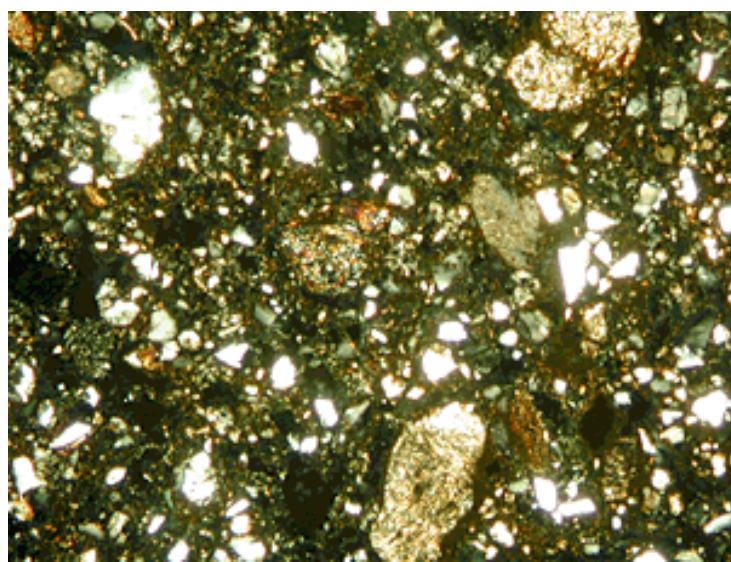
● Alteración

Aznalcóllar, hoy.

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



suelo con carbonatos



horiz. profundo

La alteración se pone claramente de manifiesto al estudiar estas muestras.

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 la mayoría de 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.

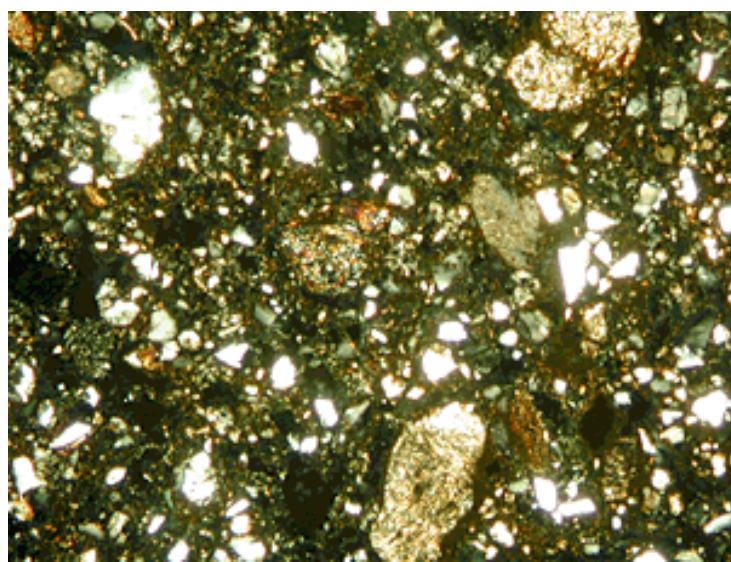
● Alteración

Aznalcóllar, hoy.

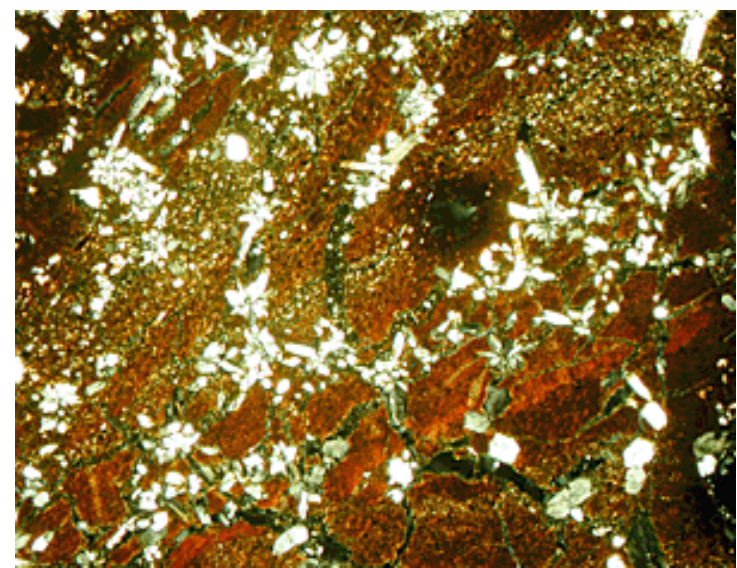
1. El accidente 2. La contaminación 3. La remediación 4. La no intervención 5. El futuro



suelo con carbonatos



horiz. profundo



capa roja con yeso y Fe

La alteración se pone claramente de manifiesto al estudiar estas muestras.

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.

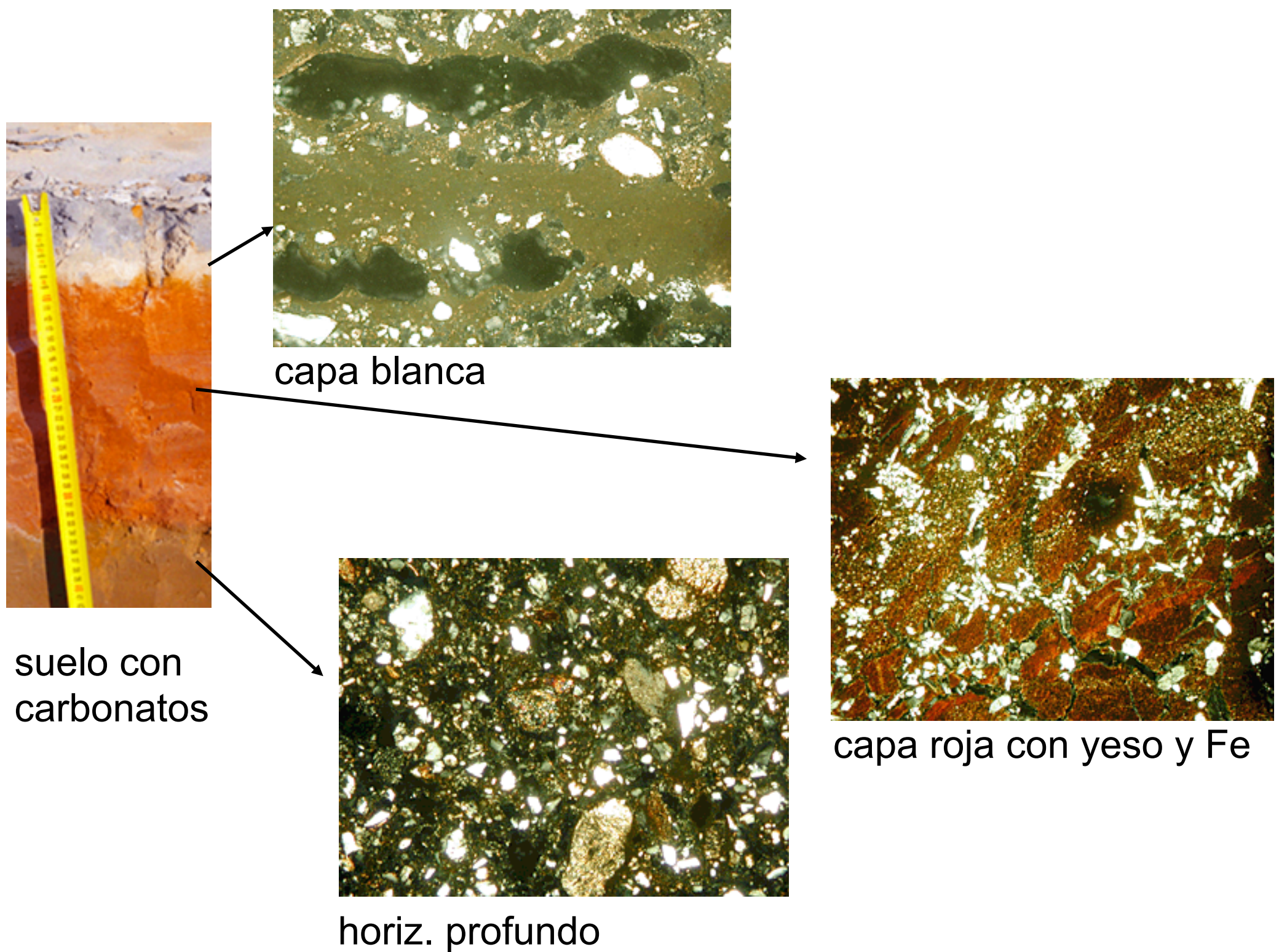
En la capa más superficial, la gris-blanca la alteración es máxima. La infiltración de la sol ácida procedente de los lodos, con un pH tan bajo como 1,8 destruye totalmente a la mayoría de los minerales y aparece un residuo formando unas masas de baja cristalinidad. Como resultado de la hidrólisis mineral 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 remediación 4. La no intervención 5. El futuro



La alteración se pone claramente de manifiesto al estudiar estas muestras.

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 la mayoría de 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.

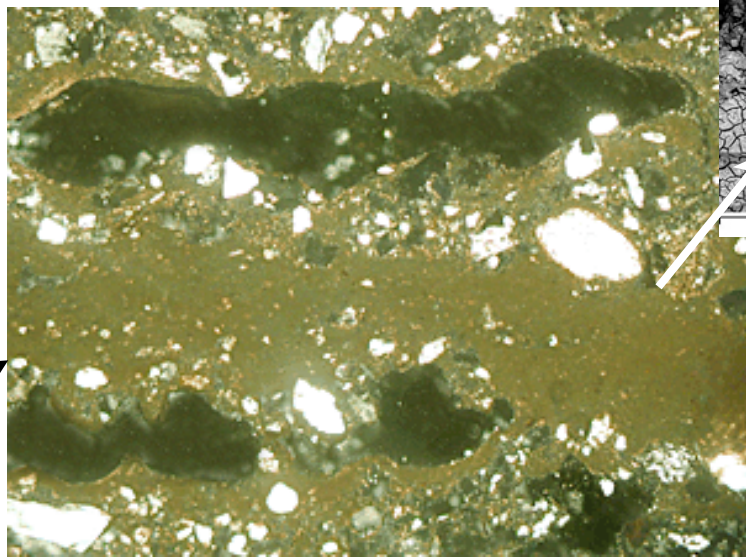
● Alteración

Aznalcóllar, hoy.

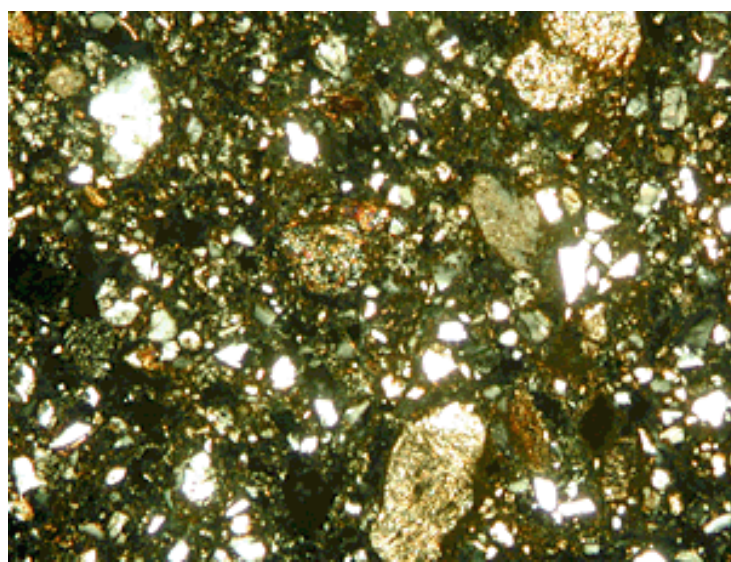
1. El accidente 2. La contaminación 3. La remediación 4. La no intervención 5. El futuro



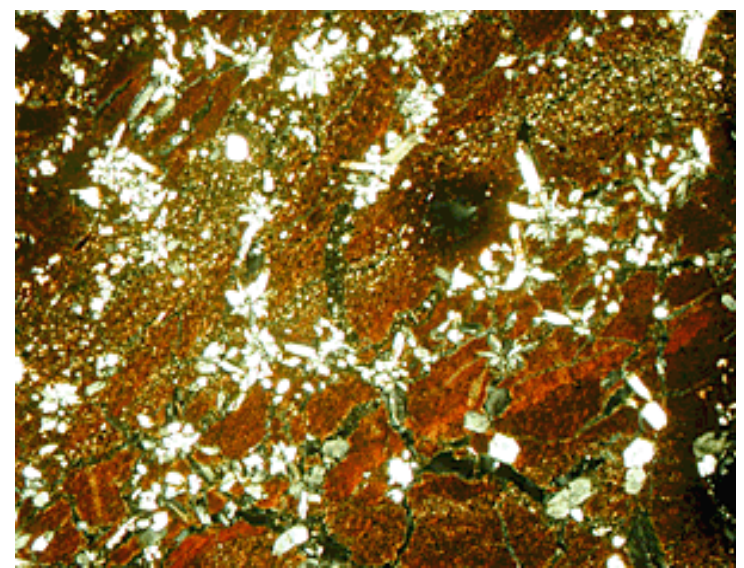
suelo con carbonatos



capa blanca



horiz. profundo



capa roja con yeso y Fe

La alteración se pone claramente de manifiesto al estudiar estas muestras.

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.

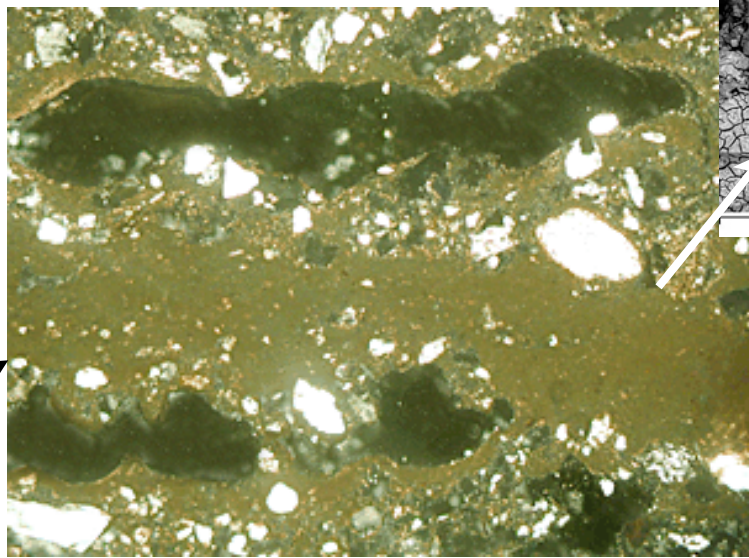
En la capa más superficial, la gris-blanca la alteración es máxima. La infiltración de la sol ácida procedente de los lodos, con un pH tan bajo como 1,8 destruye totalmente a la mayoría de los minerales y aparece un residuo formando unas masas de baja cristalinidad. Como resultado de la hidrólisis mineral 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.

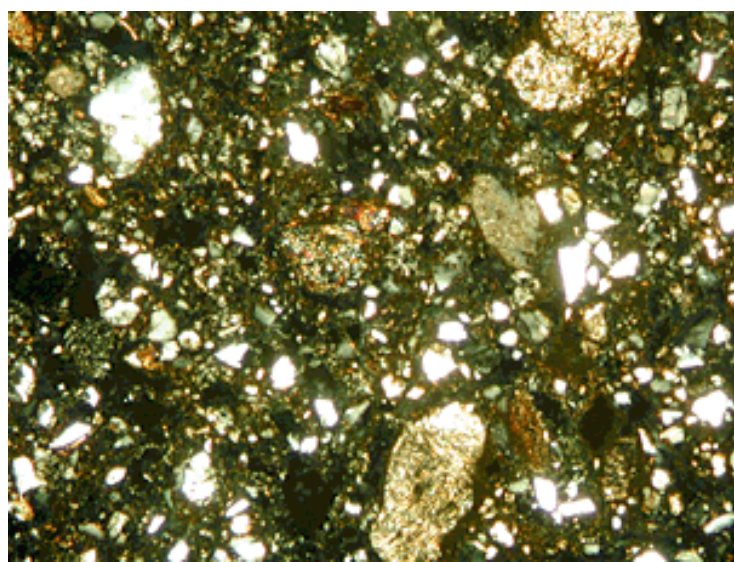
Alteración



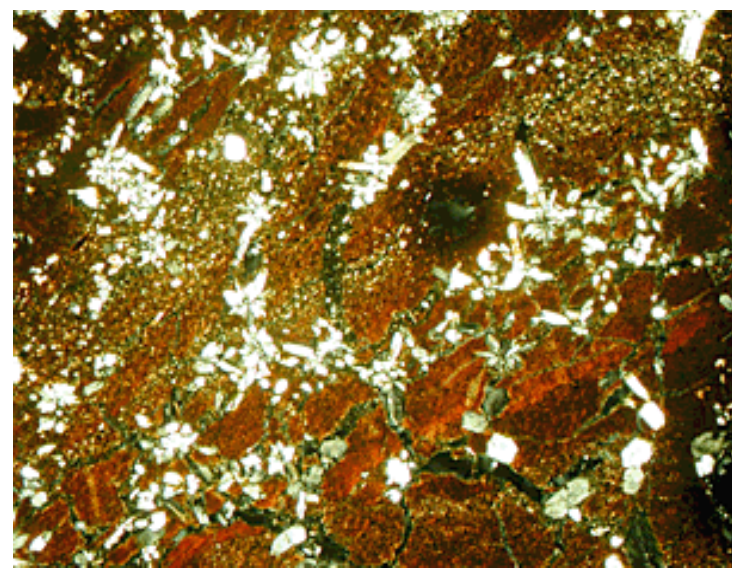
suelo con carbonatos



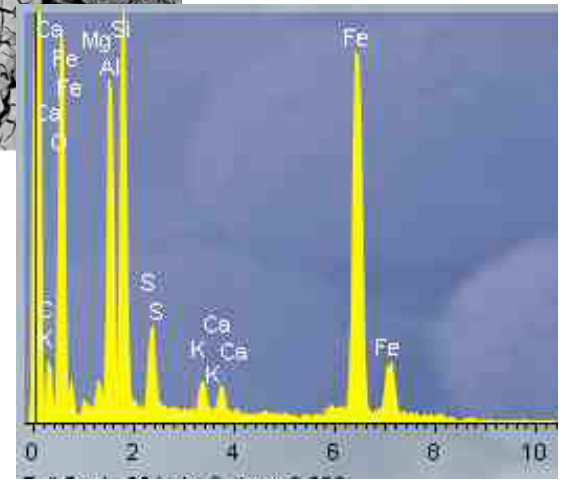
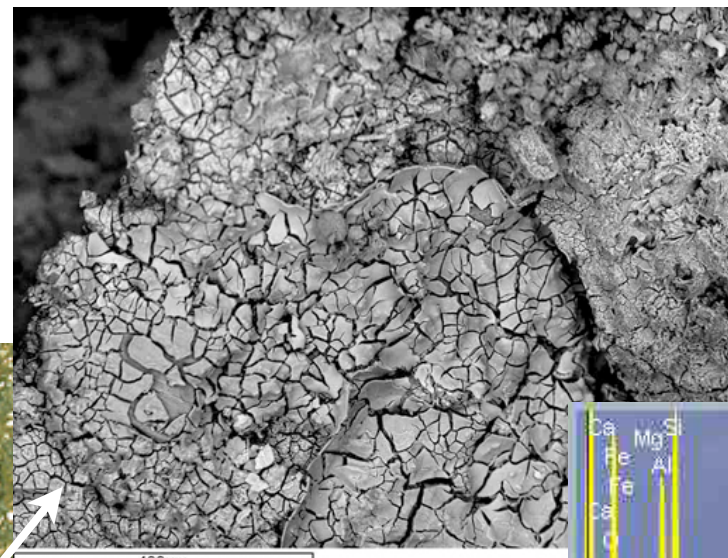
capa blanca



horiz. profundo



capa roja con yeso y Fe



La alteración se pone claramente de manifiesto al estudiar estas muestras.

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 la mayoría de 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 de la capa roja

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

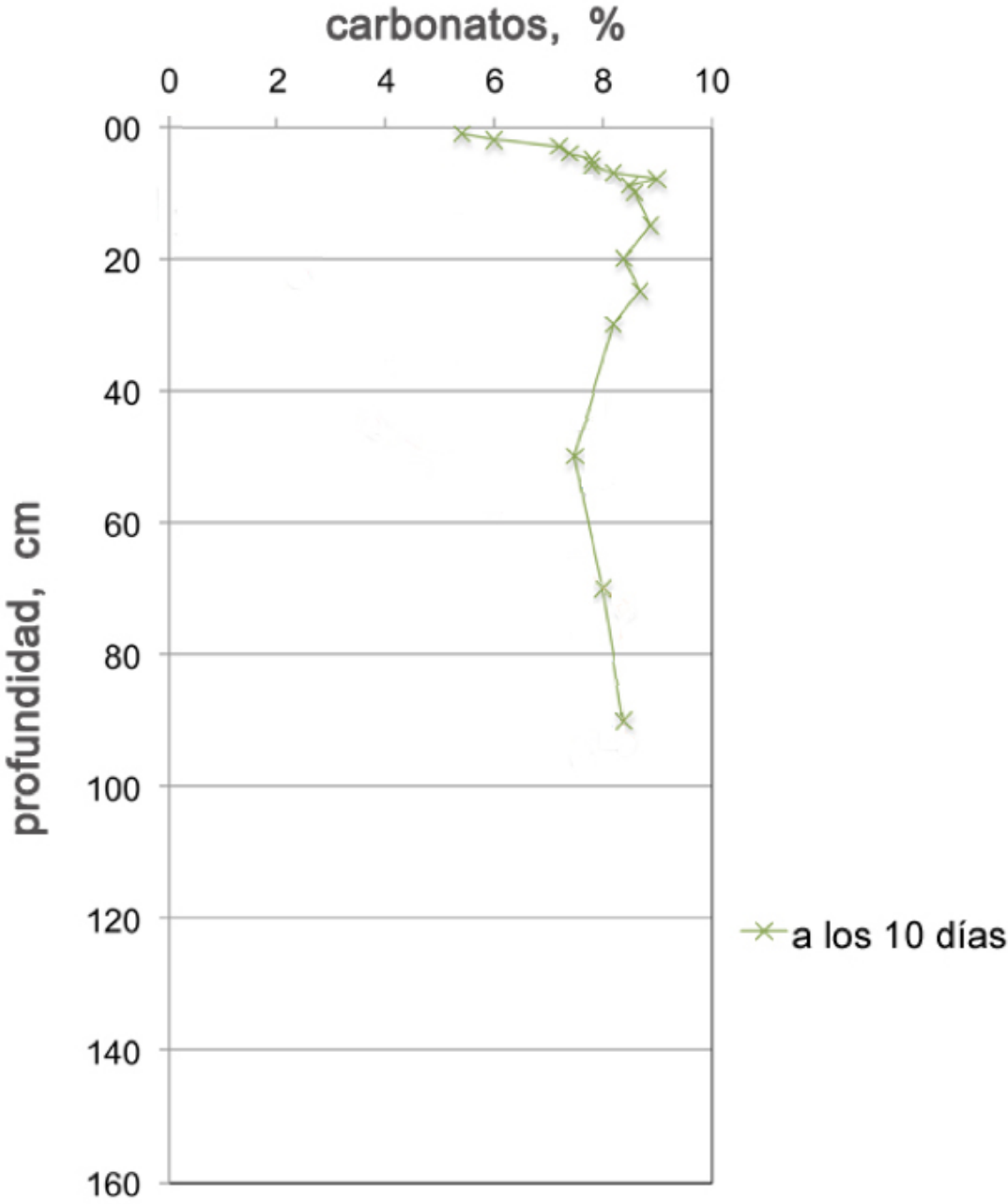
Los carbonatos son los primeros que desaparecen. En el nivel más superficial de la capa ocre-rojiza, ya a los dos meses bajan de un 15% que tenía el suelo original a un 5%, para desaparecer por completo a los 15 meses.

Conforme va pasando el tiempo el paquete de suelo completamente decarbonatado va aumentando de espesor, la decarbonatación parcial alcanza 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%



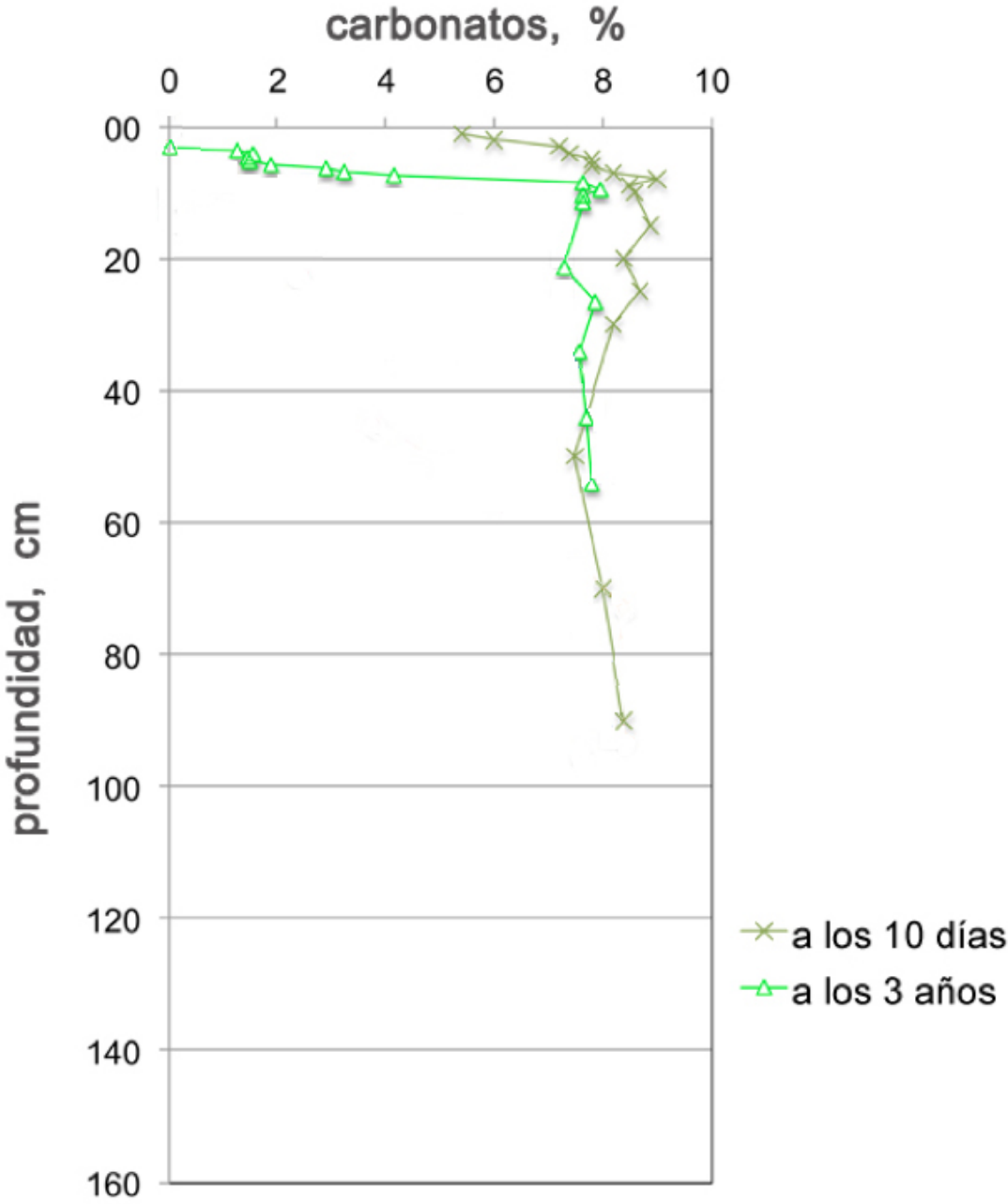
Los carbonatos son los primeros que desaparecen. En el nivel más superficial de la capa ocre-rojiza, ya a los dos meses bajan de un 15% que tenía el suelo original a un 5%, para desaparecer por completo a los 15 meses.

Conforme va pasando el tiempo el paquete de suelo completamente decarbonatado va aumentando de espesor, la decarbonatación parcial alcanza 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%



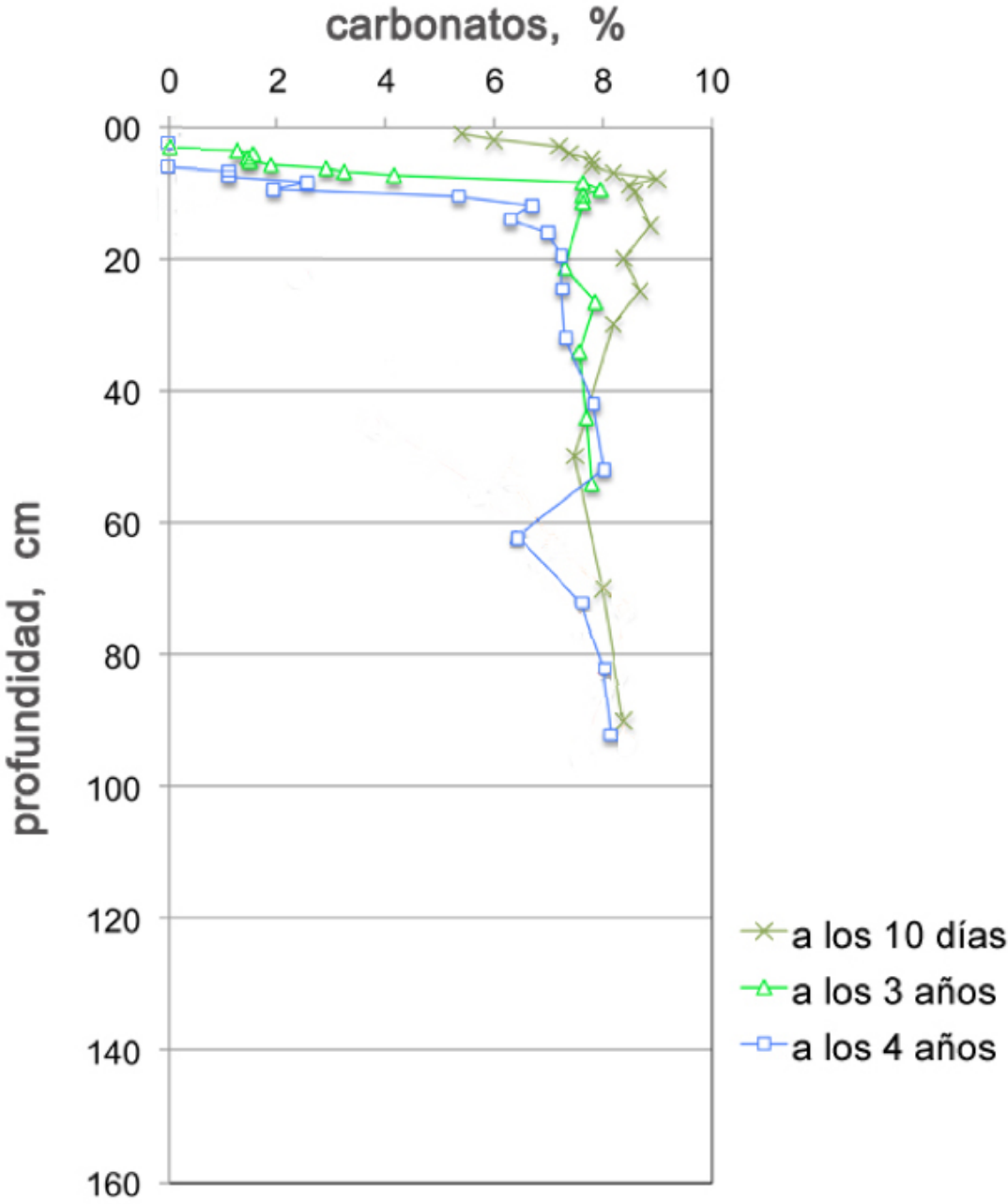
Los carbonatos son los primeros que desaparecen. En el nivel más superficial de la capa ocre-rojiza, ya a los dos meses bajan de un 15% que tenía el suelo original a un 5%, para desaparecer por completo a los 15 meses.

Conforme va pasando el tiempo el paquete de suelo completamente decarbonatado va aumentando de espesor, la decarbonatación parcial alcanza 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%



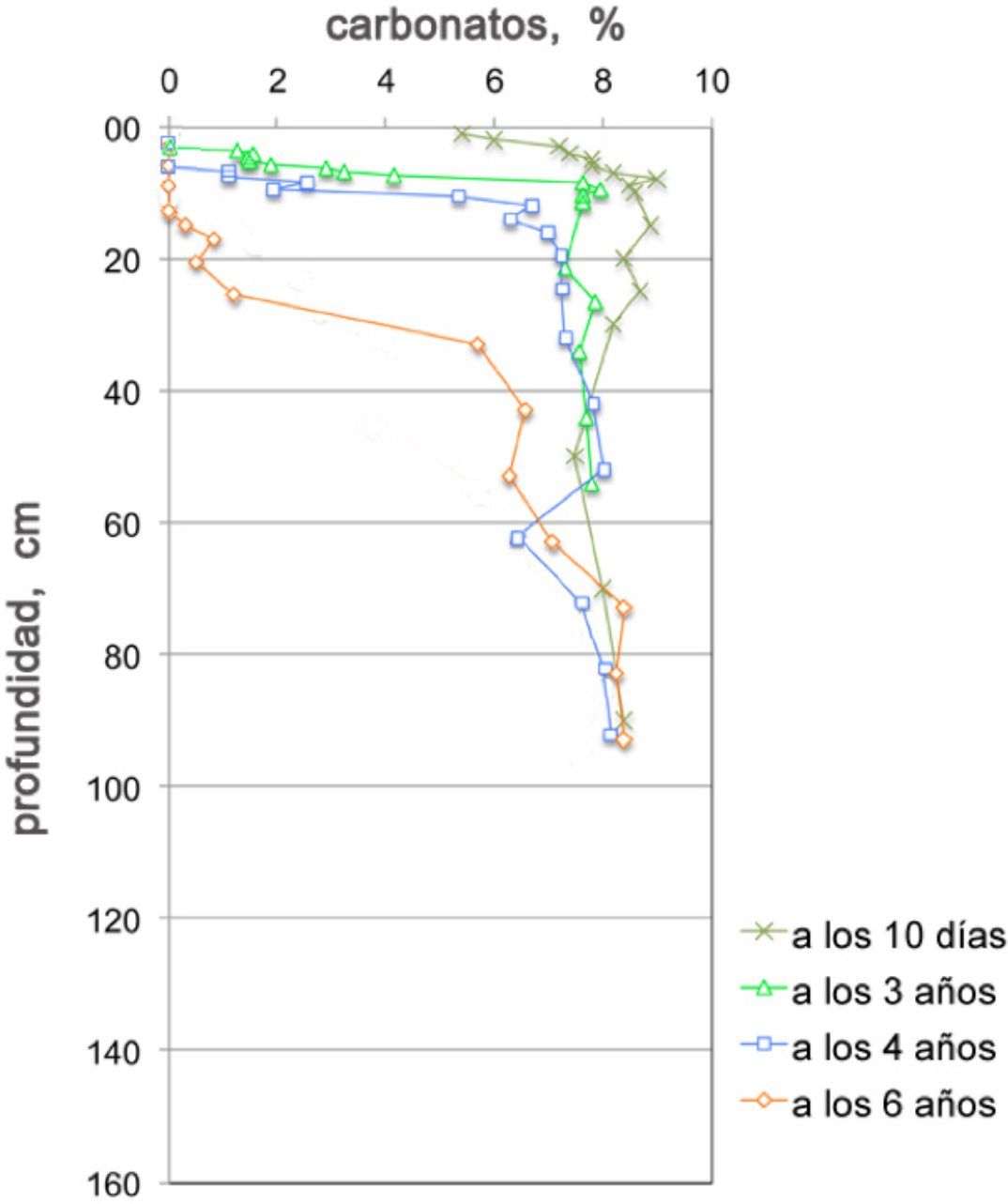
Los carbonatos son los primeros que desaparecen. En el nivel más superficial de la capa ocre-rojiza, ya a los dos meses bajan de un 15% que tenía el suelo original a un 5%, para desaparecer por completo a los 15 meses.

Conforme va pasando el tiempo el paquete de suelo completamente decarbonatado va aumentando de espesor, la decarbonatación parcial alcanza 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%



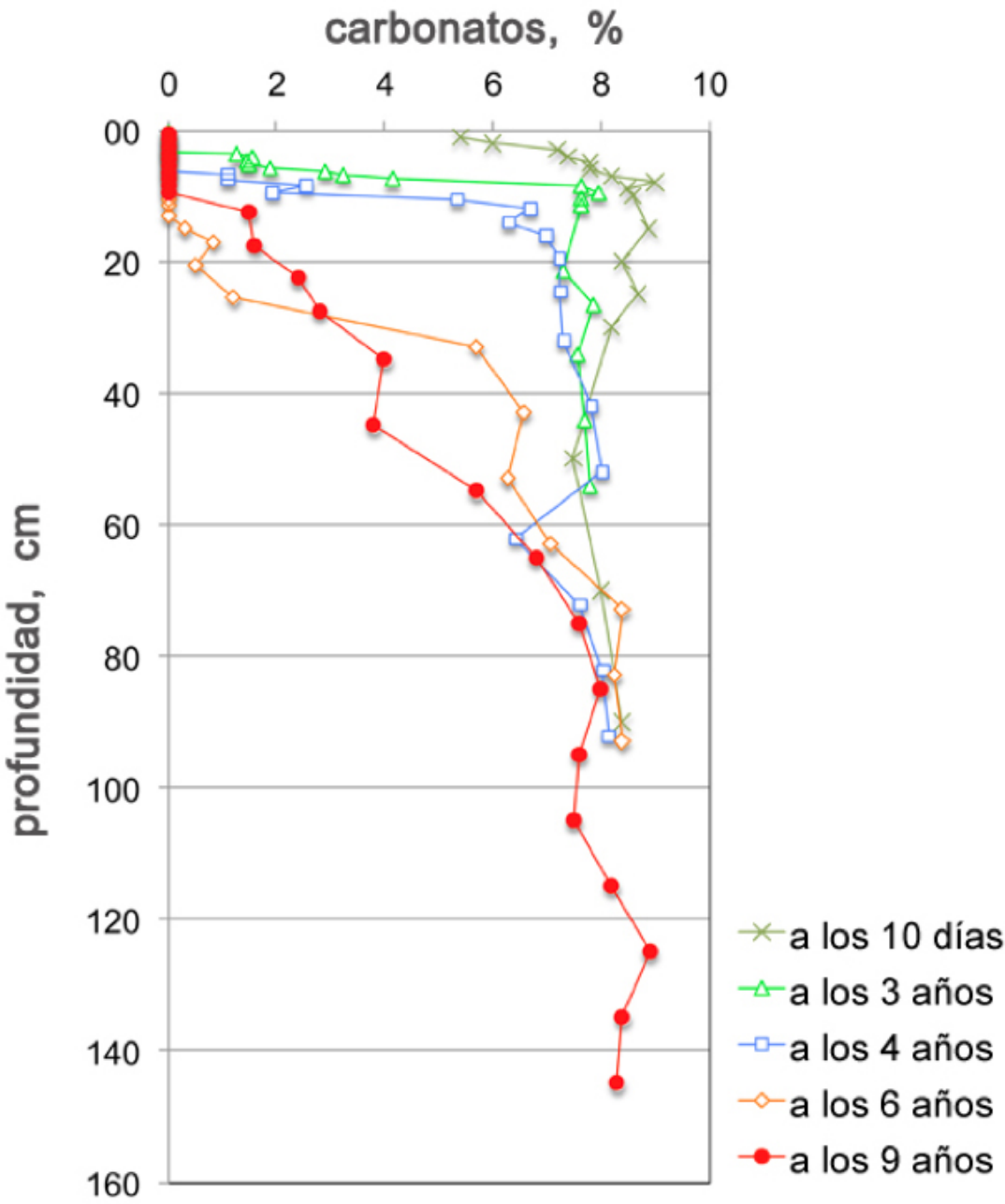
Los carbonatos son los primeros que desaparecen. En el nivel más superficial de la capa ocre-rojiza, ya a los dos meses bajan de un 15% que tenía el suelo original a un 5%, para desaparecer por completo a los 15 meses.

Conforme va pasando el tiempo el paquete de suelo completamente decarbonatado va aumentando de espesor, la decarbonatación parcial alcanza 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%



Los carbonatos son los primeros que desaparecen. En el nivel más superficial de la capa ocre-rojiza, ya a los dos meses bajan de un 15% que tenía el suelo original a un 5%, para desaparecer por completo a los 15 meses.

Conforme va pasando el tiempo el paquete de suelo completamente decarbonatado va aumentando de espesor, la decarbonatación parcial alcanza 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 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, como muestran el diagrama de energías dispersivas, y 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 remediación 4. La no intervención 5. El futuro



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 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, como muestran el diagrama de energías dispersivas, y se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.

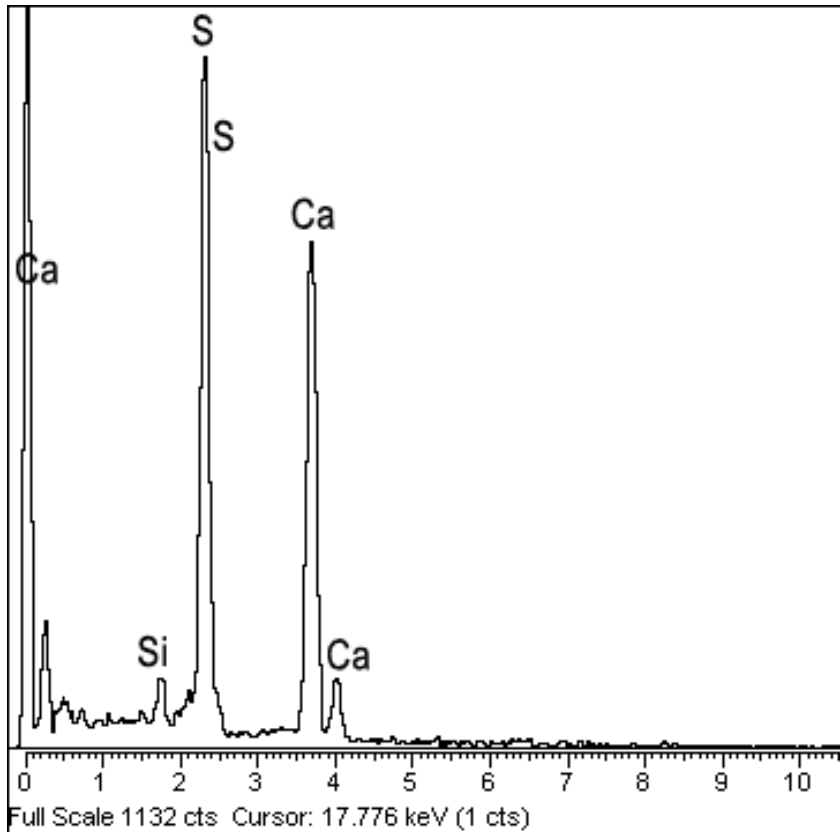
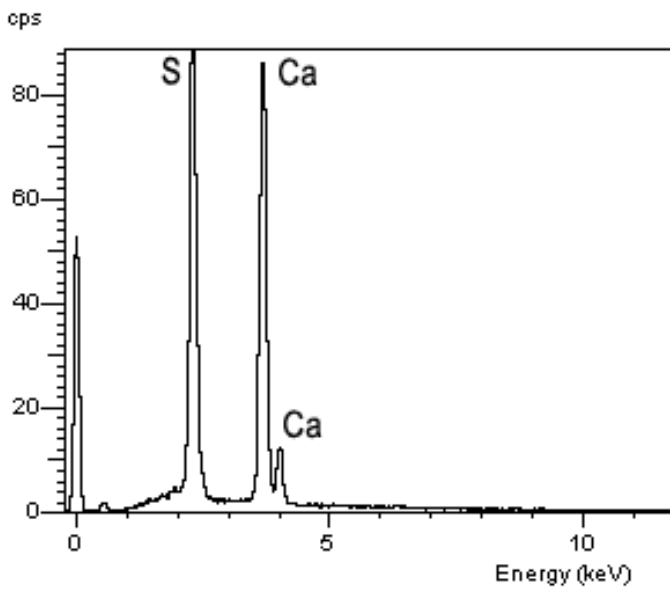
● Alteración

Neoformación mineral

hidroxisulfatos y oxihidróxidos Fe (Ca , K)



suelo con carbonatos



SEM-EDX

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 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, como muestran el diagrama de energías dispersivas, y se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.

● Alteración

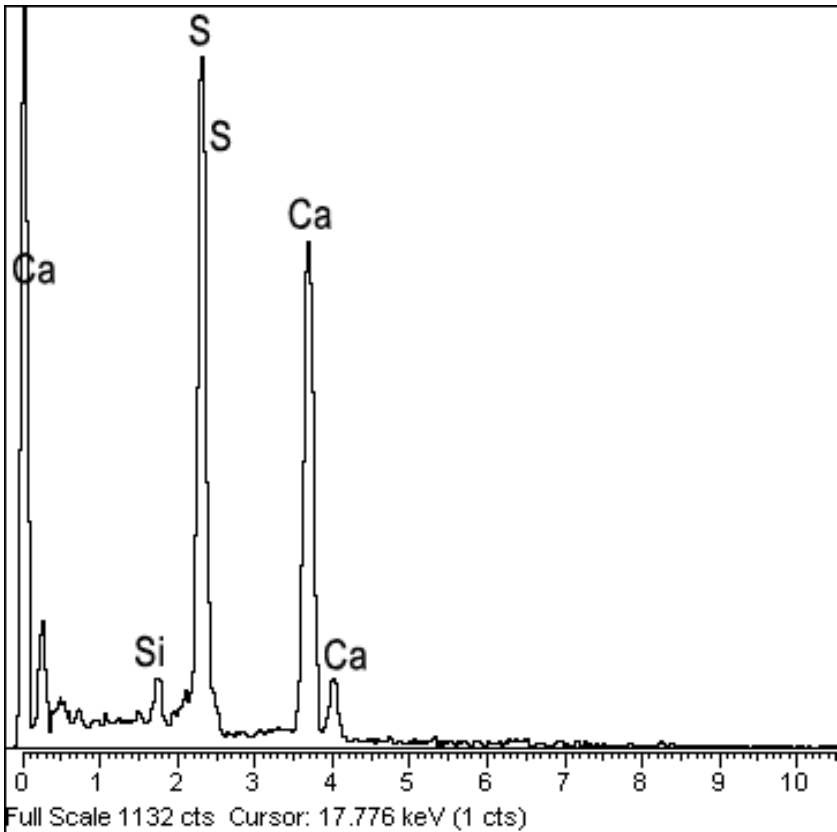
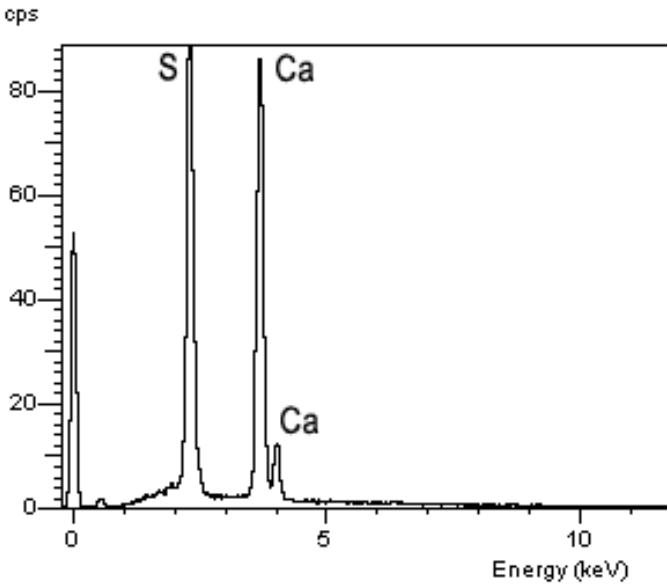
Neoformación mineral

hidroxisulfatos y oxihidróxidos Fe (Ca , K)



yeso

suelo con carbonatos



SEM-EDX

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 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, como muestran el diagrama de energías dispersivas, y se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.

● Alteración

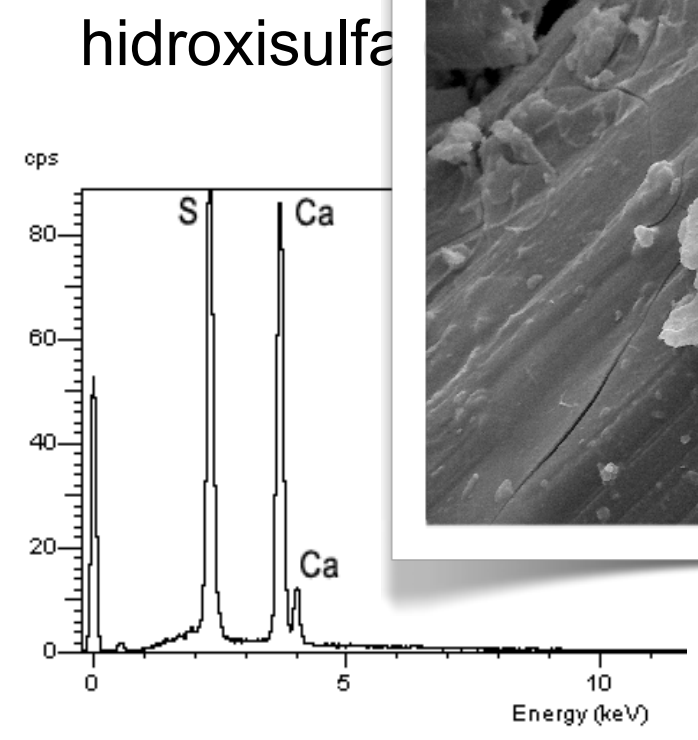
Neoformación mineral



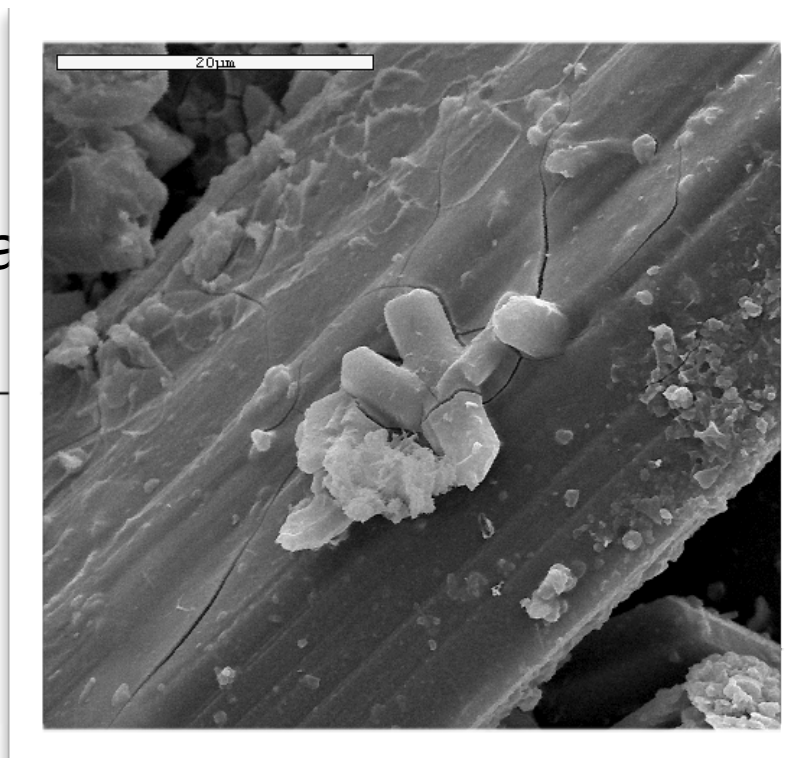
suelo con carbonatos



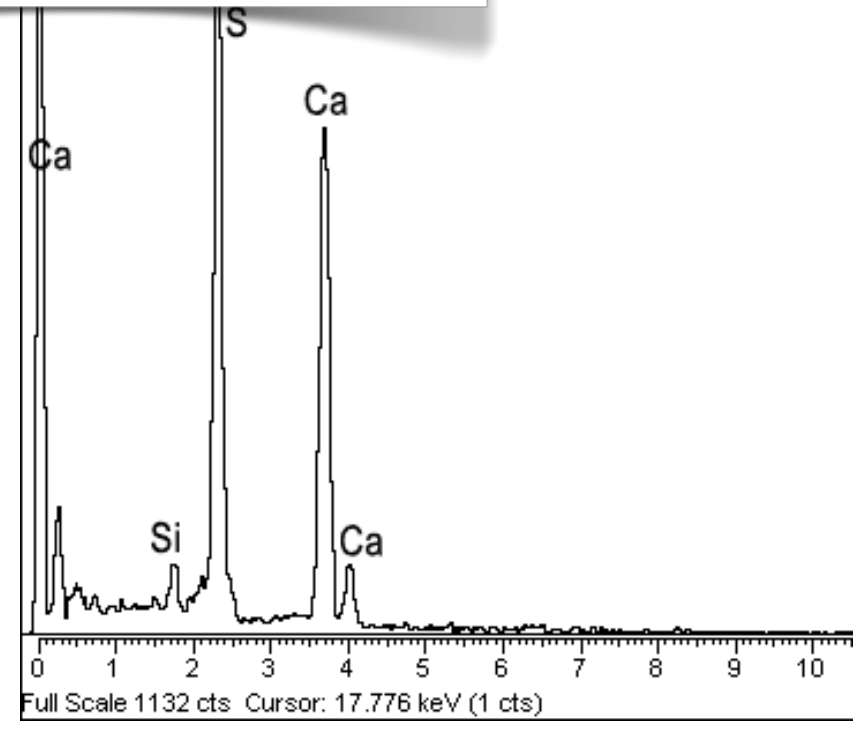
yeso



hidroxisulfato



K)



SEM-EDX

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 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, como muestran el diagrama de energías dispersivas, y se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.

● Alteración

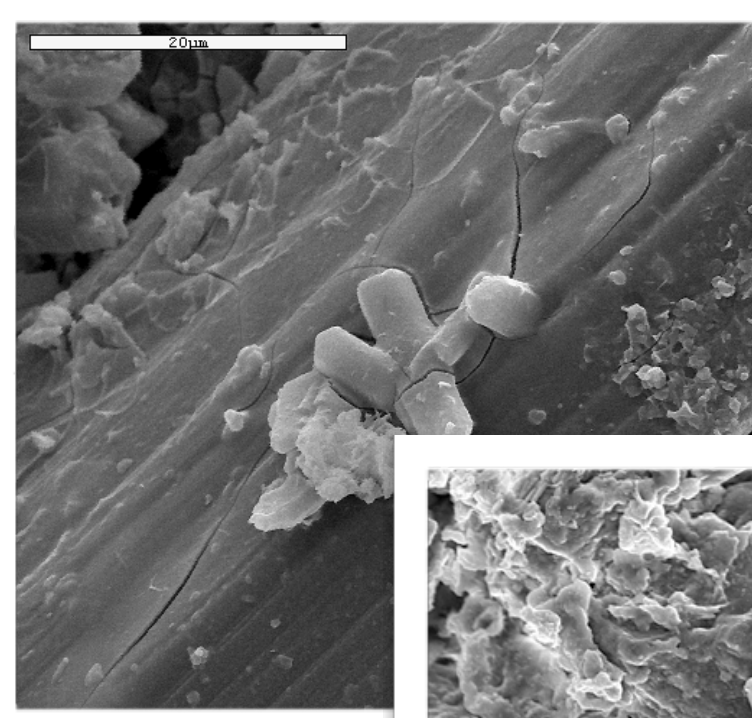
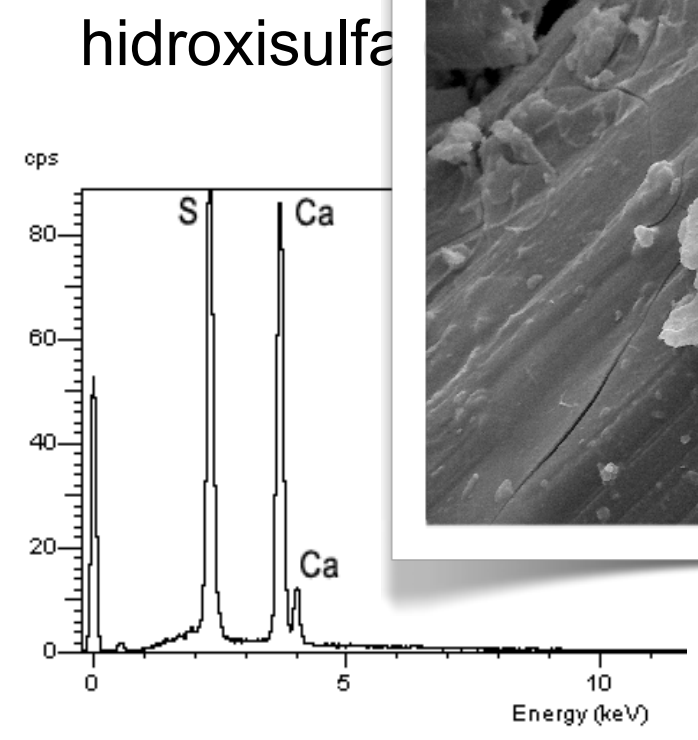
Neoformación mineral



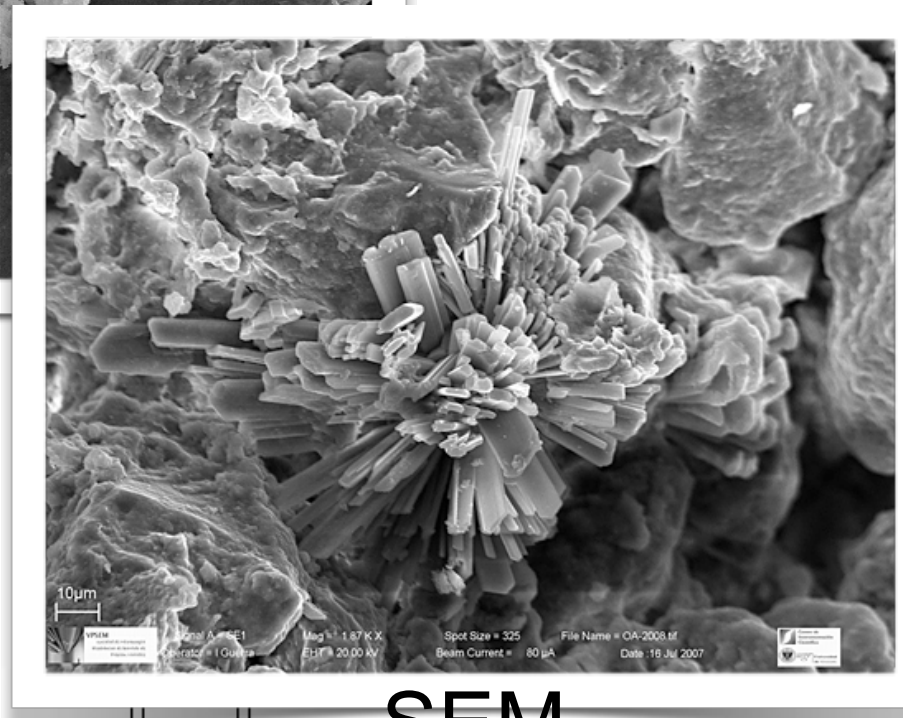
suelo con carbonatos



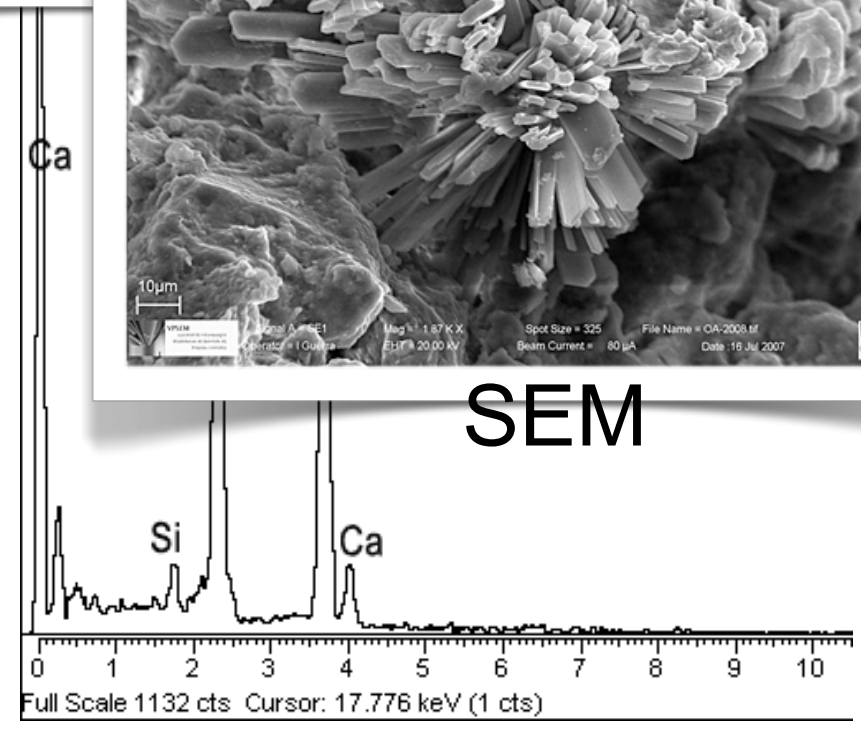
yeso



K)



SEM



SEM-EDX

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 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, como muestran el diagrama de energías dispersivas, y se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.

● Alteración

Neoformación mineral

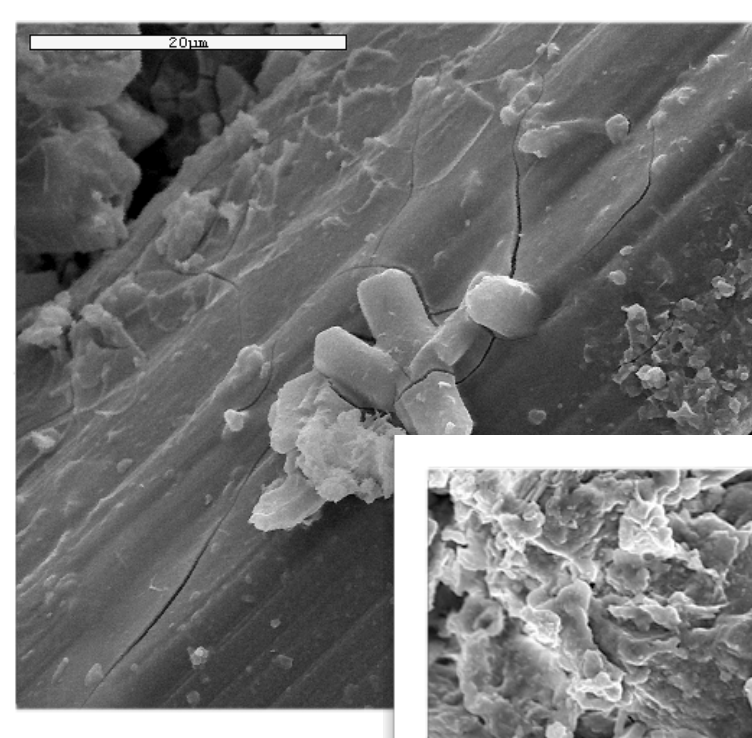
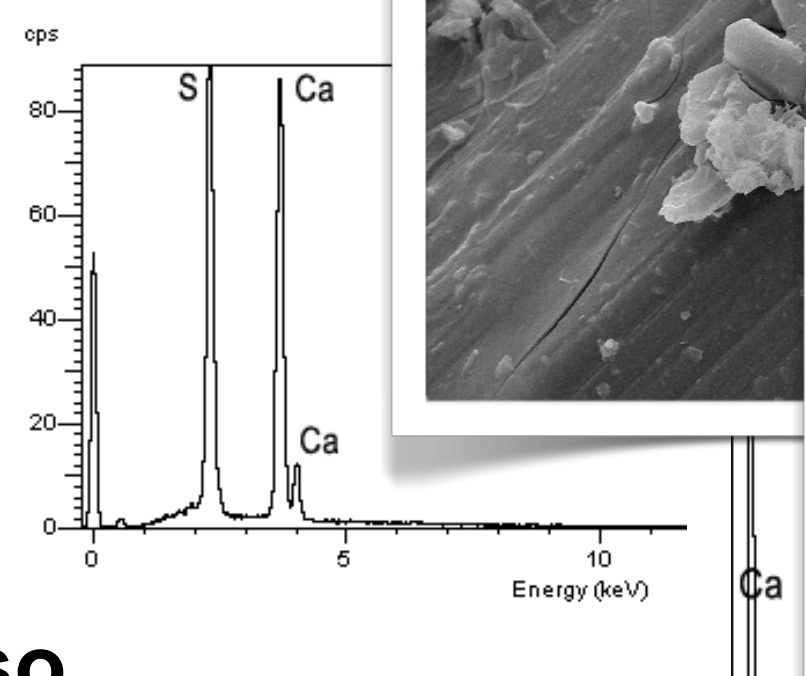


suelo con carbonatos

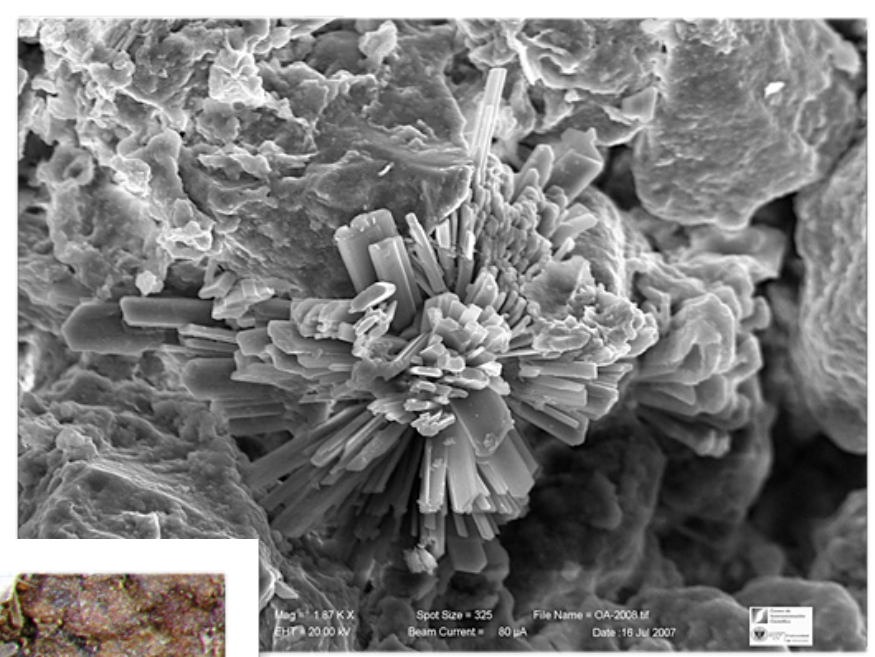


yeso

hidroxisulfato



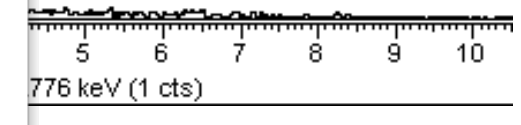
K)



SEM



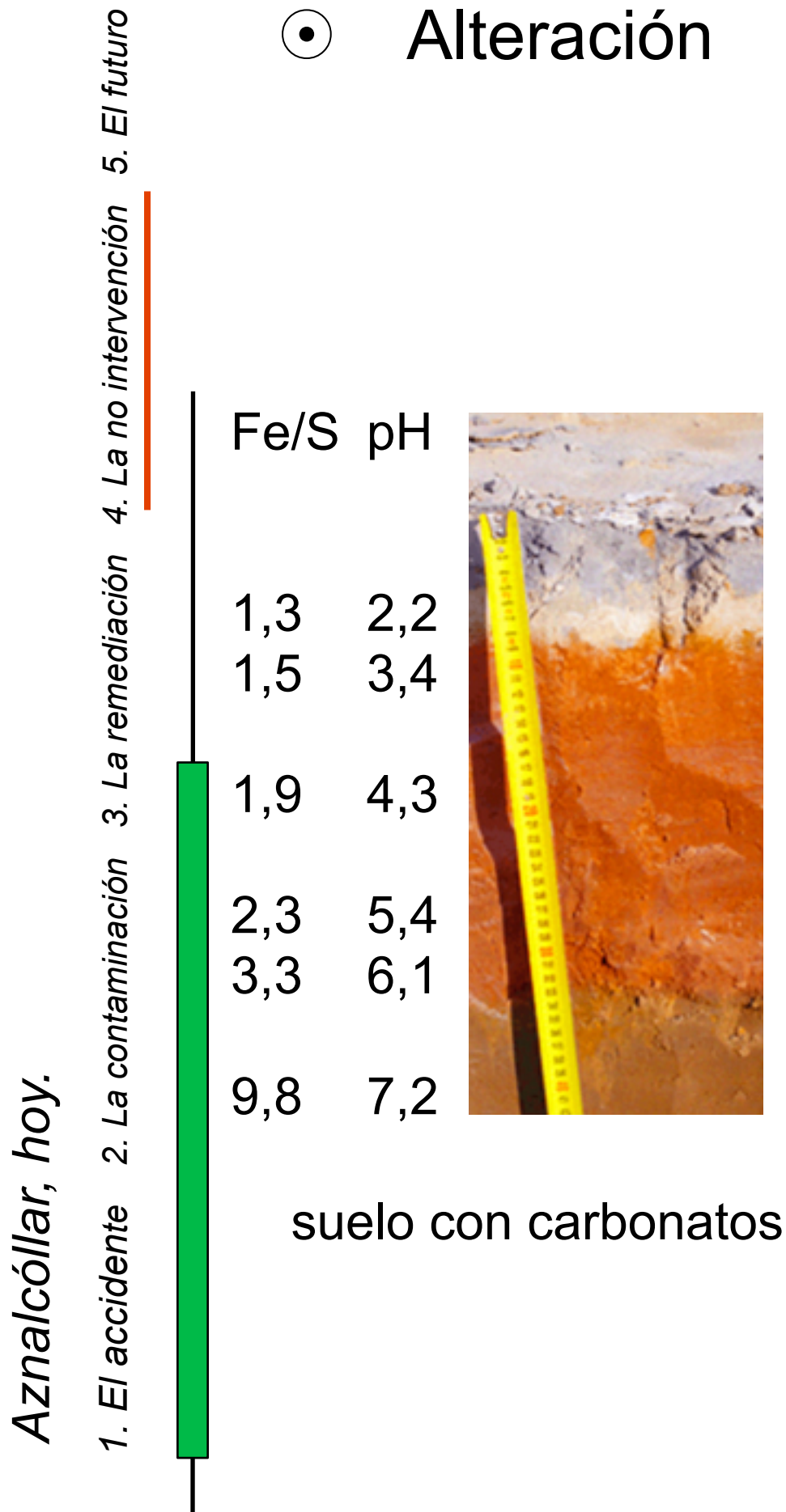
lupa binocular



SEM-EDX

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 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, como muestran el diagrama de energías dispersivas, y se distribuye por todo el perfil contaminado presentando sus típicos hábitos tabulares, en maclas y formando rosetas, visibles a simple vista.



● Alteración

Neoformación mineral

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

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.

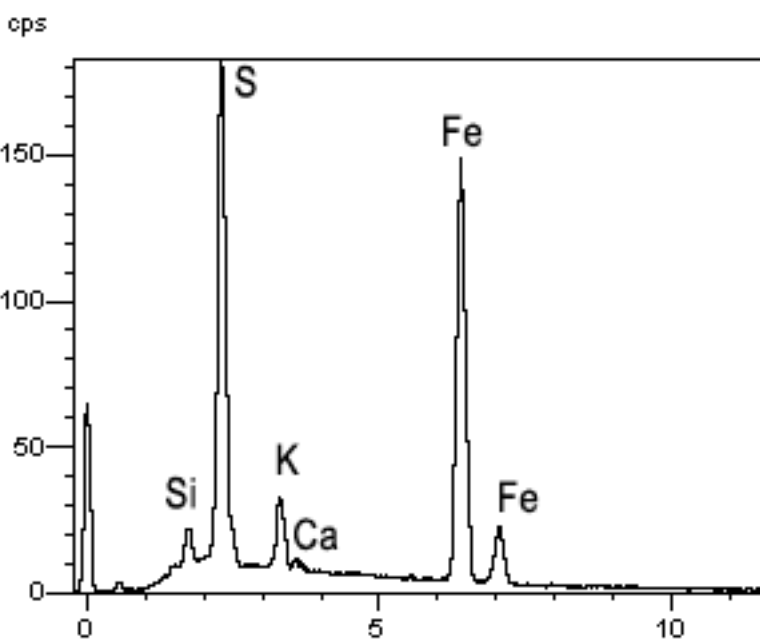
Se forma en los niveles más fuertemente ácidos y con abundancia de S, con razones molares Fe/S de entre 1,3 y 1,5.

Alteración

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



Neoformación mineral

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

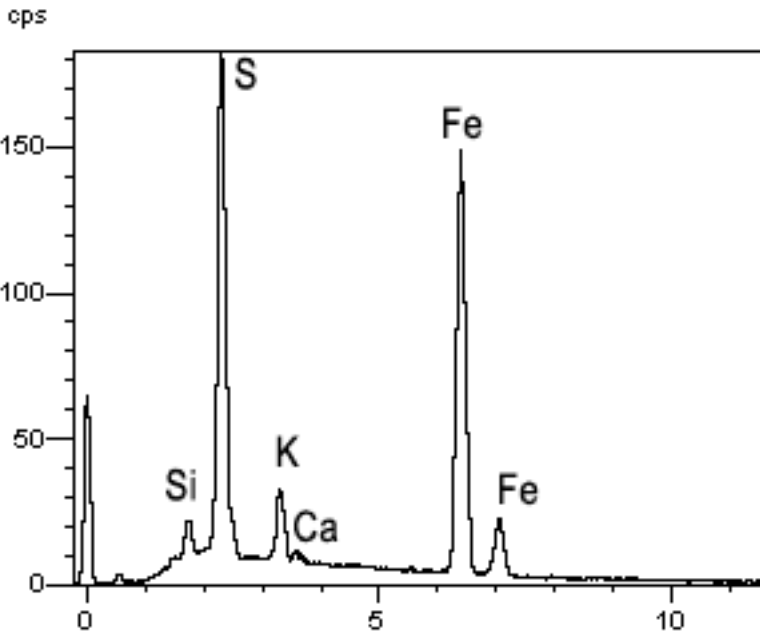
Neoformación mineral

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



↕ 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

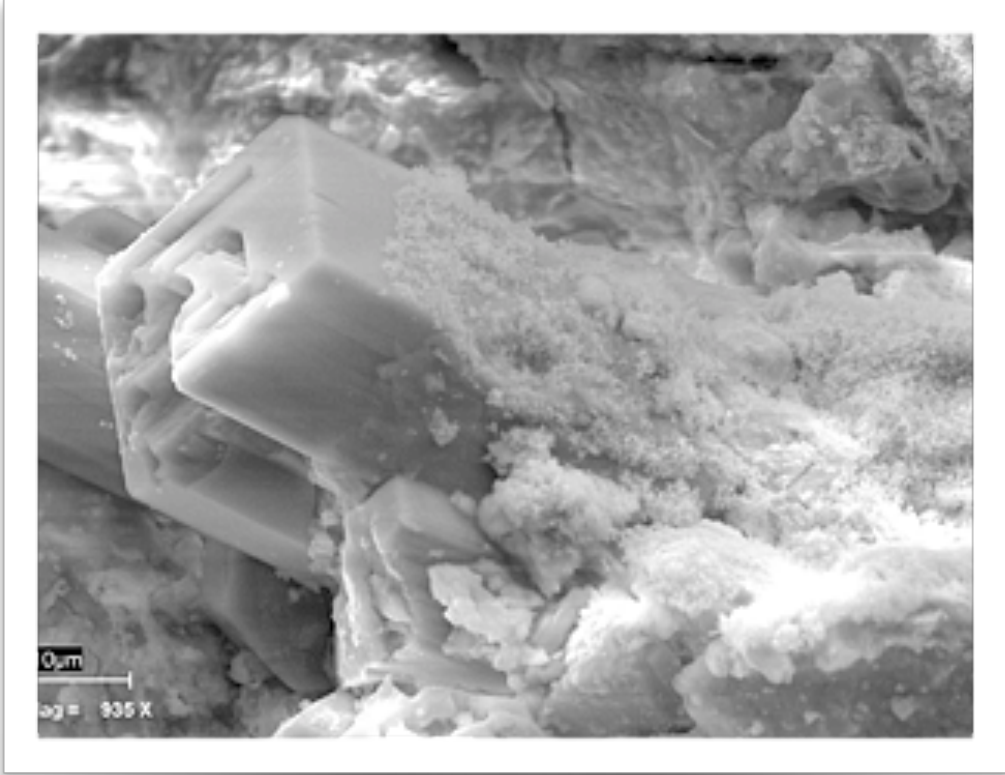
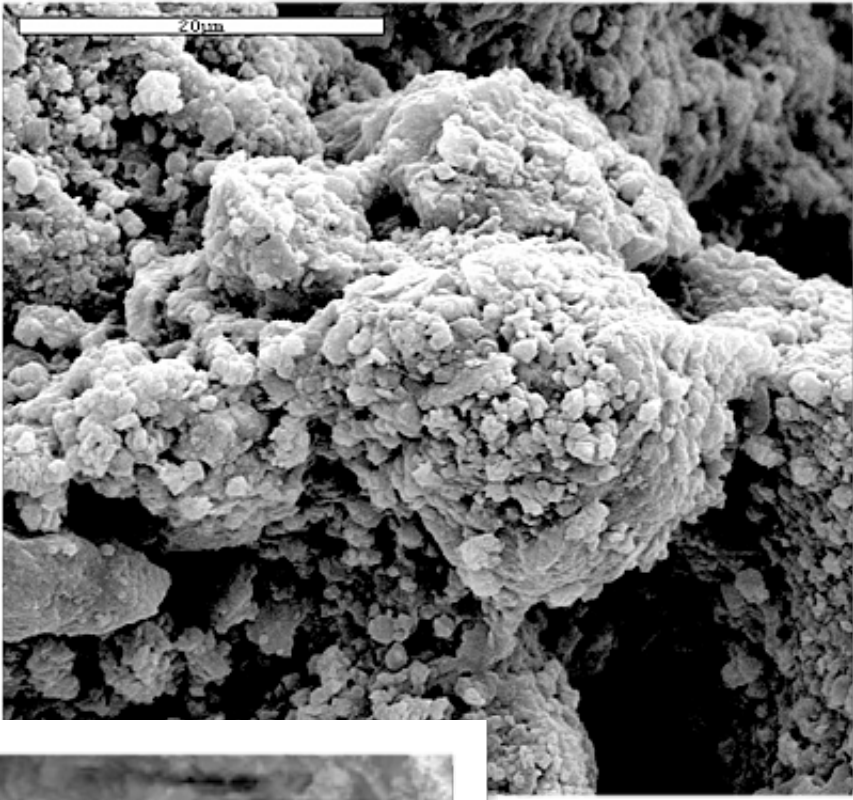
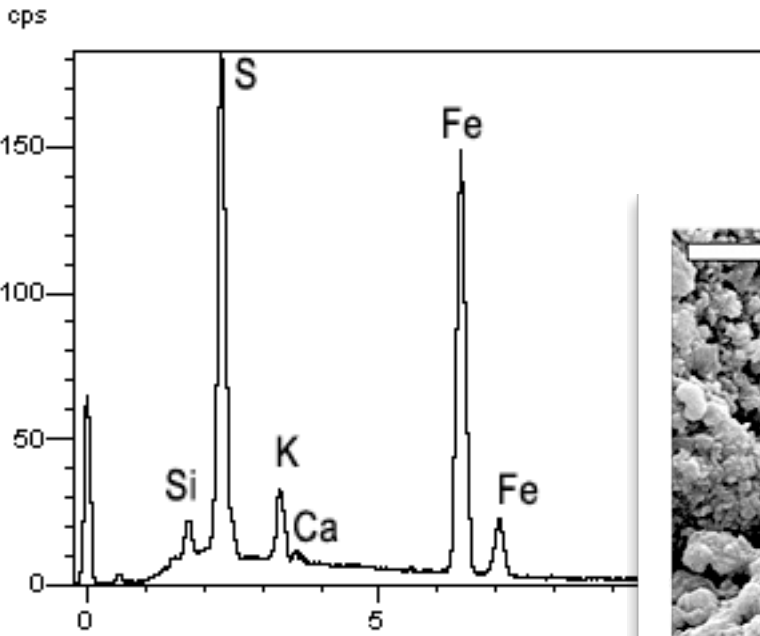
Neoformación mineral

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.

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 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 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

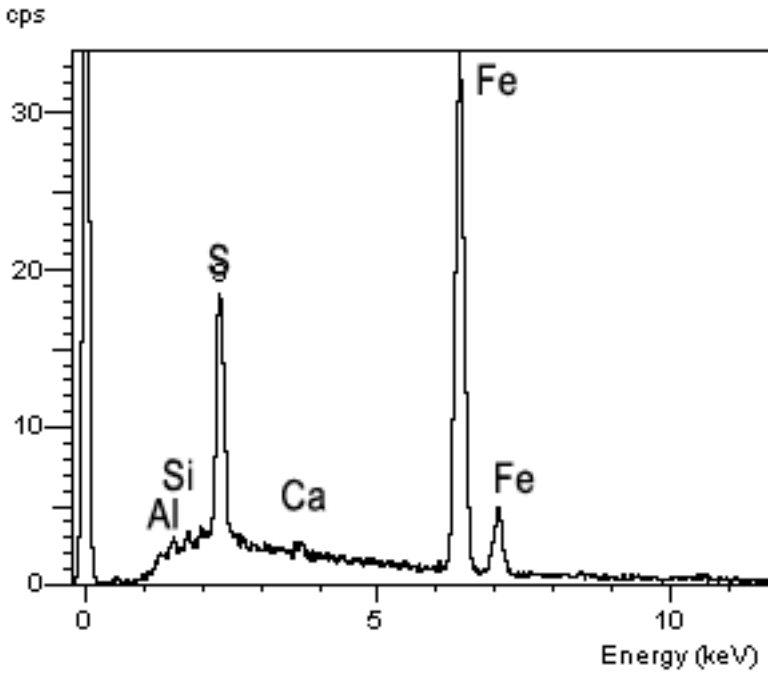
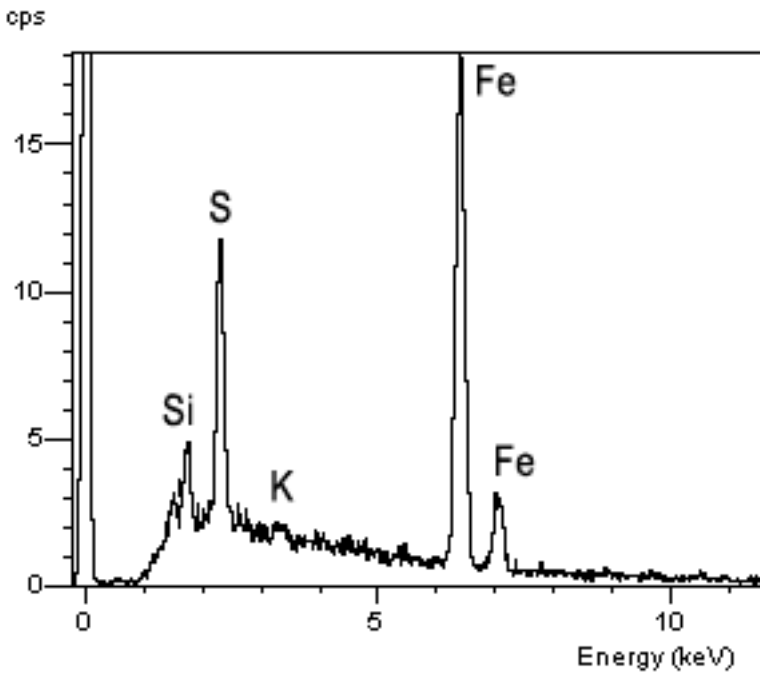
Alteración

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 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

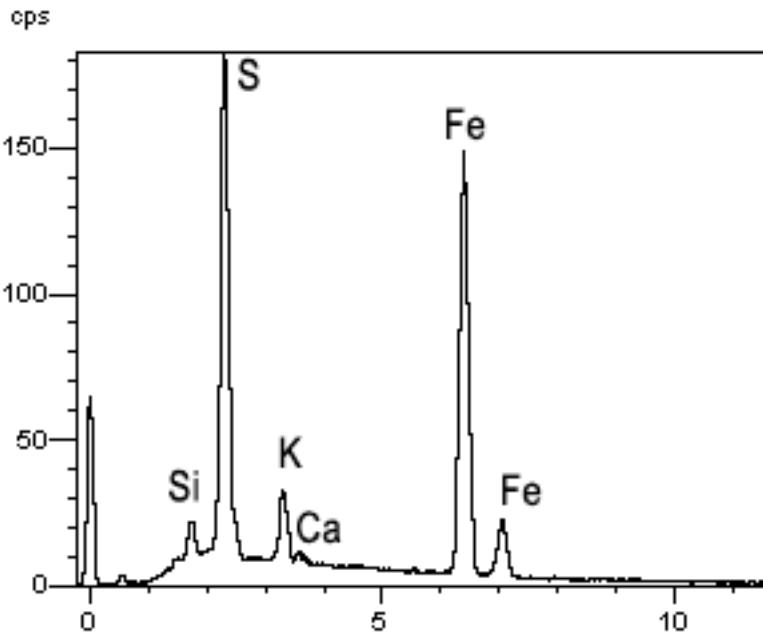
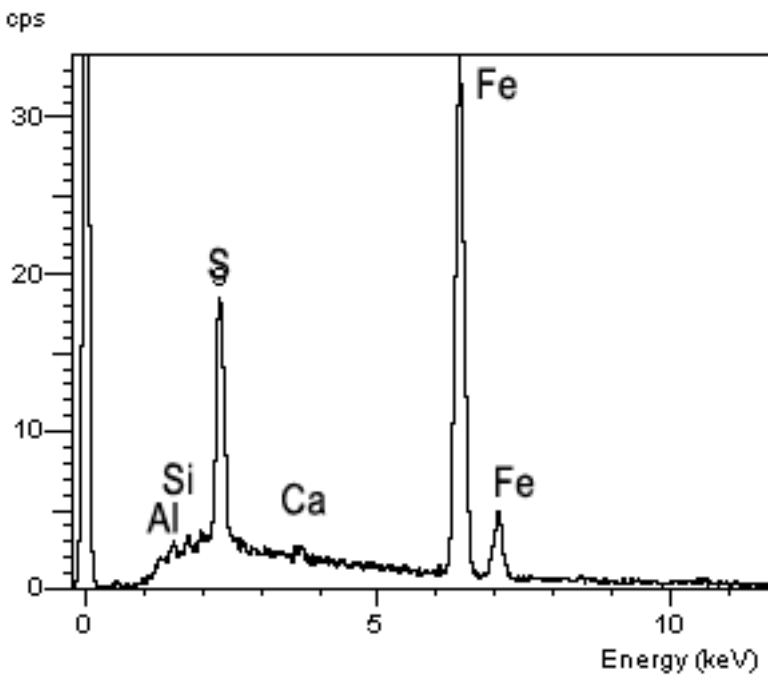
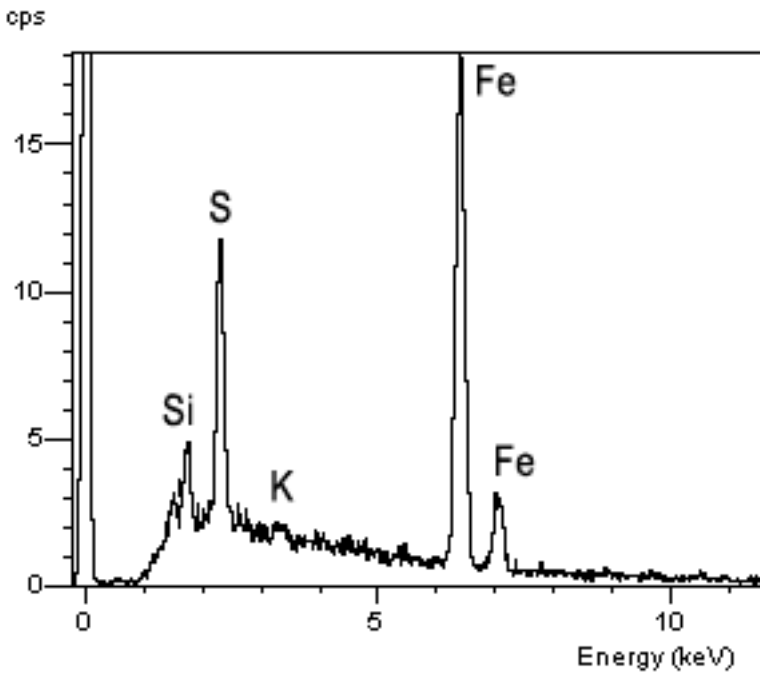
Alteración

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



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

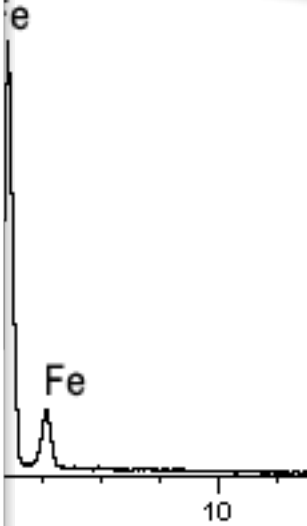
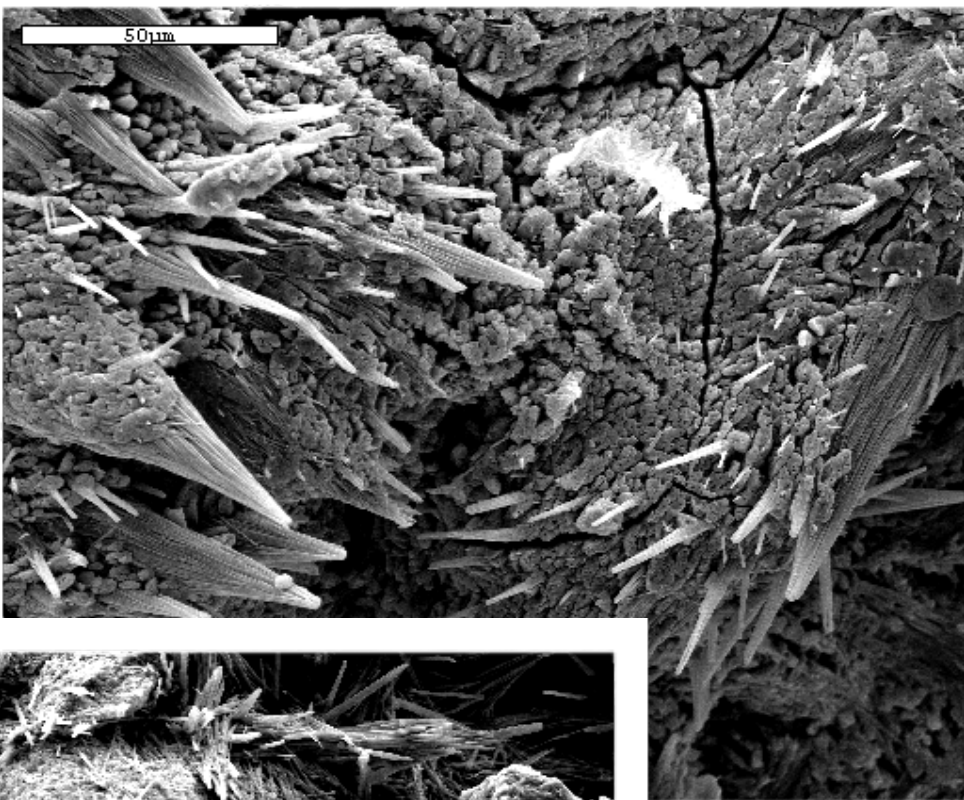
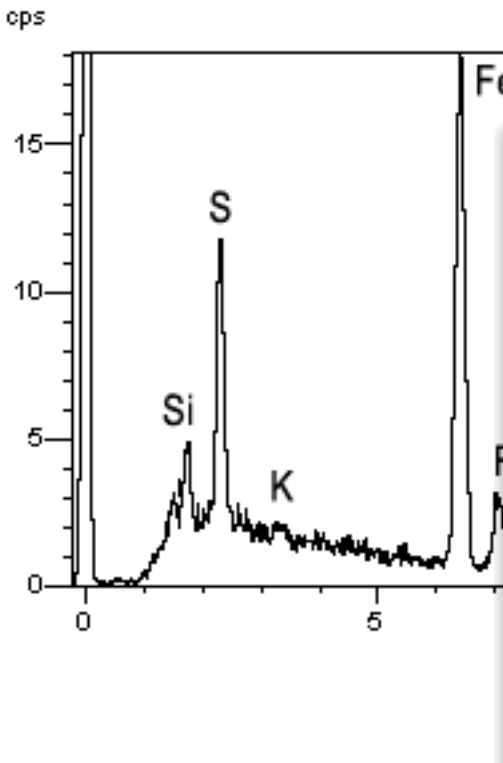
Alteración

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 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

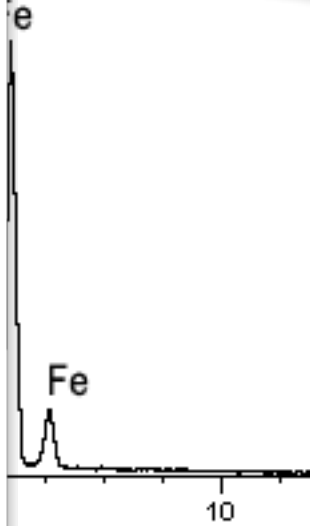
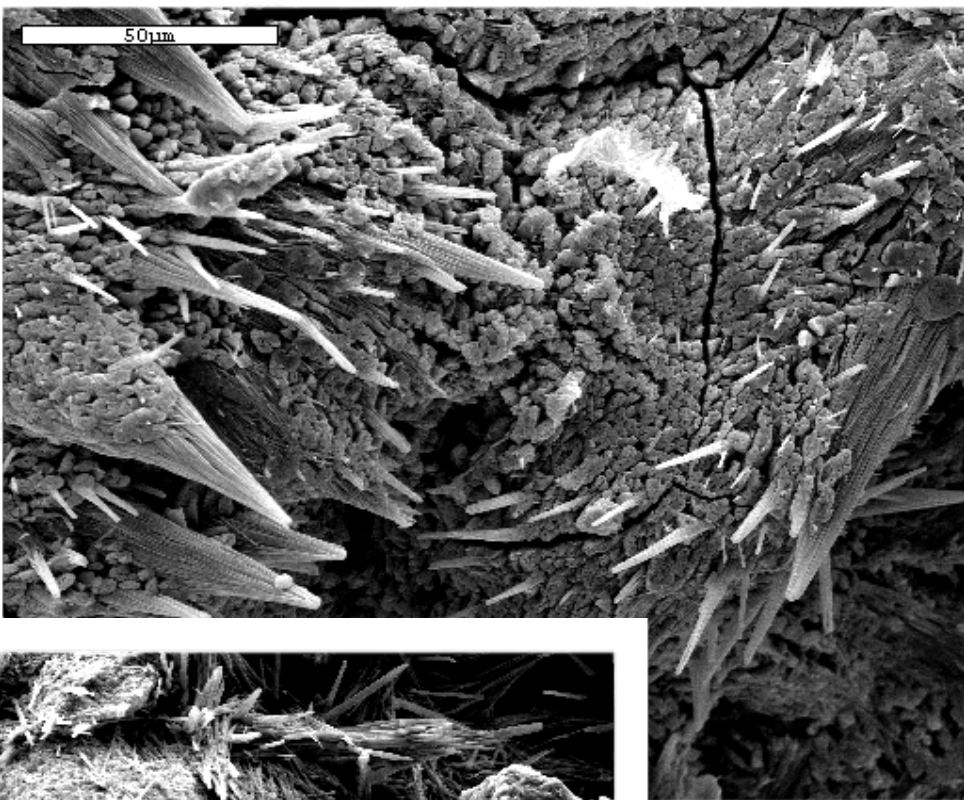
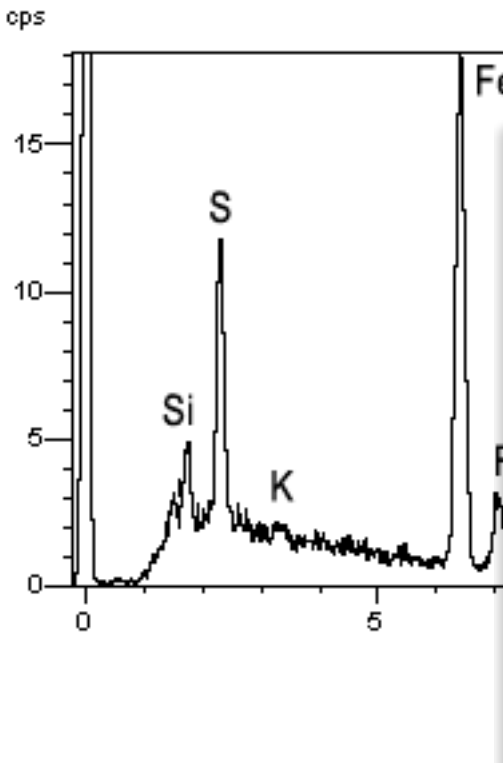
Neoformación mineral

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

fibroferrita ?



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

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, y noas condiciones de pH no tan extremas, 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

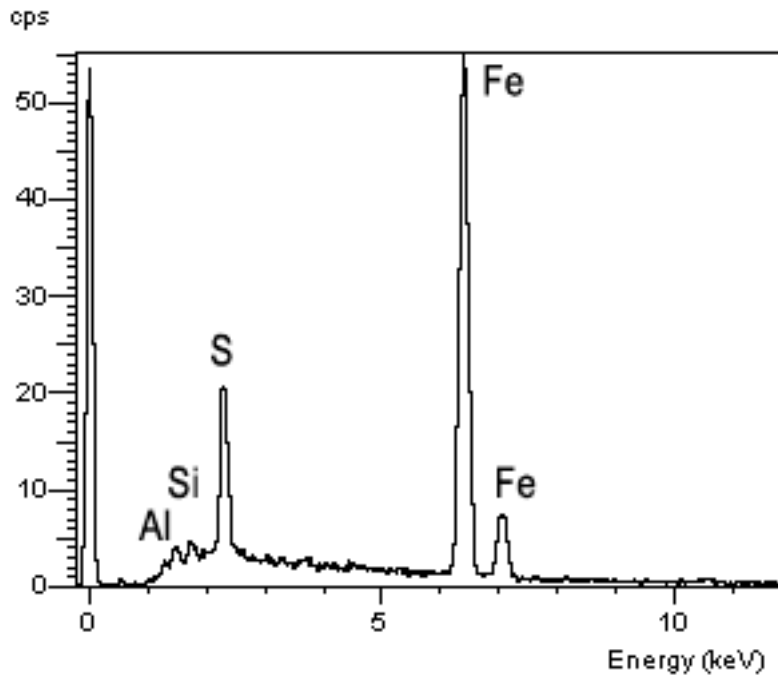
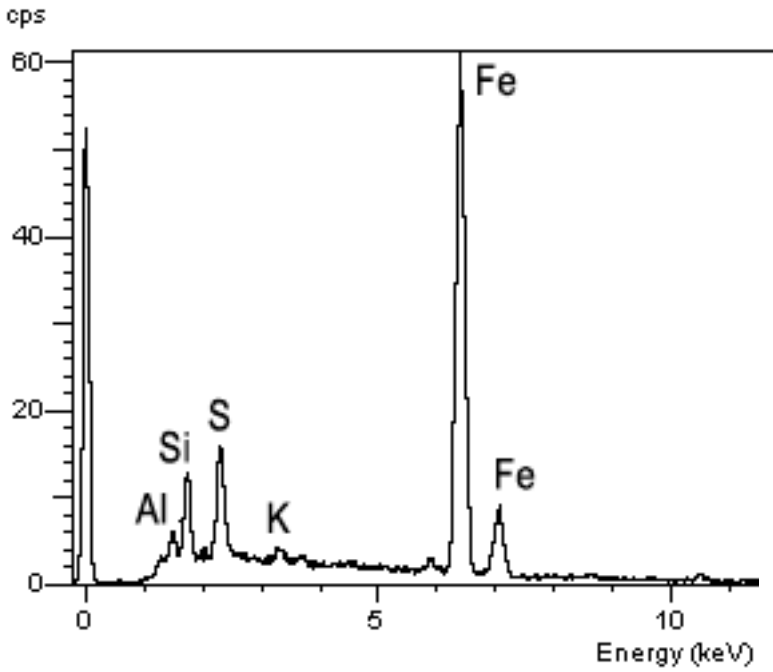
Similar a la situación anterior, algo más profundo, aparecen otros hidroxisulfatos de Fe, ya con menos S que la fibroferrita, y noas condiciones de pH no tan extremas, que podría corresponder a una variedad del tipo de la schwertmanita.

Alteración

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



Neoformación mineral

Similar a la situación anterior, algo más profundo, aparecen otros hidroxisulfatos de Fe, ya con menos S que la fibroferrita, y noas condiciones de pH no tan extremas, que podría corresponder a una variedad del tipo de la schwertmanita.

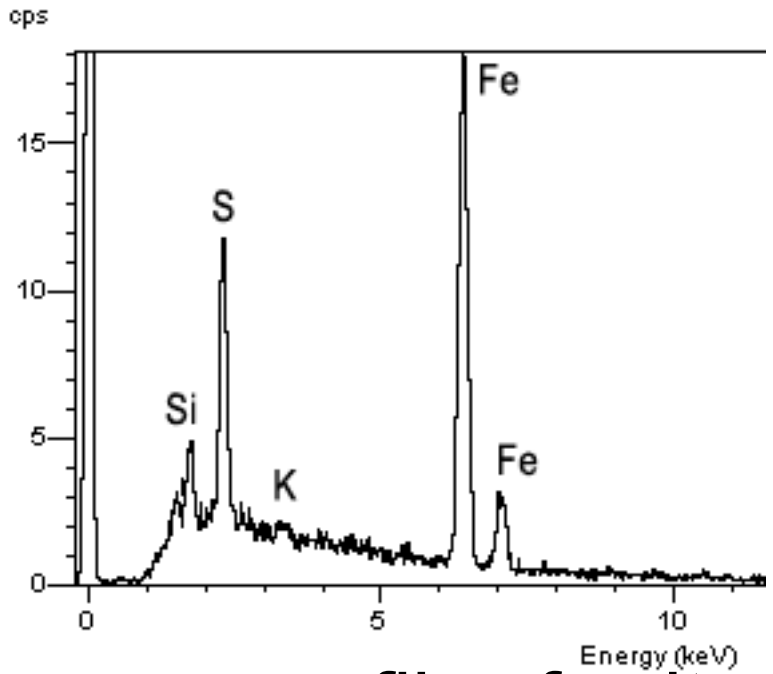
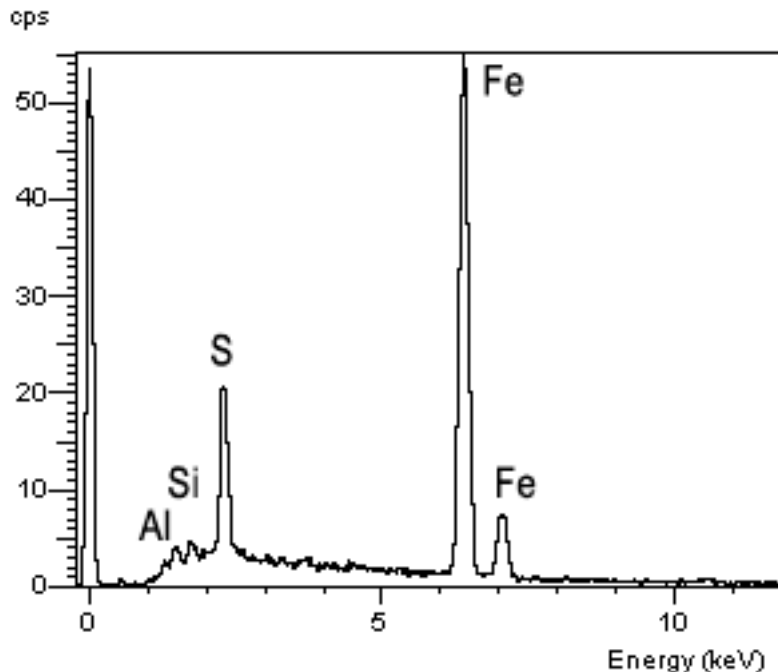
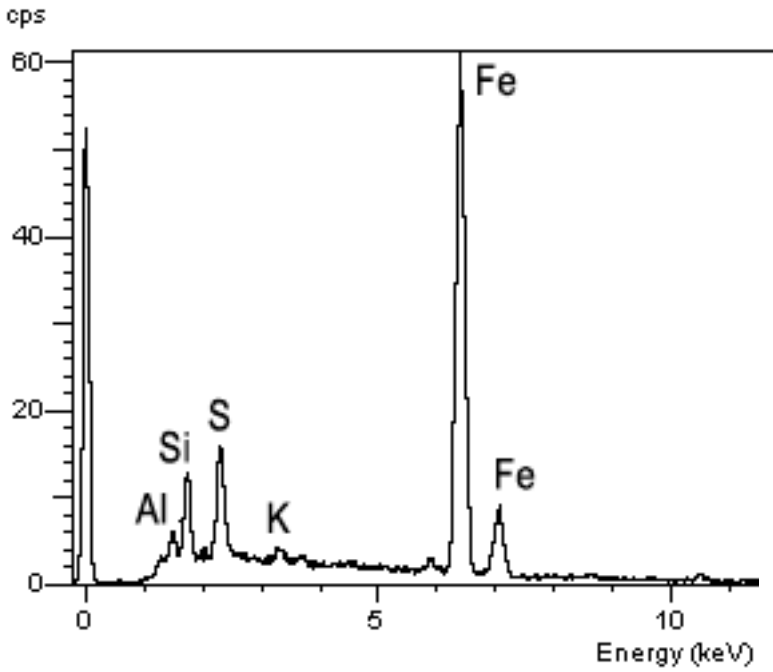
Alteración

Neoformación mineral

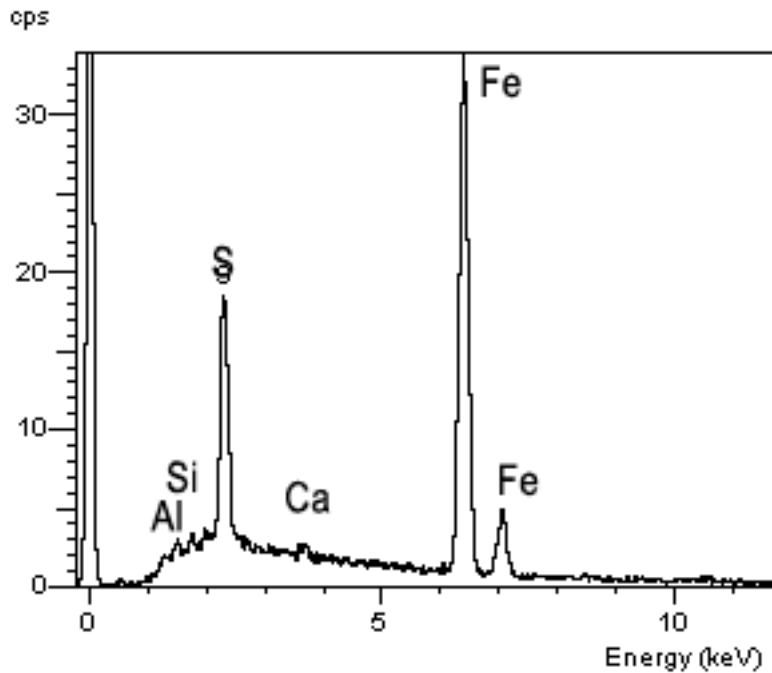
Fe/S	pH
1,3	2,2
1,5	3,4
1,9	4,3
2,3	5,4
3,3	6,1
9,8	7,2



suelo con carbonatos



fibroferrita



Similar a la situación anterior, algo más profundo, aparecen otros hidroxisulfatos de Fe, ya con menos S que la fibroferrita, y noas condiciones de pH no tan extremas, que podría corresponder a una variedad del tipo de la schwertmanita.

Alteración

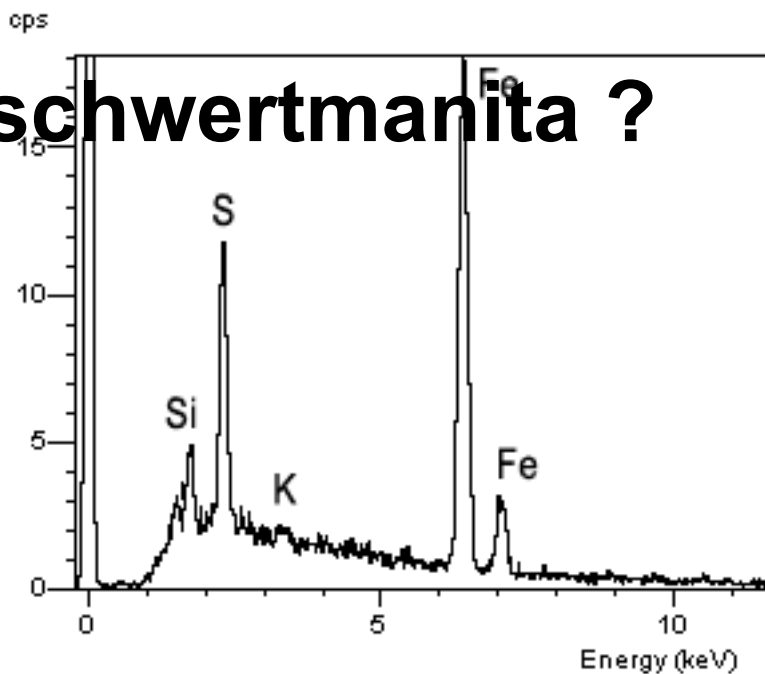
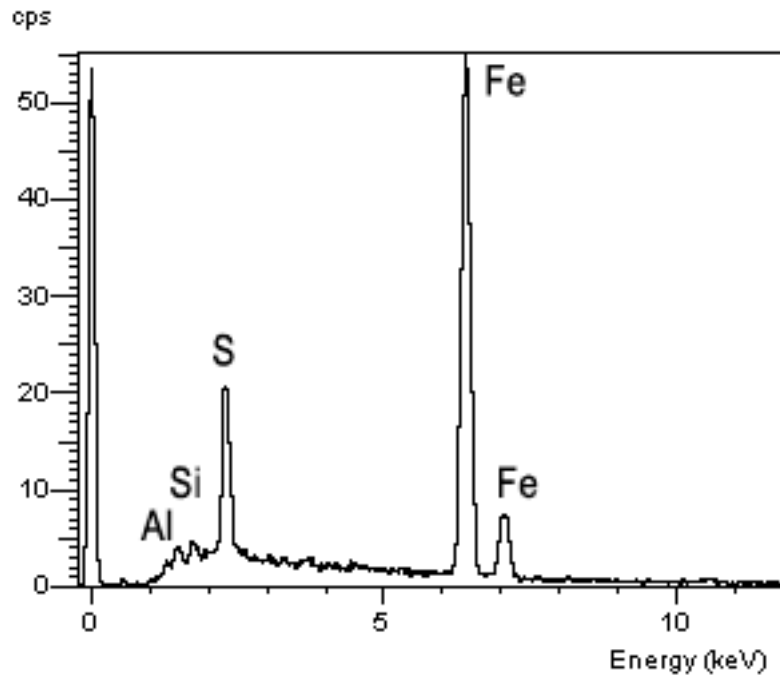
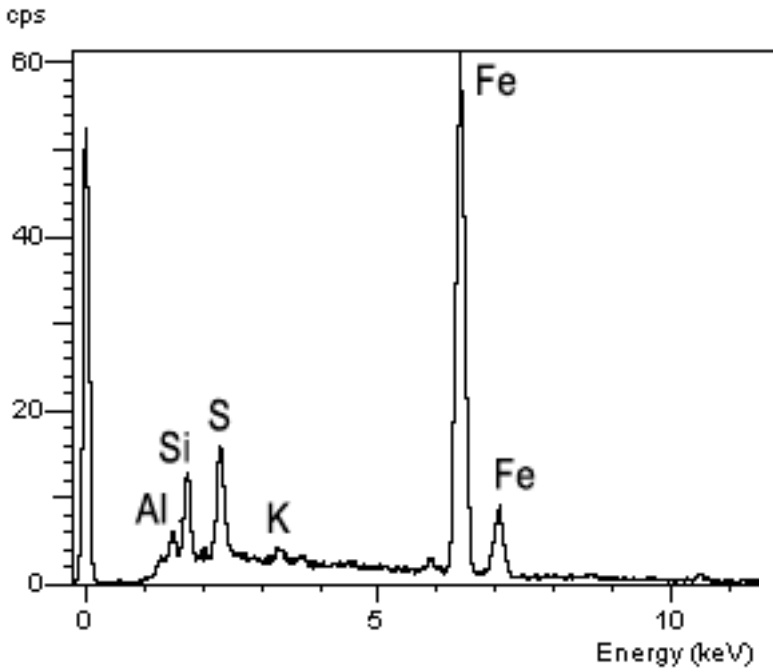
Neoformación mineral

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

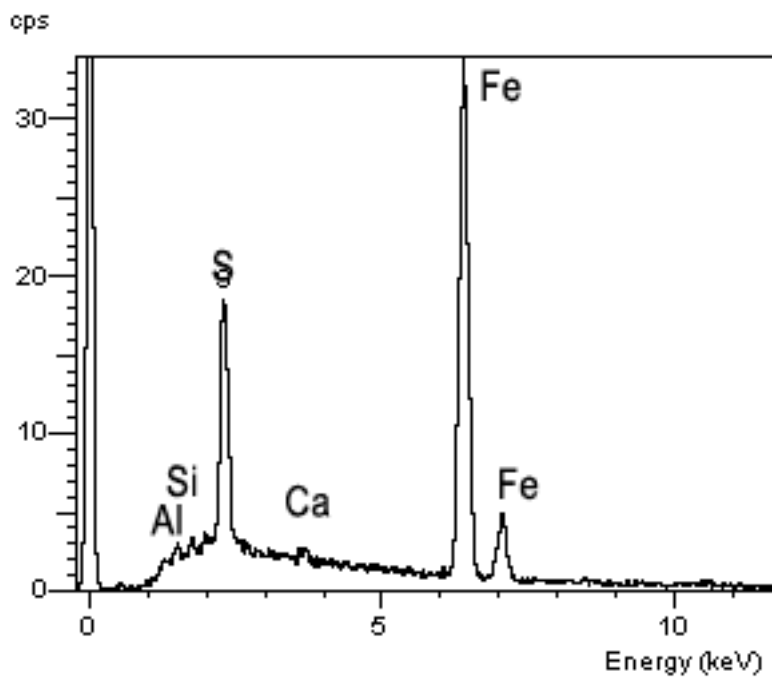


suelo con carbonatos

schwertmanita ?



fibroferrita



Similar a la situación anterior, algo más profundo, aparecen otros hidroxisulfatos de Fe, ya con menos S que la fibroferrita, y noas condiciones de pH no tan extremas, 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

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

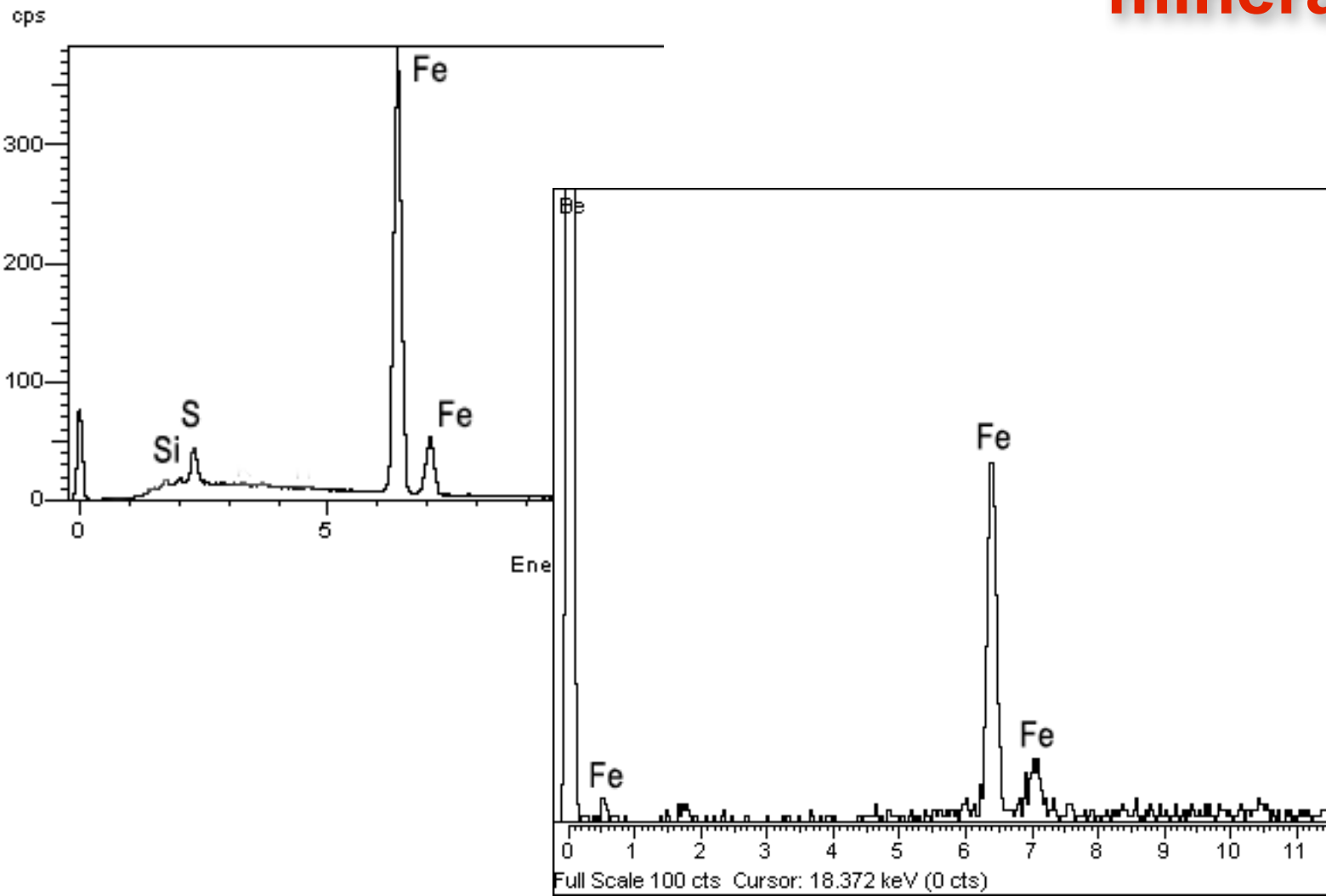
Alteración

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

Alteración

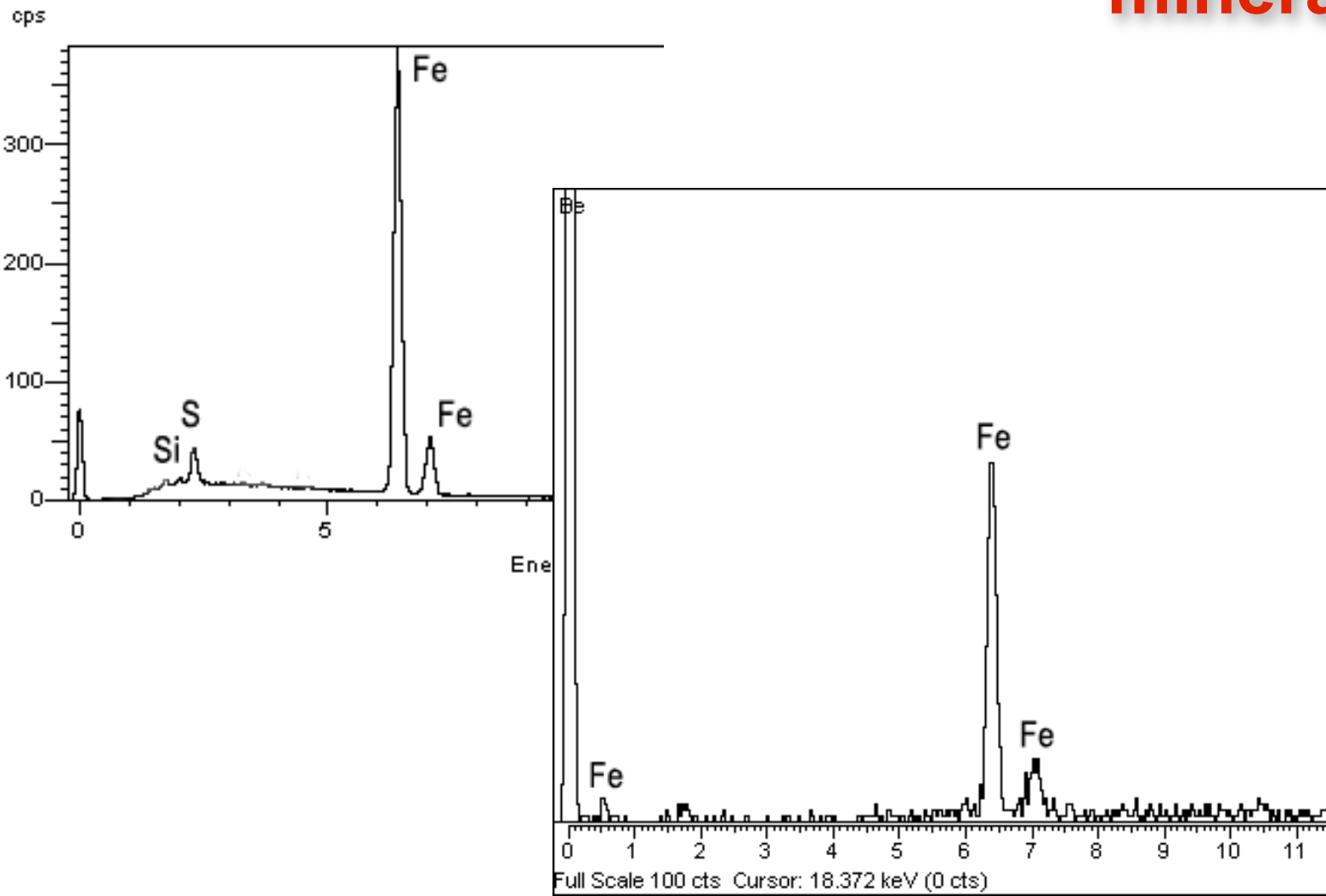
Neoformación mineral

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

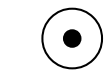


↕ ferrihidrita, goethita, hematites

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



Alteración

originales
neoformados

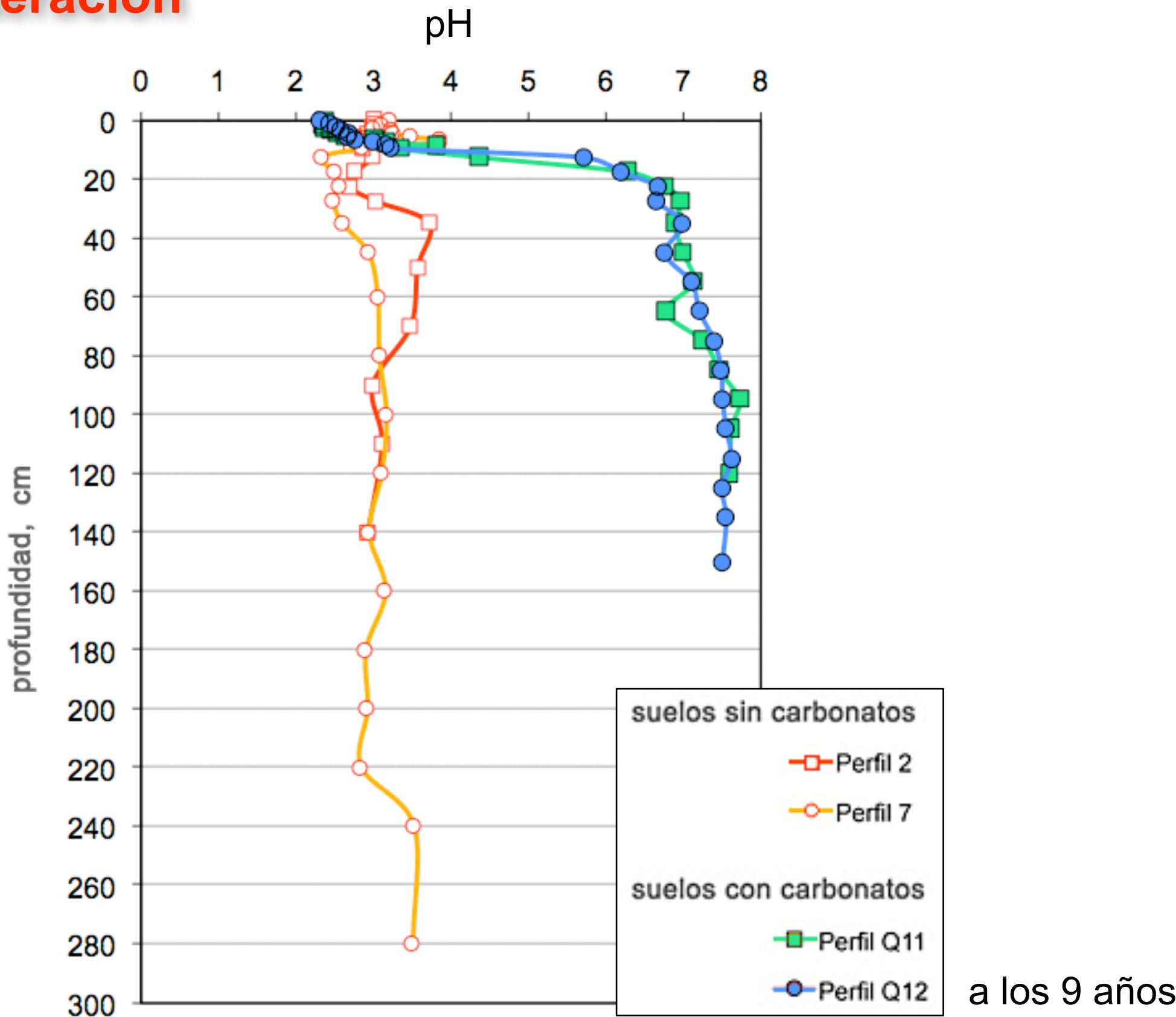
	Suelo no contaminado	2 meses	15 meses	4 años
Cuarzo	45%	45%	45%	50%
Feldespatos	20%	20%	15%	10%
Filosilicatos	20%	20%	20%	10%
Carbonatos	15%	5%	0%	0%
Yeso	0%	5%	10%	15%
Jarosita	0%	0%	5%	15%
oxihidróxisulfatos de Fe	—	—	n. d.	n. d.
oxihidróxidos de Fe	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.

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



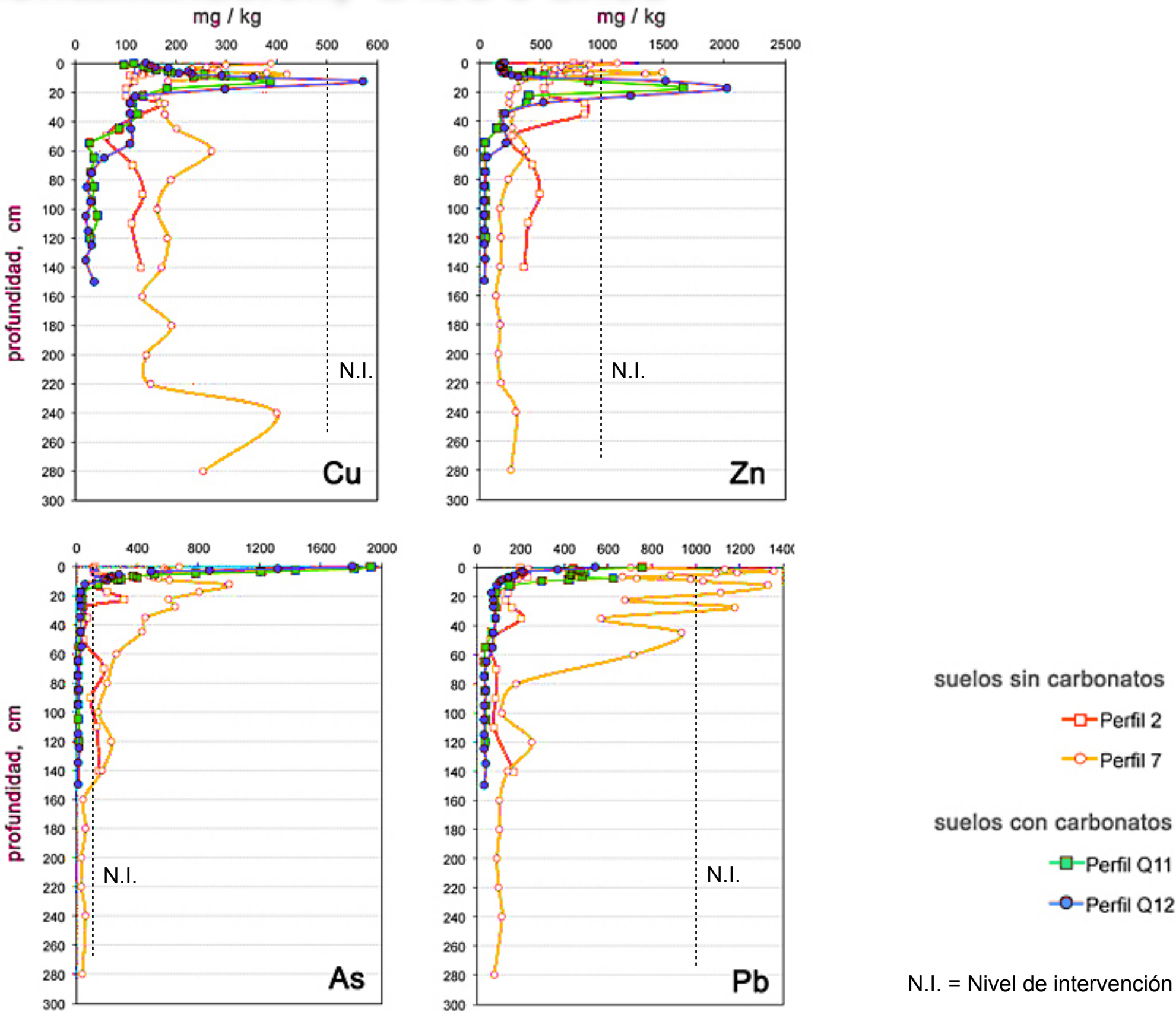
La alteración se pone también claramente de manifiesto en el pH del suelo.

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



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.

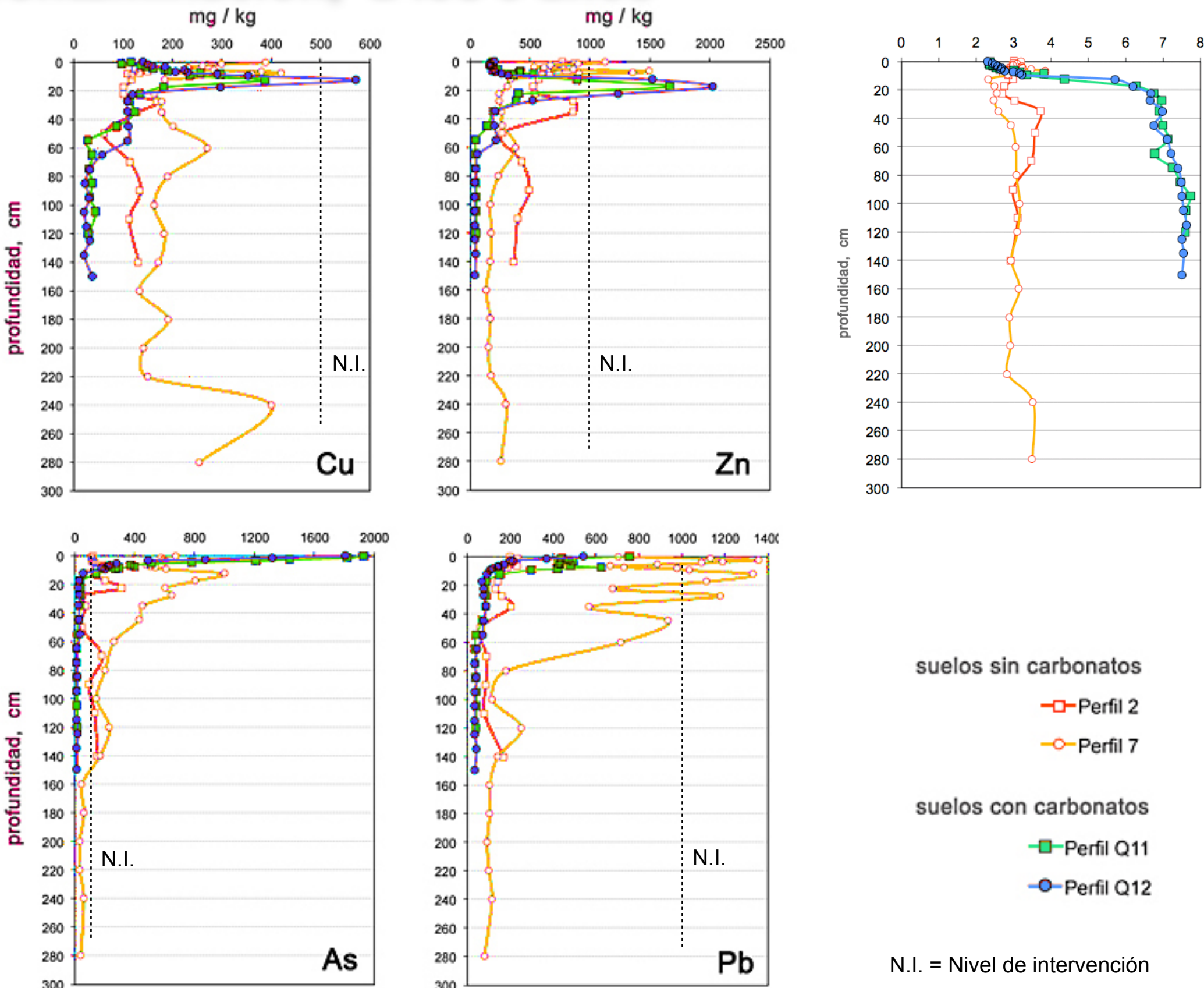
En los suelos sin CO₃ (con líneas roja y naranja) claramente es más intensa y profunda que los que si contienen CO₃ (líneas verde y azul). La conta en los suelos con CO₃ se concentra en los primeros cm del suelo en los que es muy intensa (en los primeros mm para el As y el Pb), en los hor de pH ácido; 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.

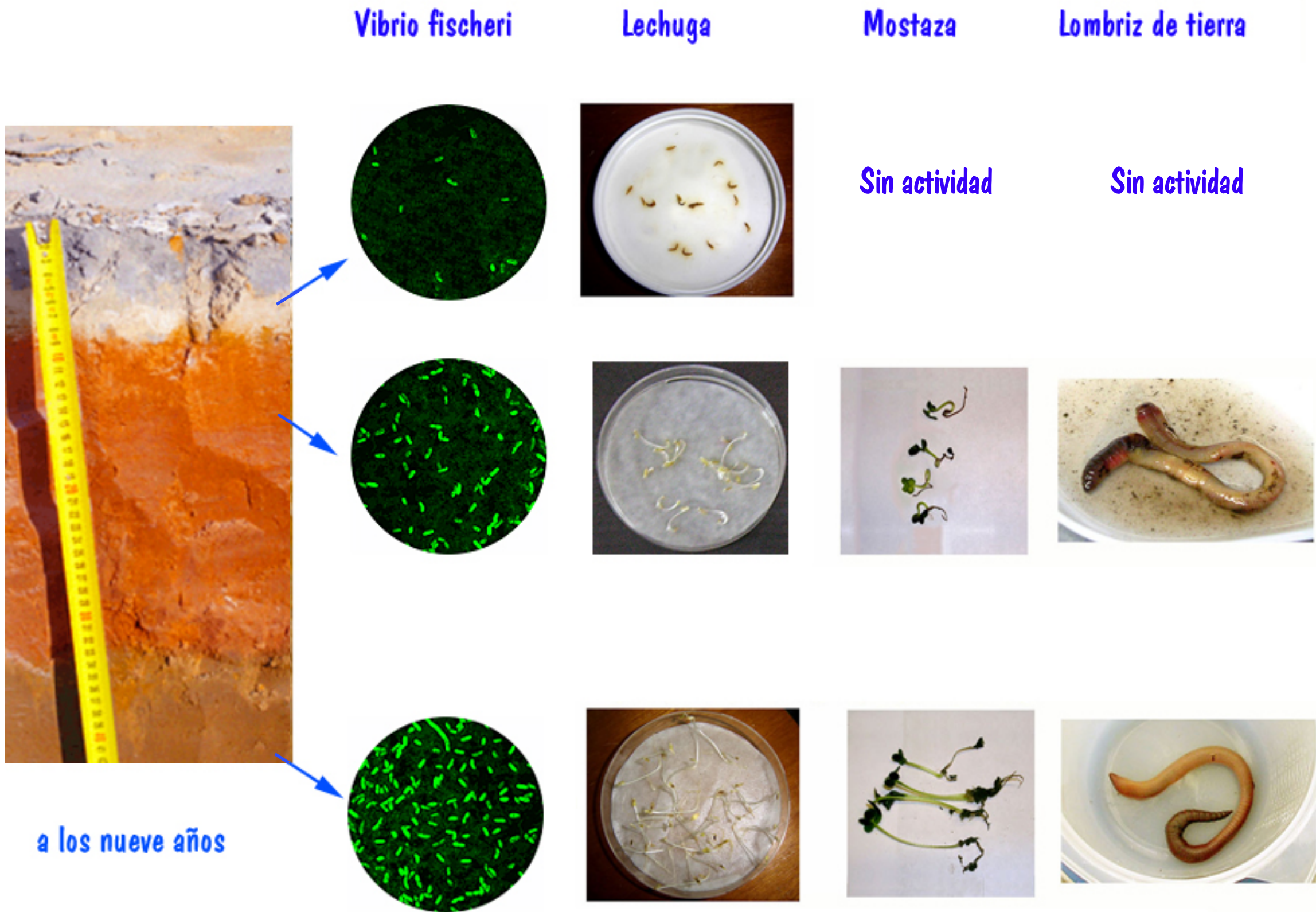
Aznalcóllar, hoy.

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



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

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.

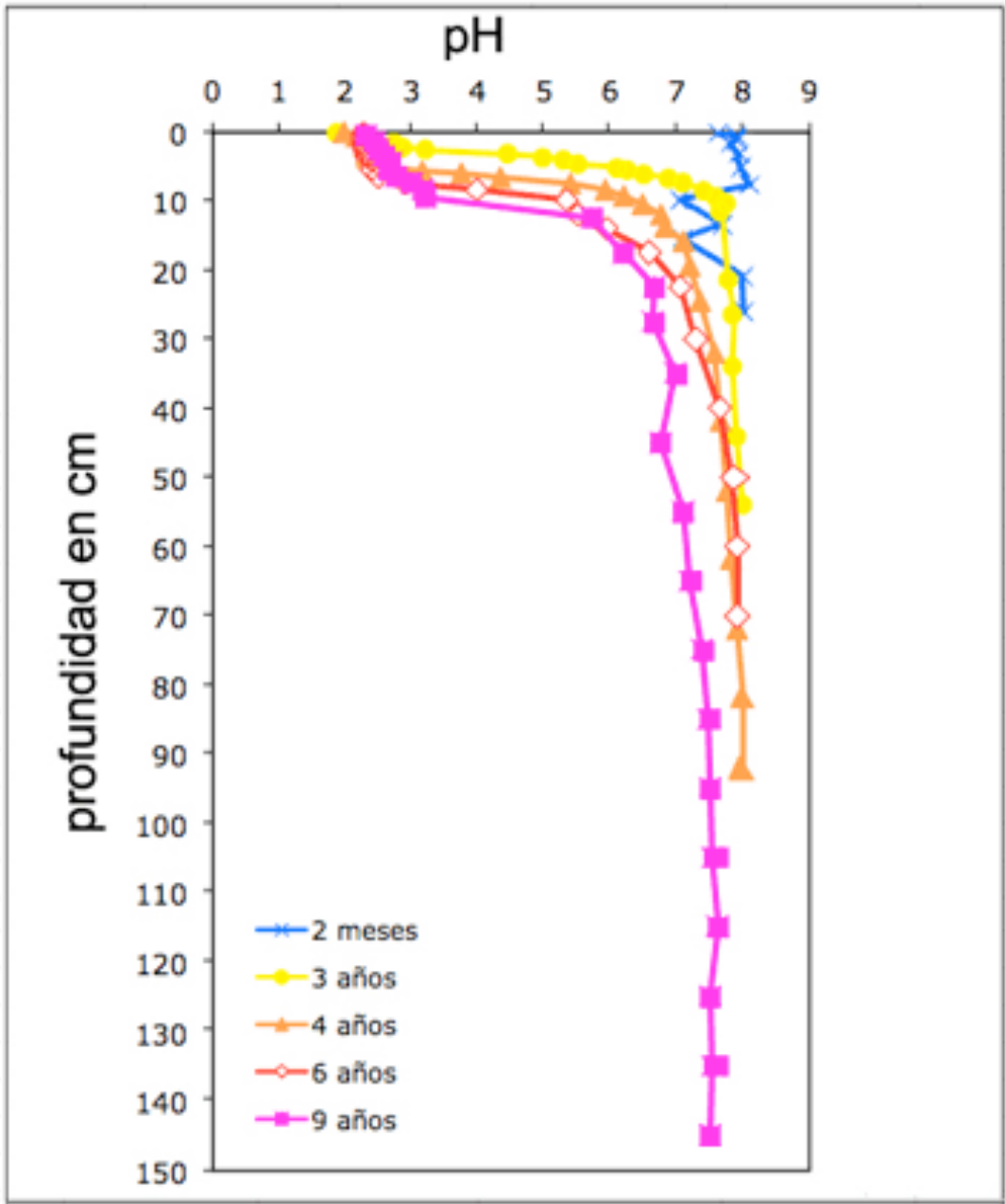


• 5 Una mirada al futuro

Y para terminar, vamos a permitirnos una mirada al futuro.
¿Qué futuro podemos esperar para la zona?

Parcelas sin intervención

Alteración

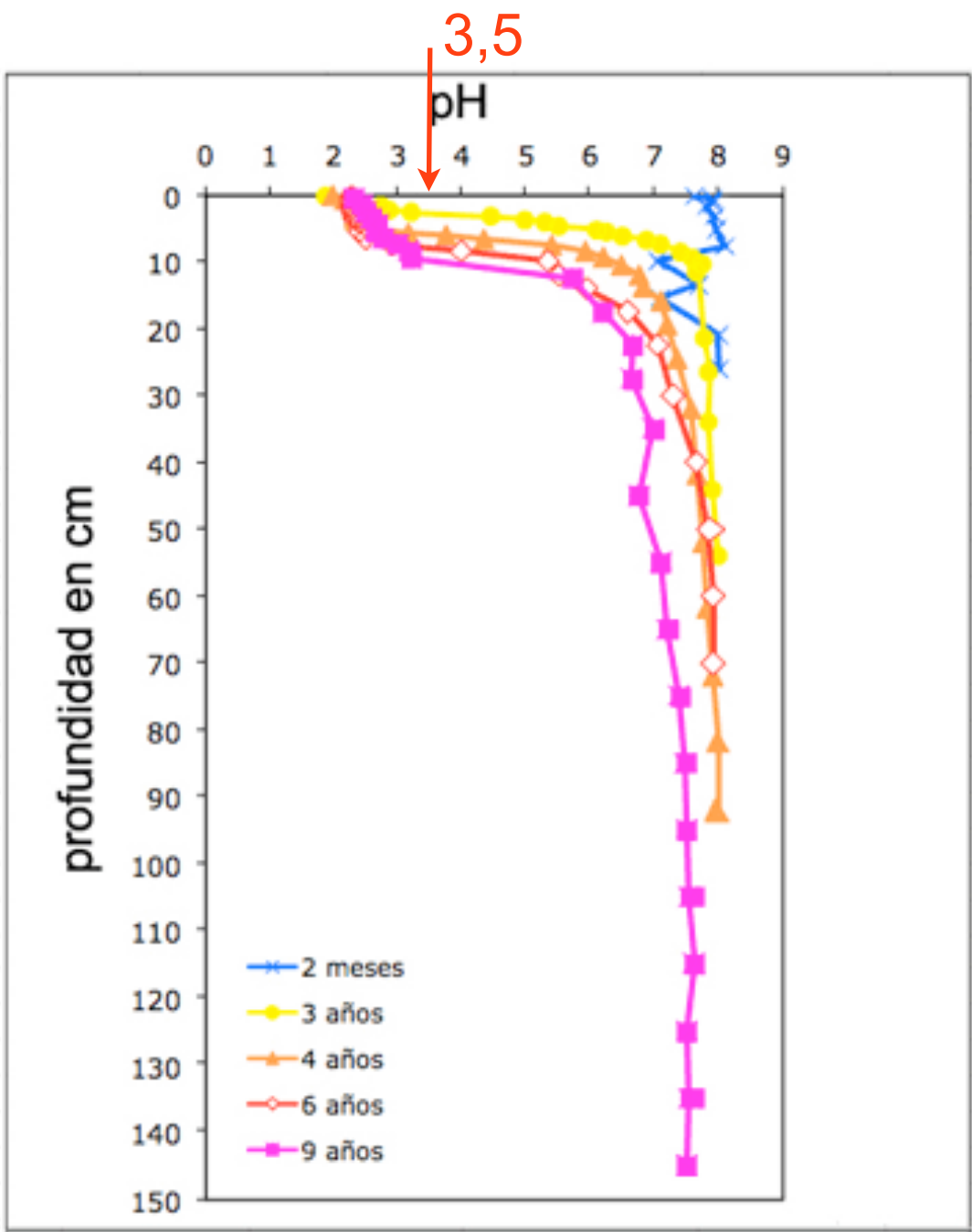


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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.

Parcelas sin intervención

Alteración

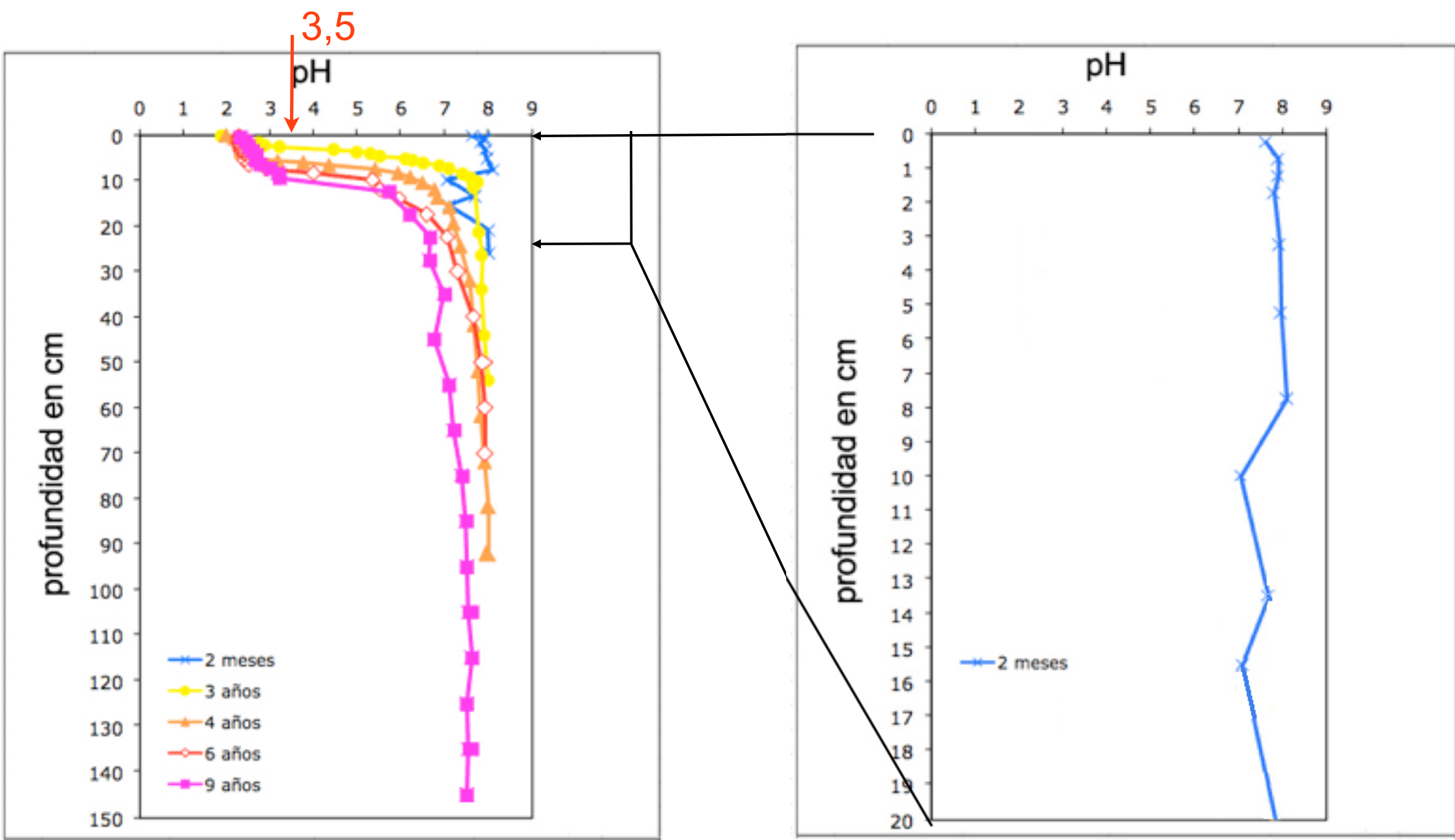


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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.

Parcelas sin intervención

Alteración

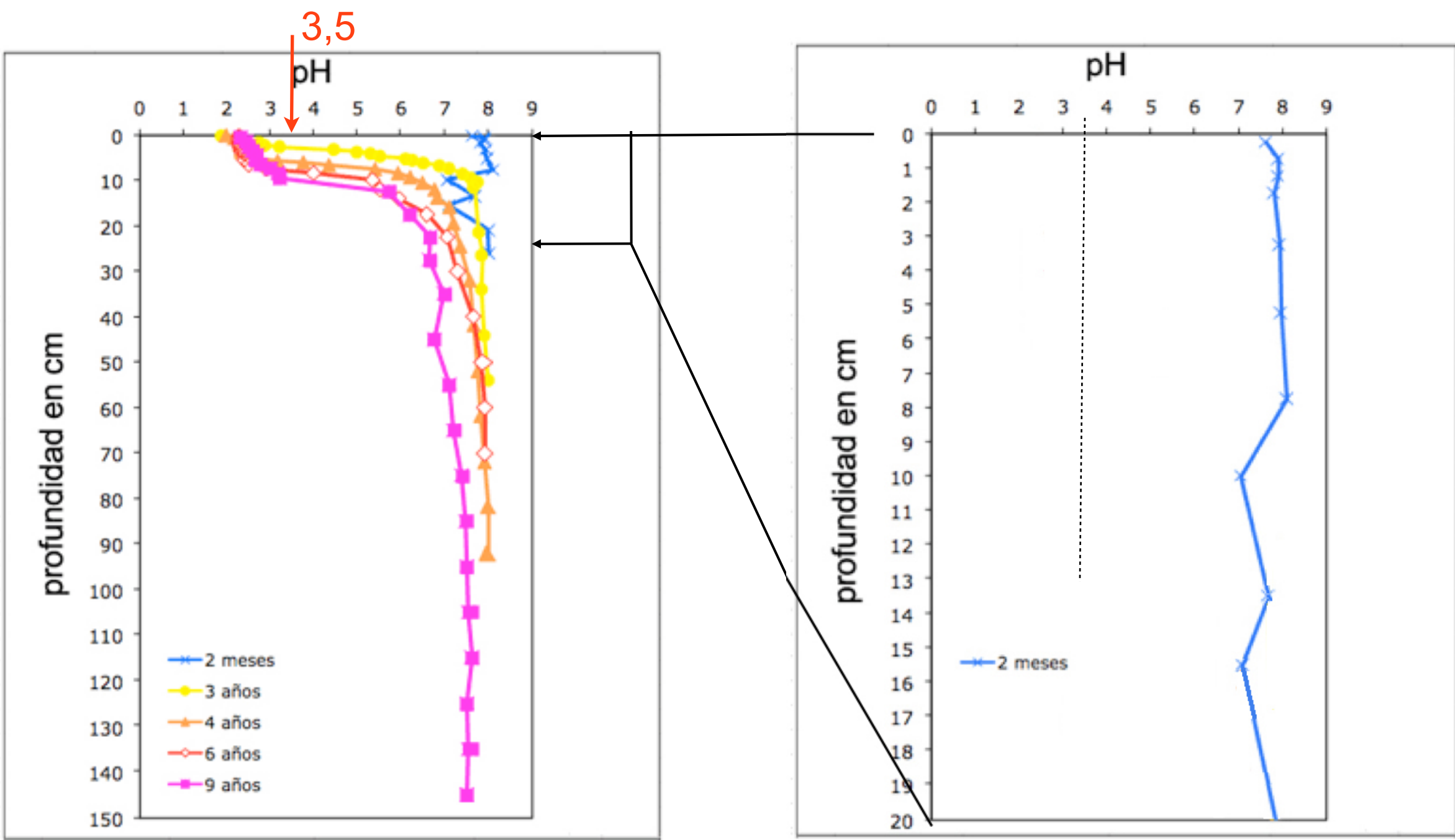


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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 ≤ 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

Alteración

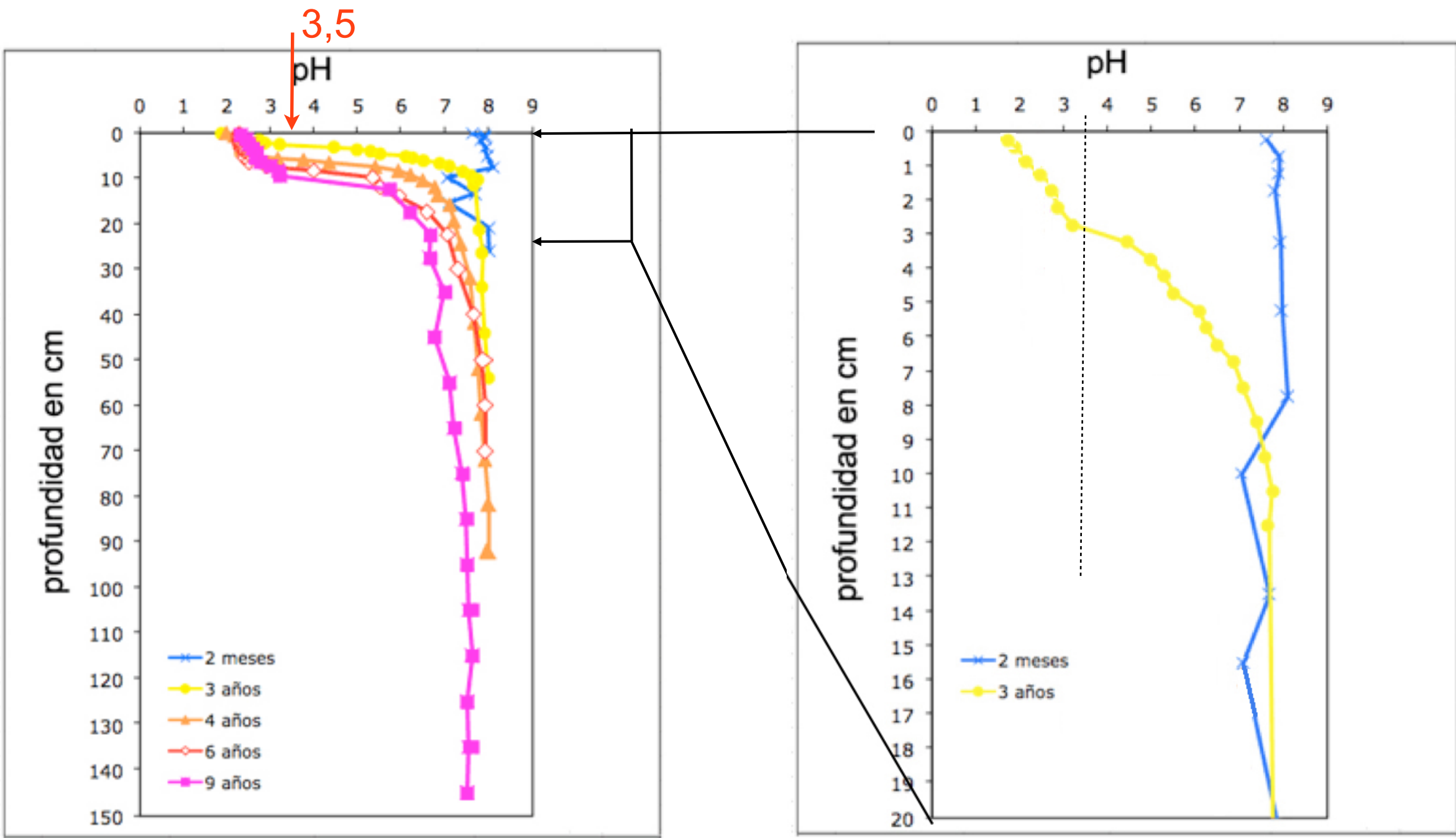


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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 ≤ 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

Alteración

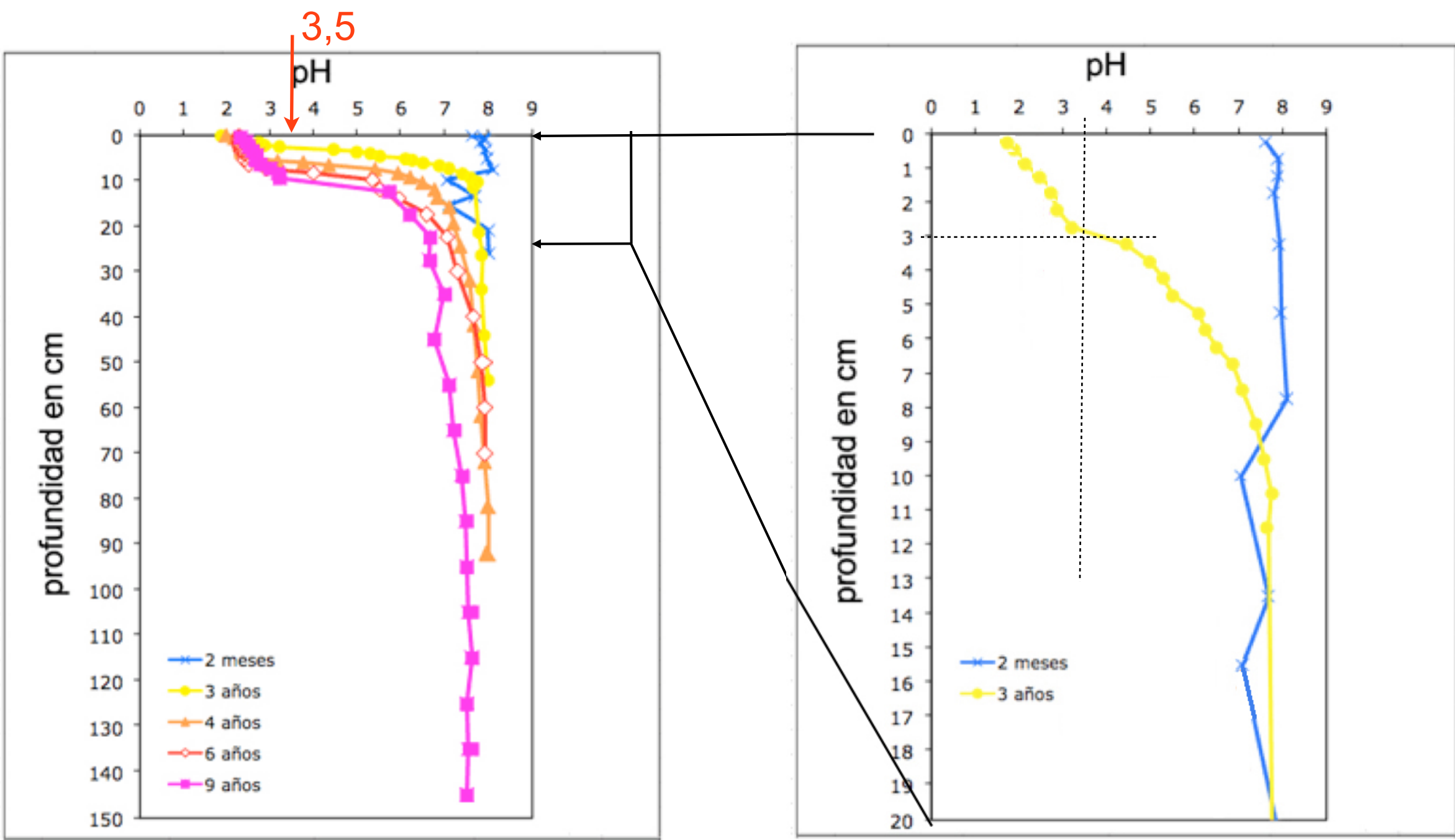


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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 ≤ 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

Alteración

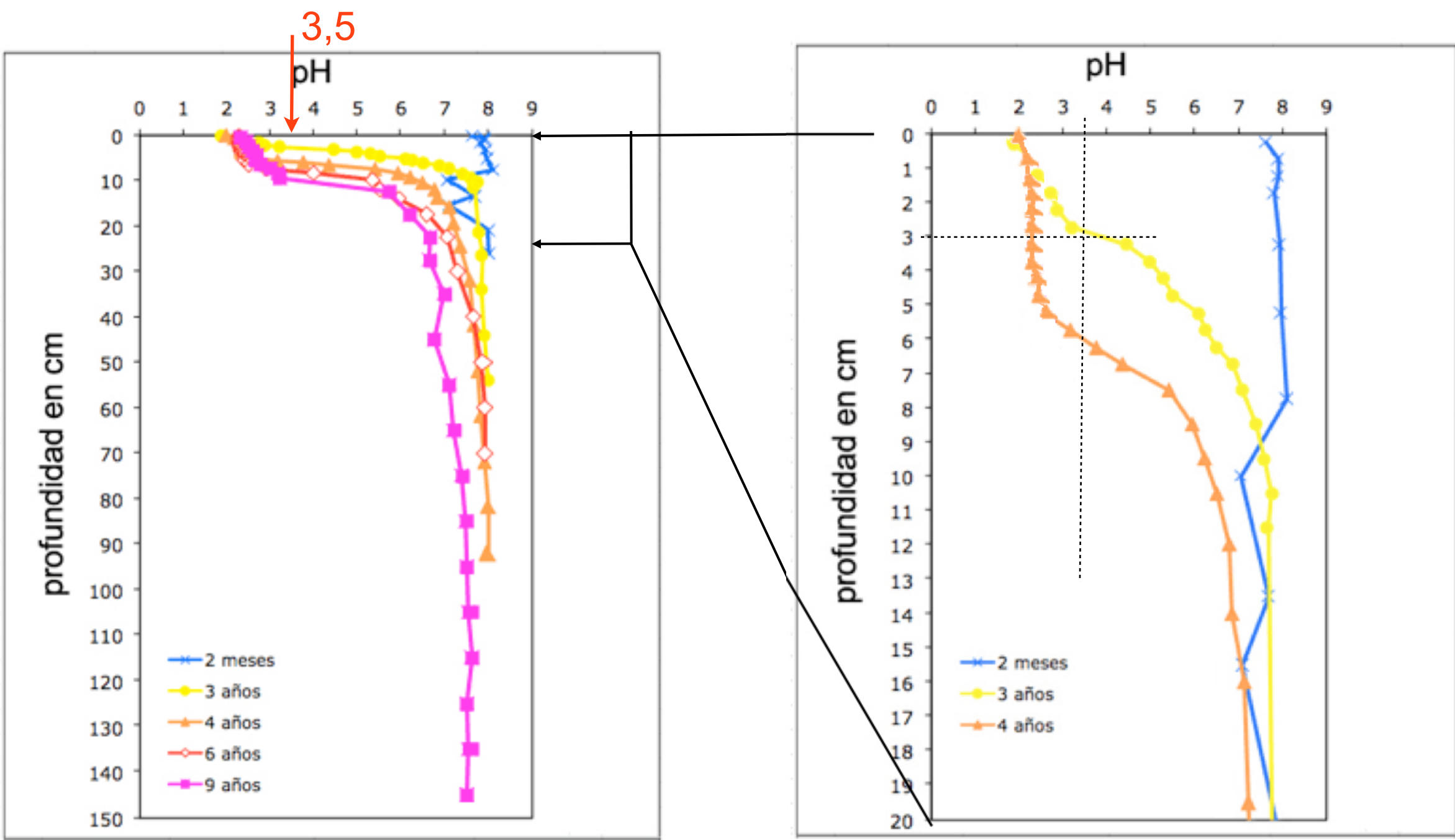


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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 ≤ 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

Alteración

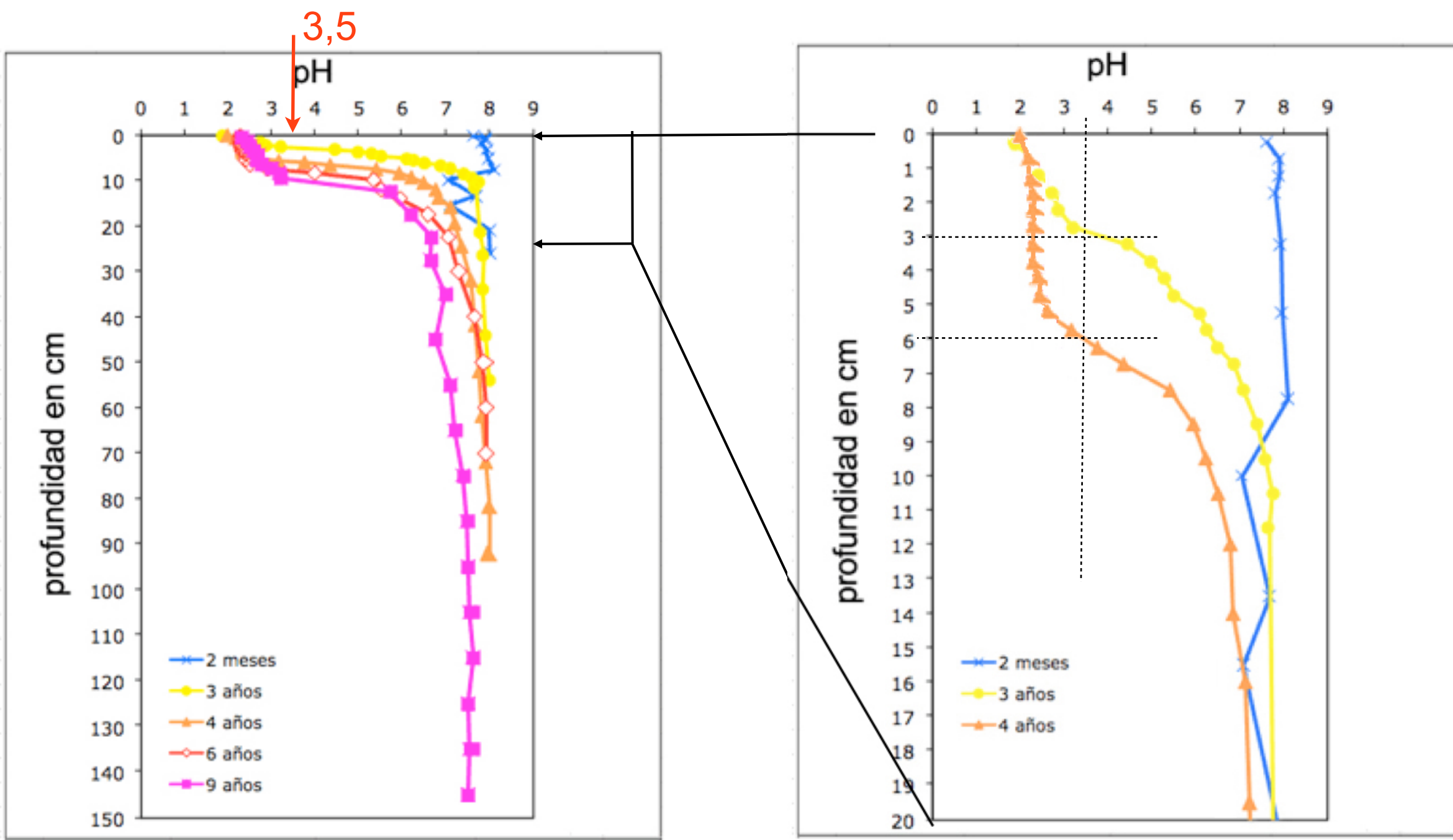


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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 ≤ 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

Alteración

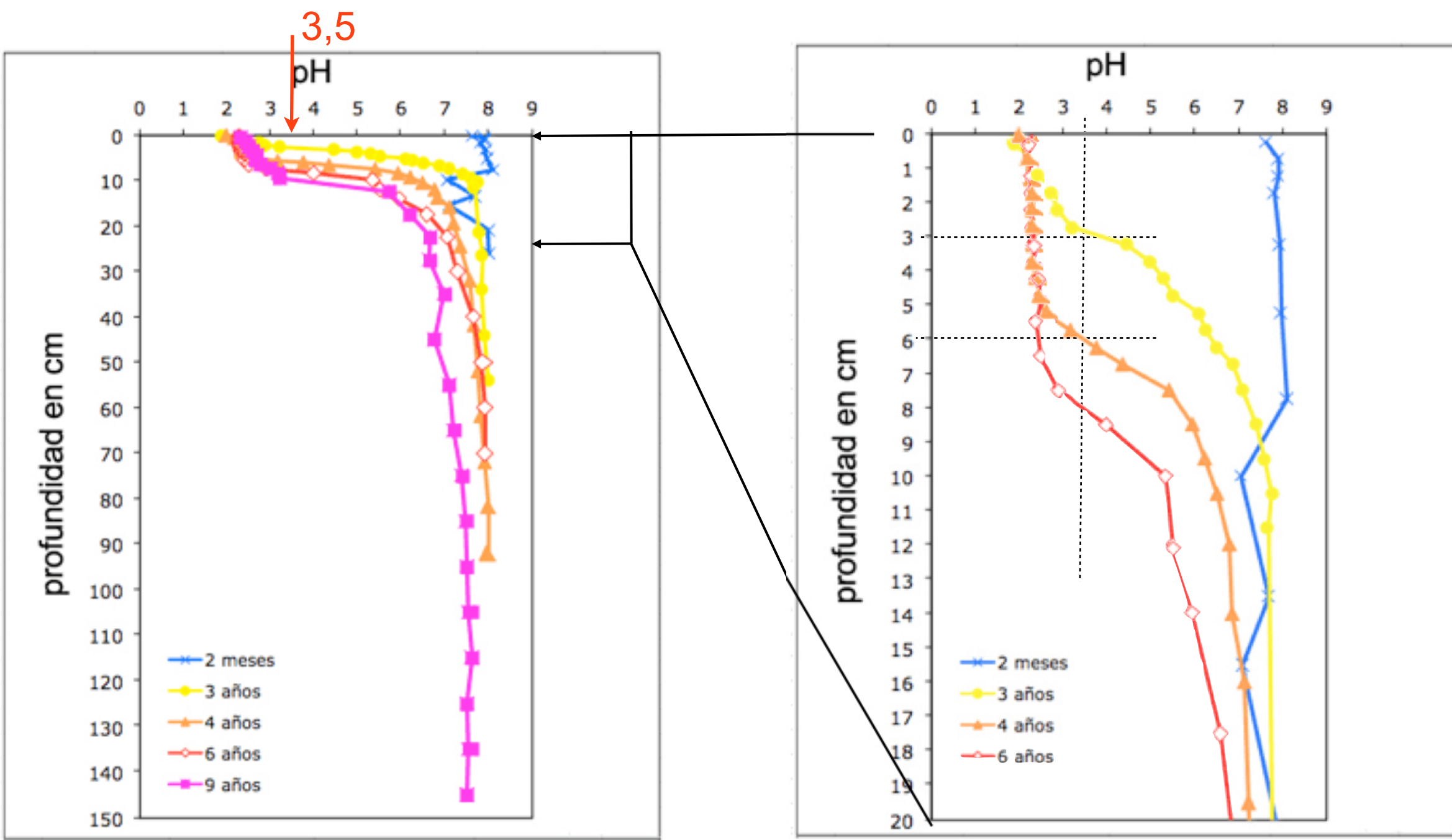


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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.

Parcelas sin intervención

Alteración

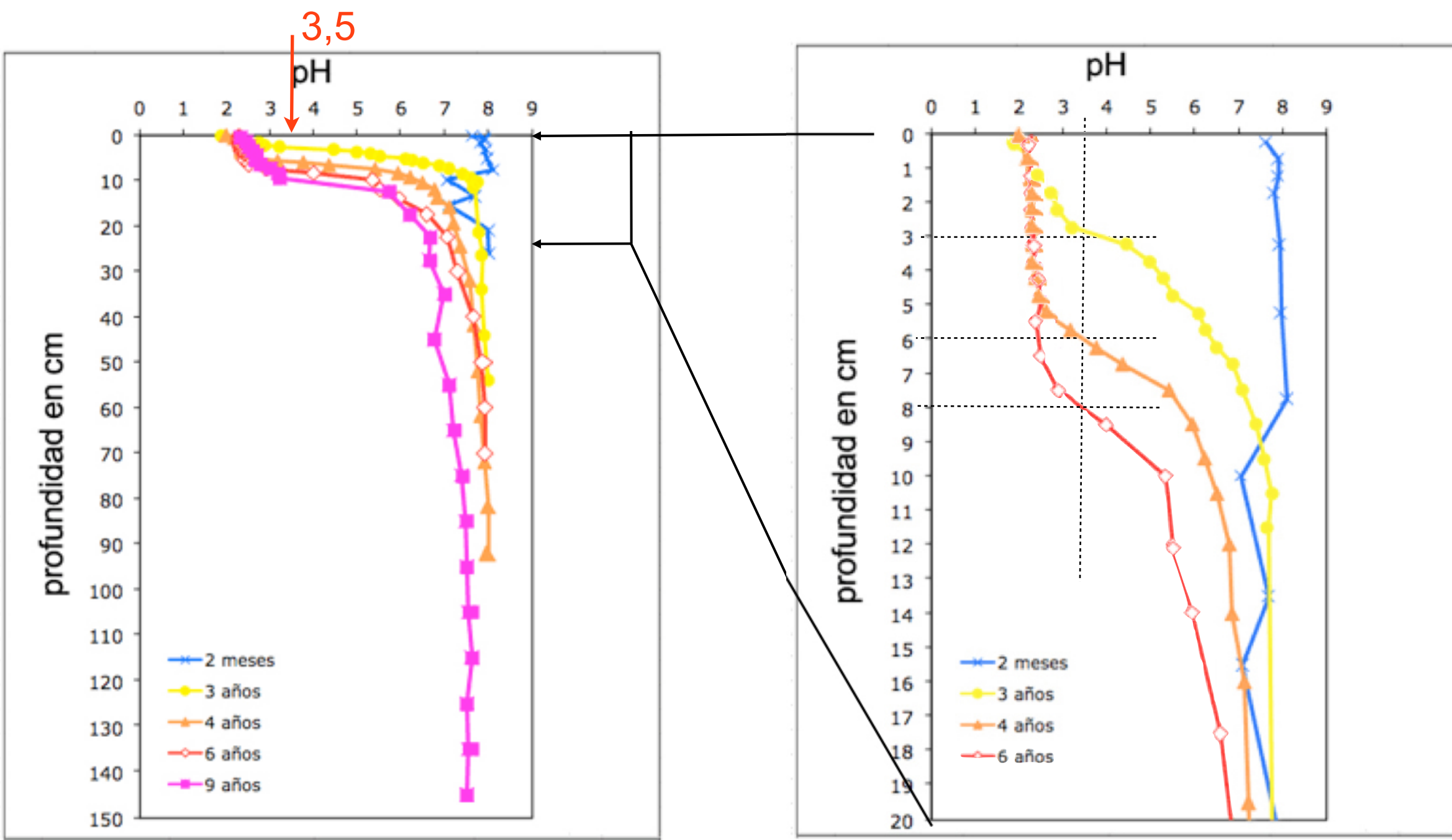


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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 ≤ 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

Alteración

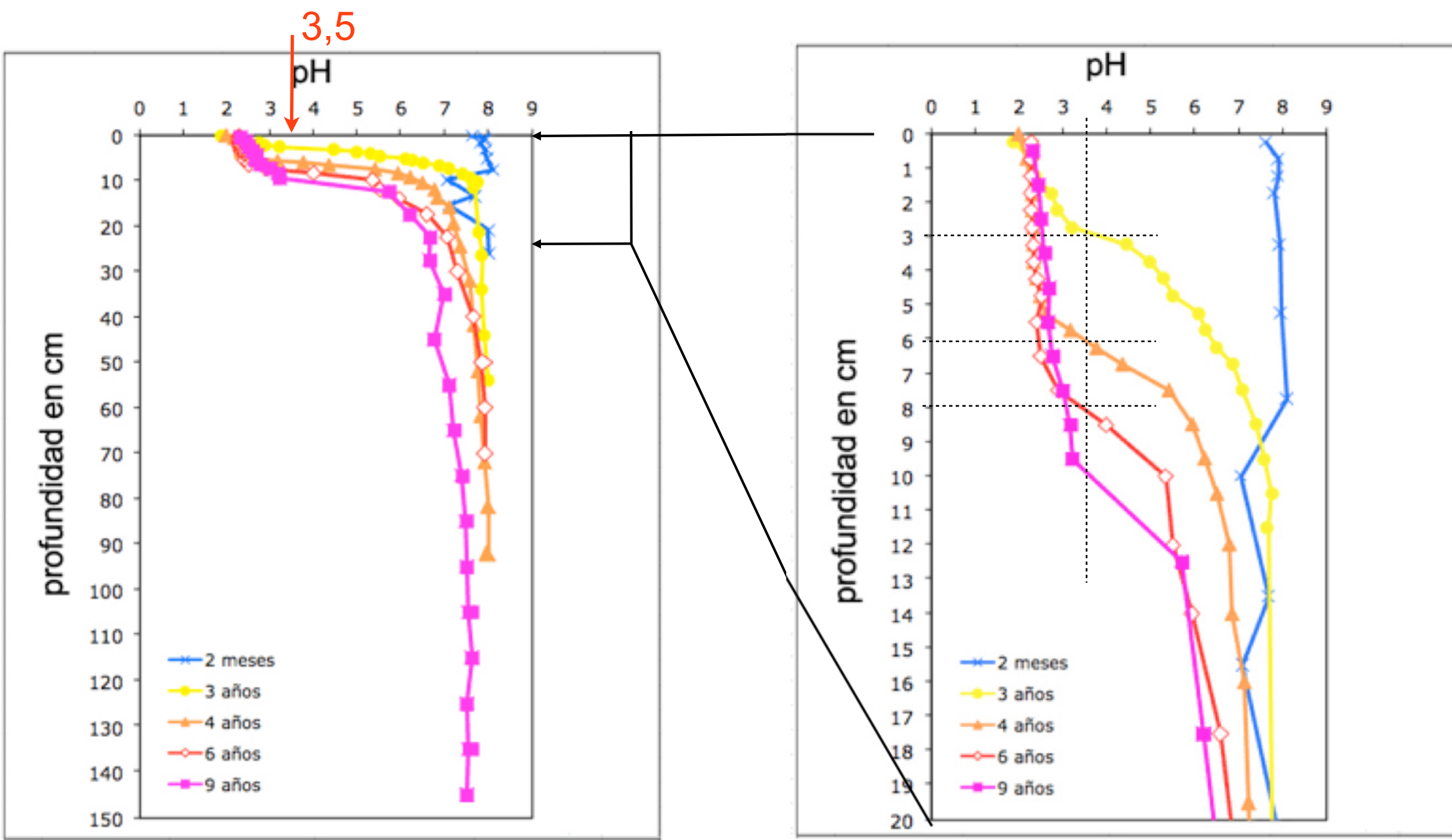


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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 ≤ 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

Alteración

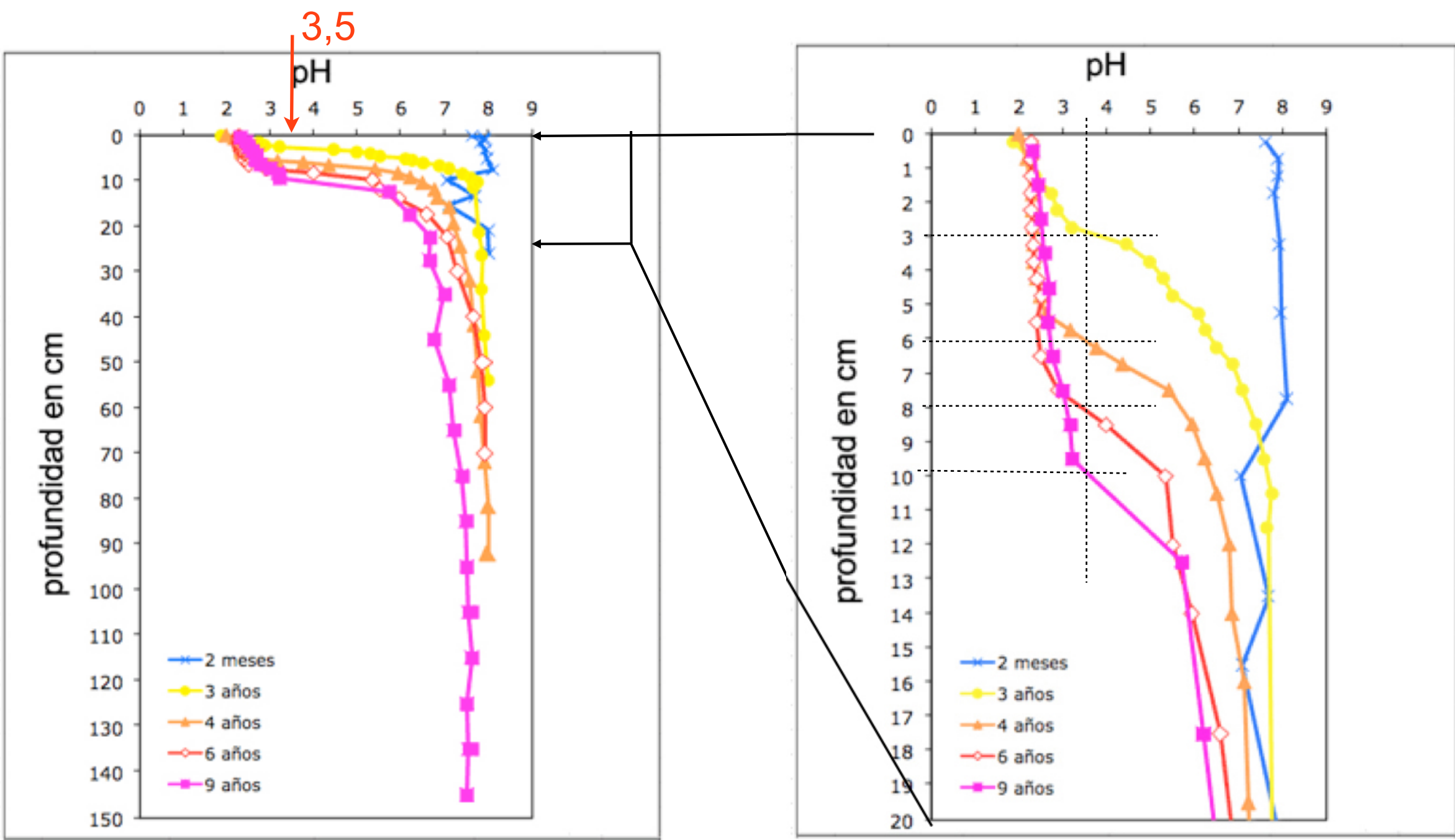


Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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.

Parcelas sin intervención

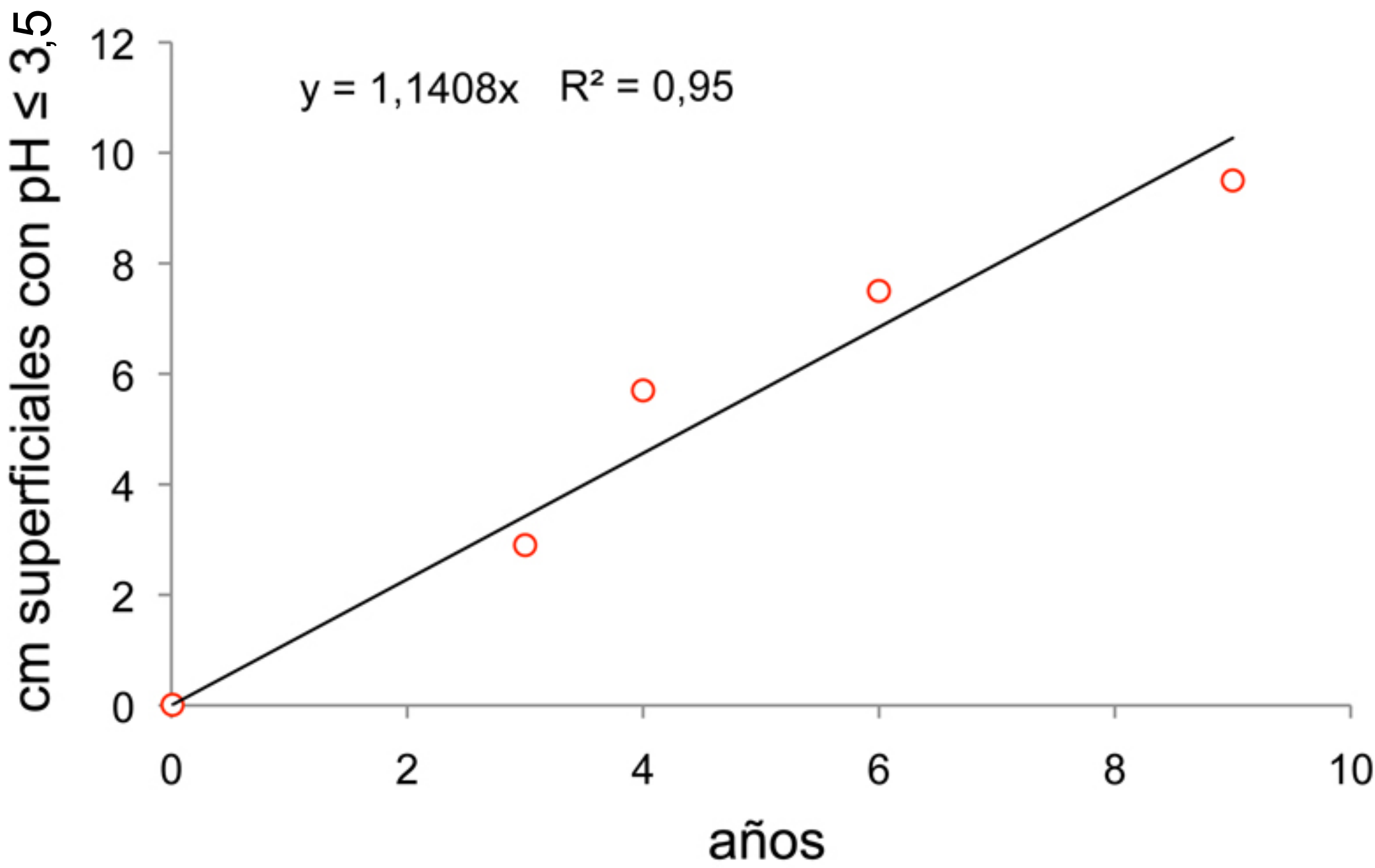
Alteración



Empecemos considerando como hubiese evolucionado la zona si no se hubiese remediado. A la hora de considerar la posible fertilidad del suelo un factor decisivo lo constituye el pH del suelo.

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 ≤ 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



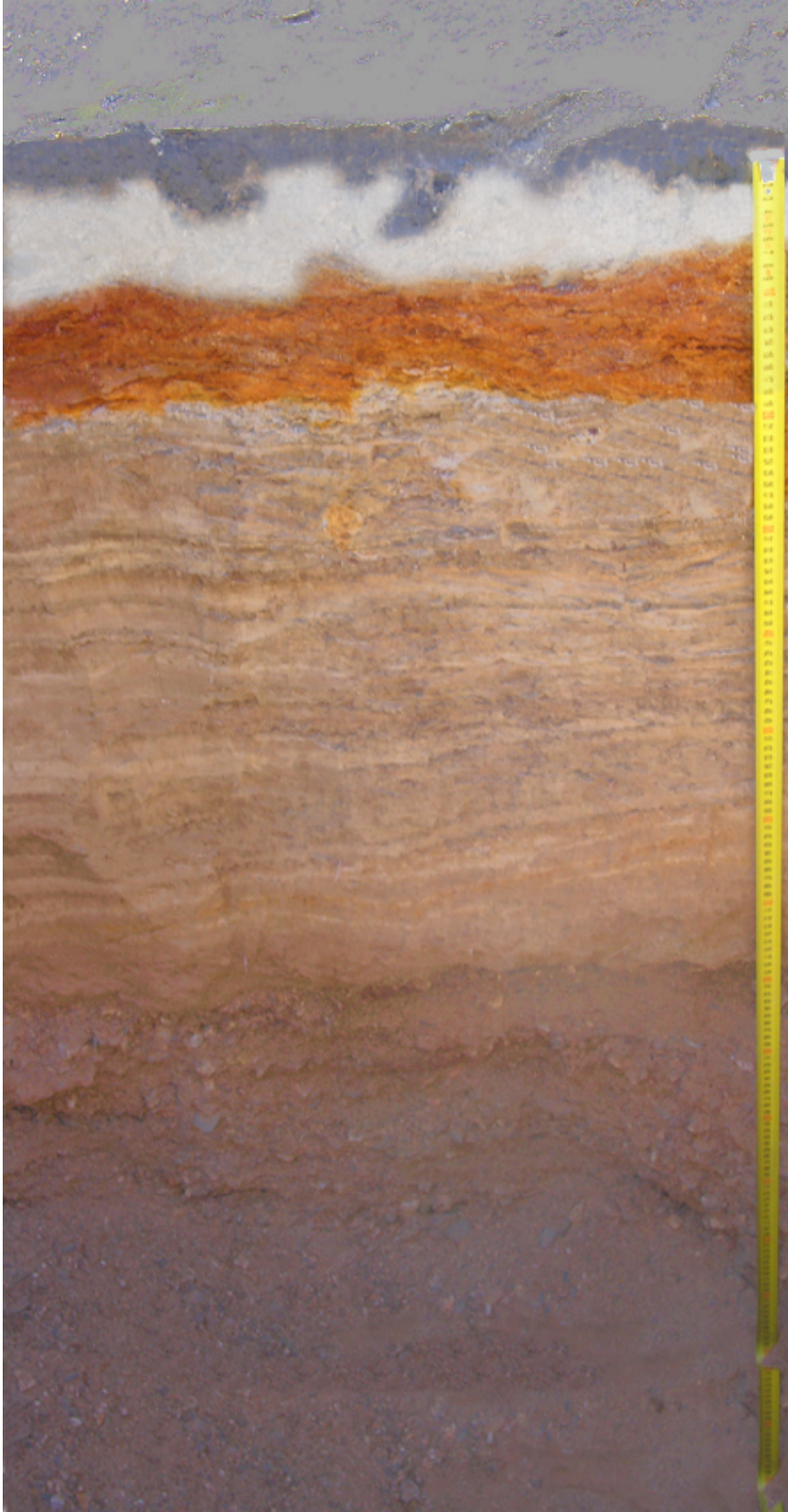
Si establecemos una ecuación de regresión entre el espesor de la capa de pH ≤ 3,5 y el tiempo, vemos que sigue una tendencia lineal, con un alto coeficiente de correlación.

Parcelas sin intervención

Aznalcóllar, hoy.

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

a los 14 años del vertido

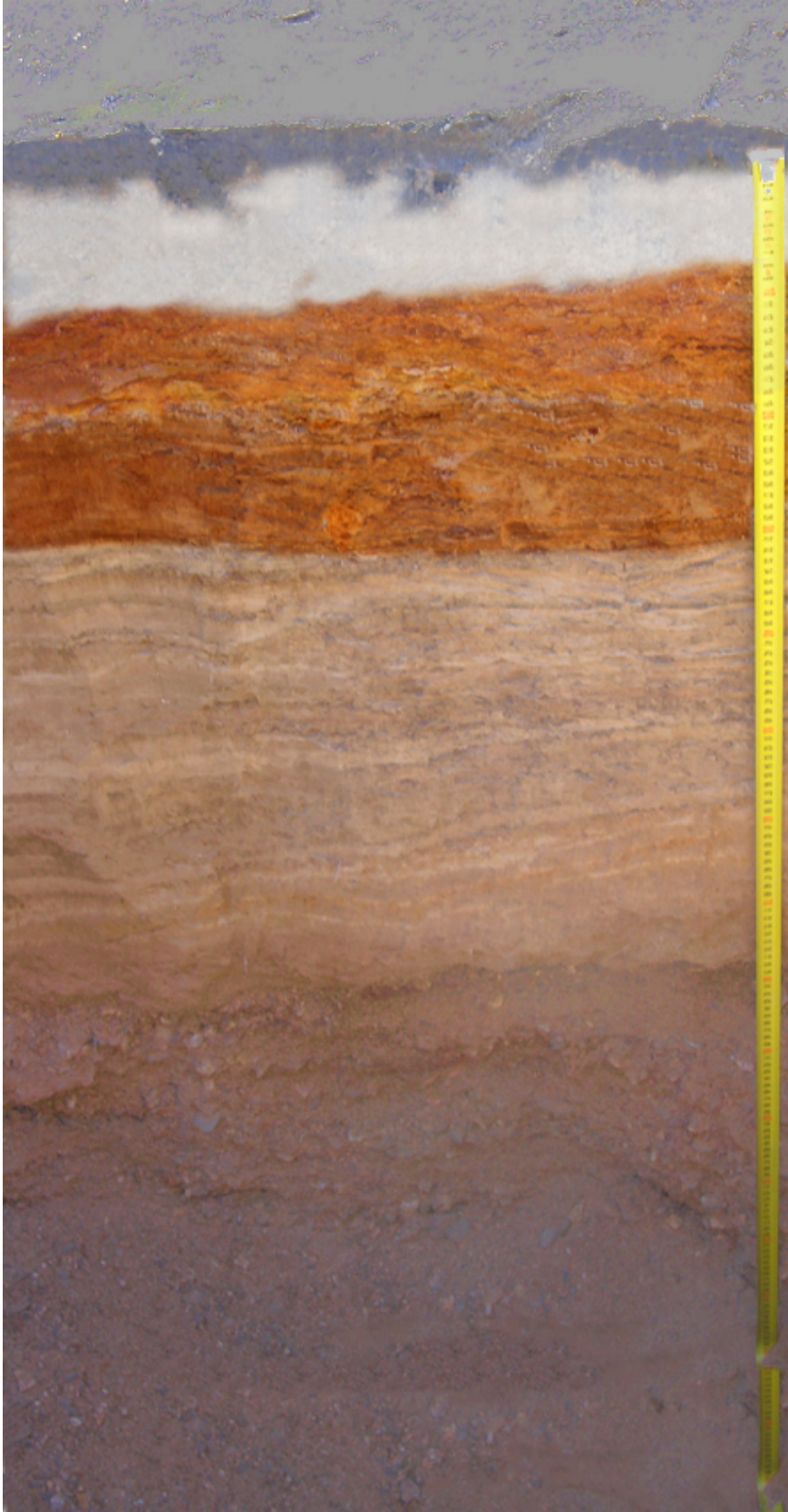


anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida (pH ≤ 3,5)

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

Parcelas sin intervención

a los 20 años



anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3,5$)

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

Aznalcóllar, hoy.

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

Parcelas sin intervención

a los 30 años



anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida (pH ≤ 3,5)

34 cm a los 30 años

Aznalcóllar, hoy.

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

Parcelas sin intervención

a los 40 años



anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida (pH ≤ 3,5)

y así
sucesivamente

Parcelas sin intervención

a los 50 años



anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida (pH ≤ 3,5)

Parcelas sin intervención

a los 60 años



anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida (pH ≤ 3,5)

Parcelas sin intervención

a los 70 años

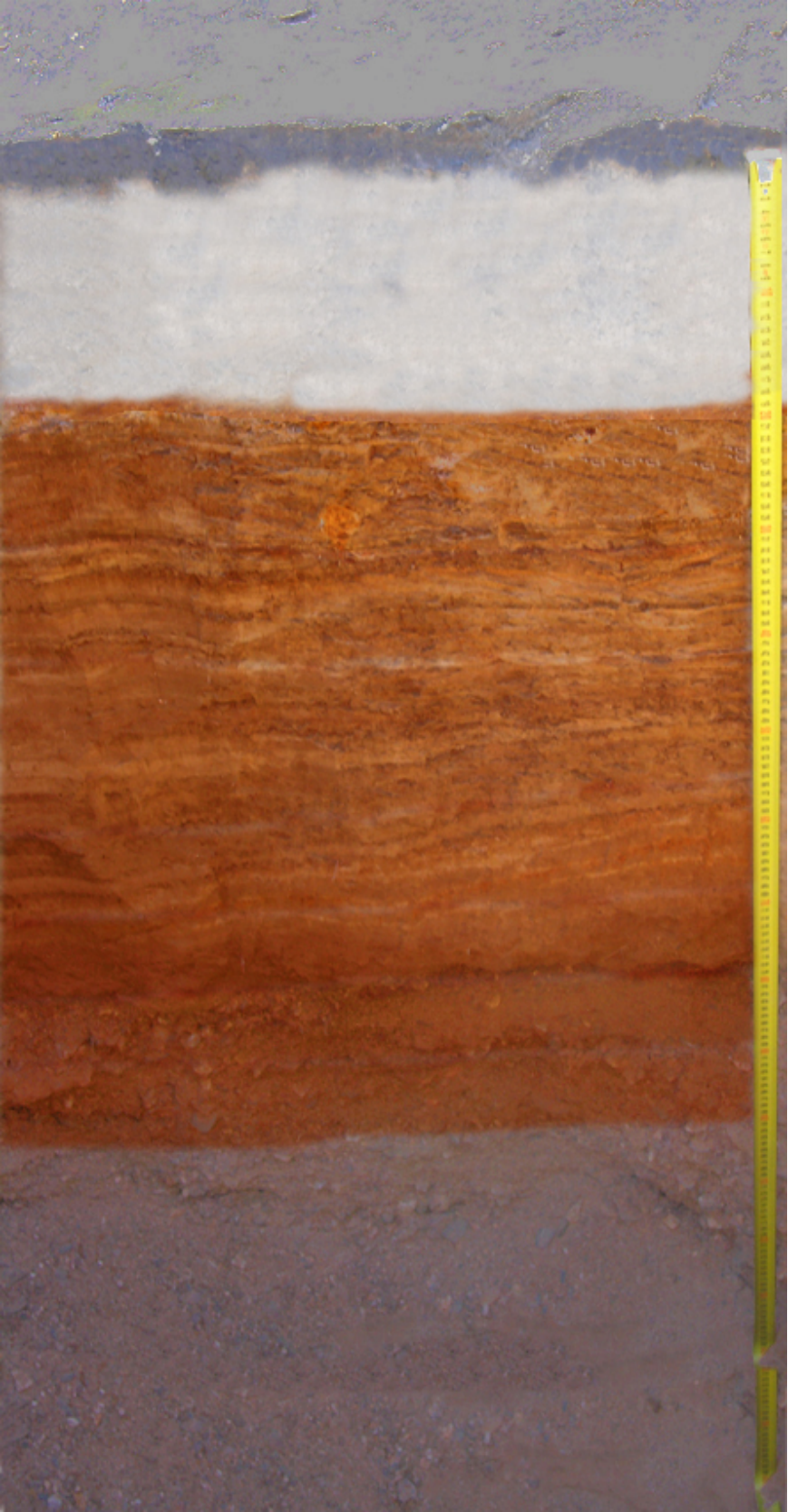


80 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3,5$)

Parcelas sin intervención

a los 80 años

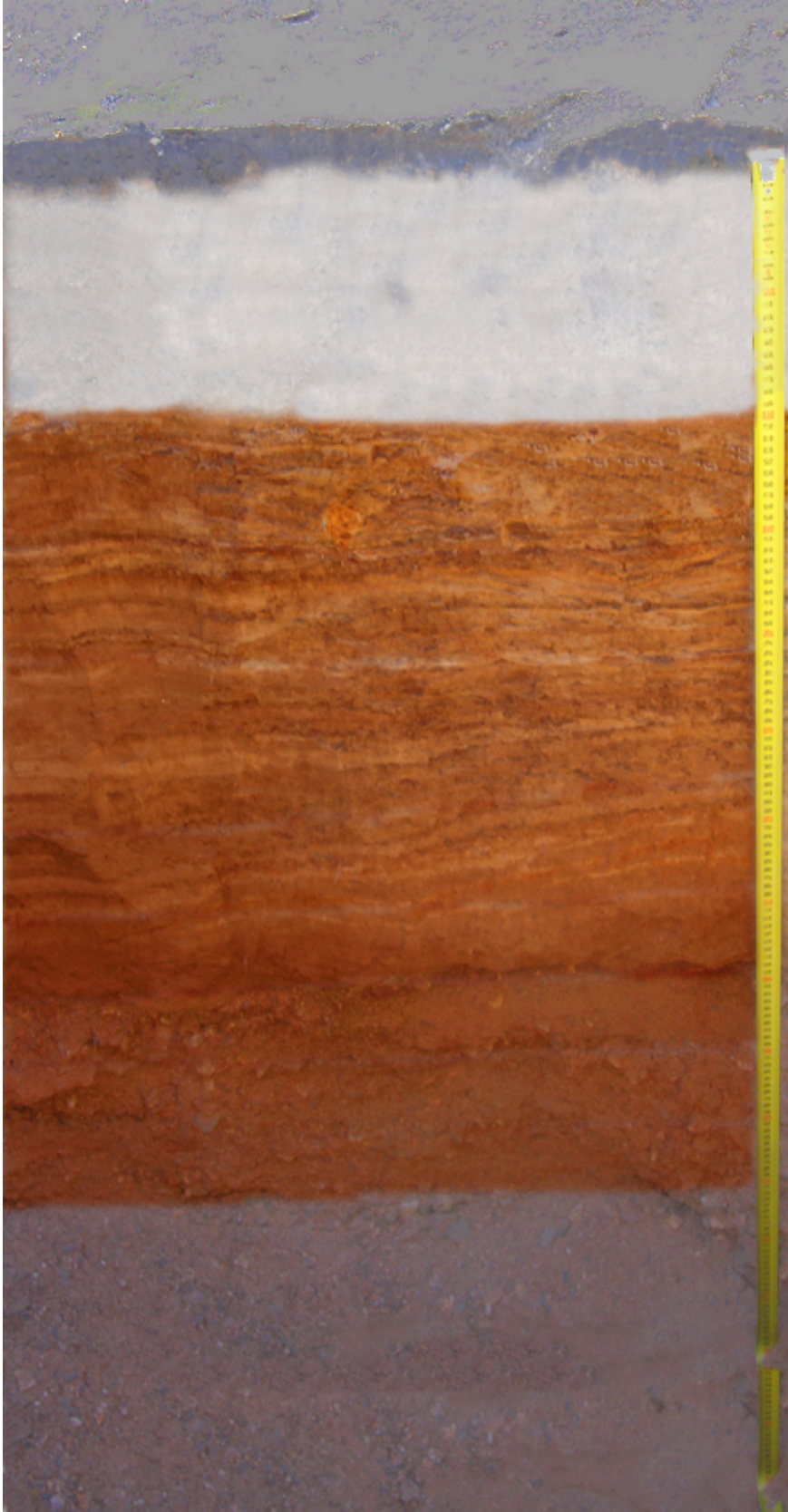


91 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3,5$)

Parcelas sin intervención

a los 90 años



103 cm

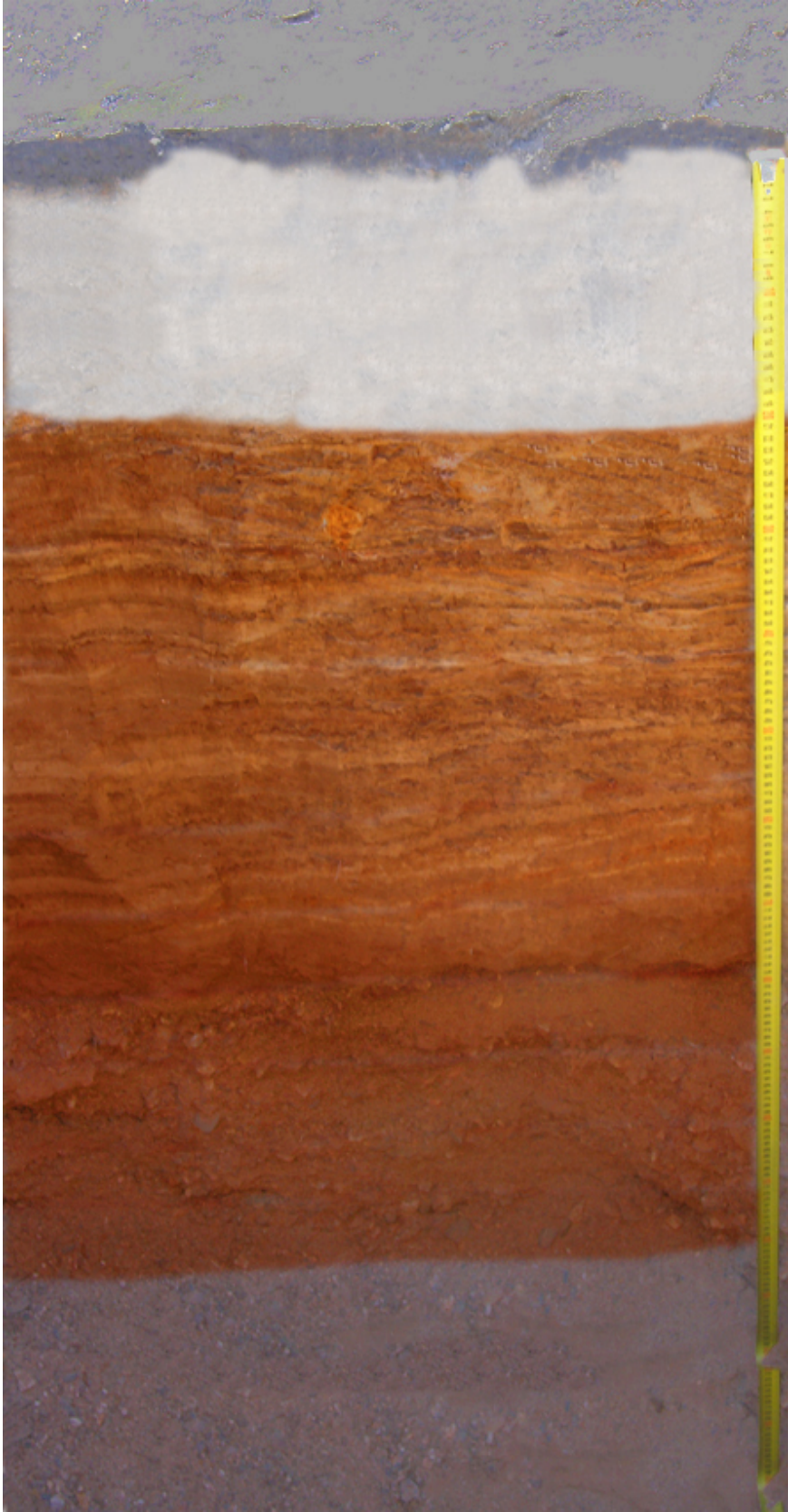
anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida (pH ≤ 3,5)

Parcelas sin intervención

Aznalcóllar, hoy.

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

a los 100 años



114 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3,5$)

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

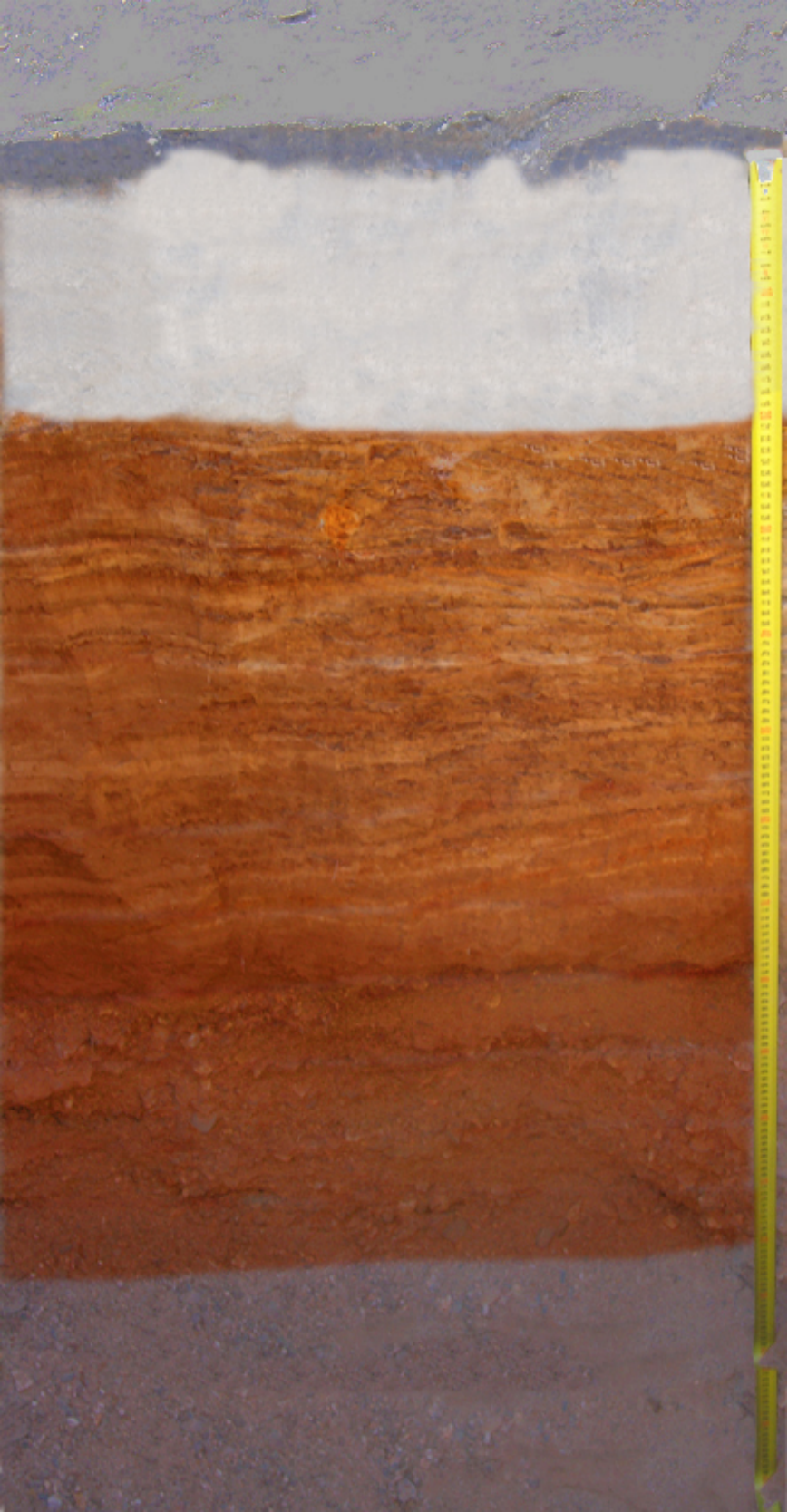
Pero no pretendo dramatizar, pues recordemos, esto hubiese ocurrido si no se hubiese procedido a la mediación de la zona.

Parcelas sin intervención

Aznalcóllar, hoy.

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

a los 100 años



30 cm capa blanca

114 cm

anulación del suelo por profundización progresiva de la capa hiperácida ($\text{pH} \leq 3,5$)

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

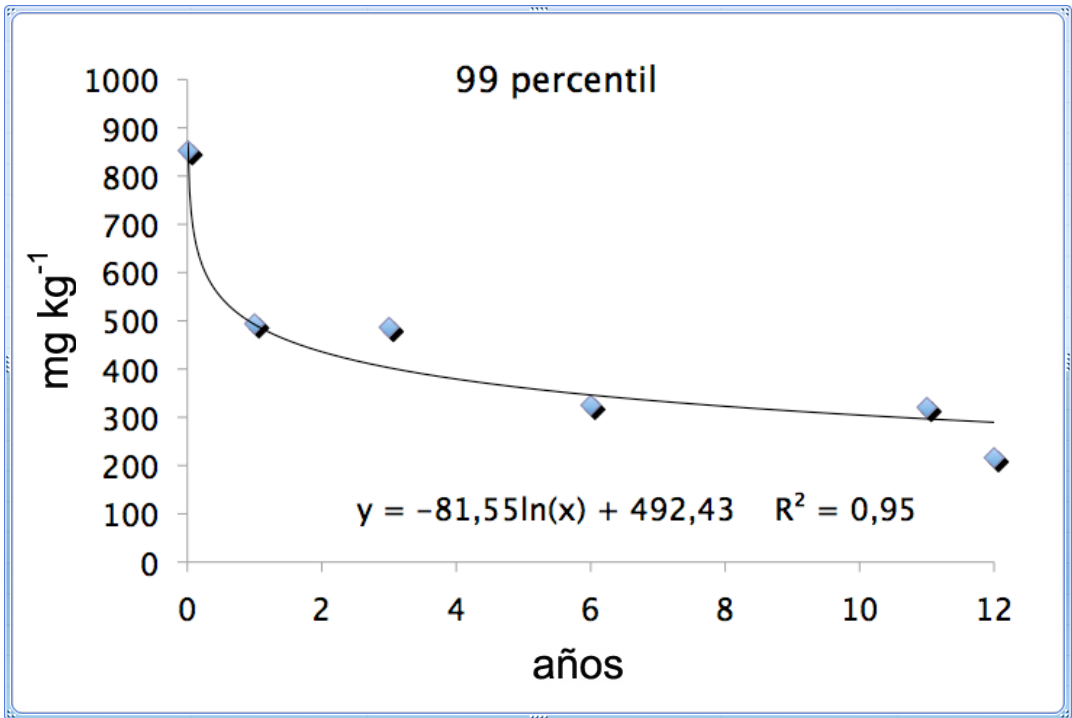
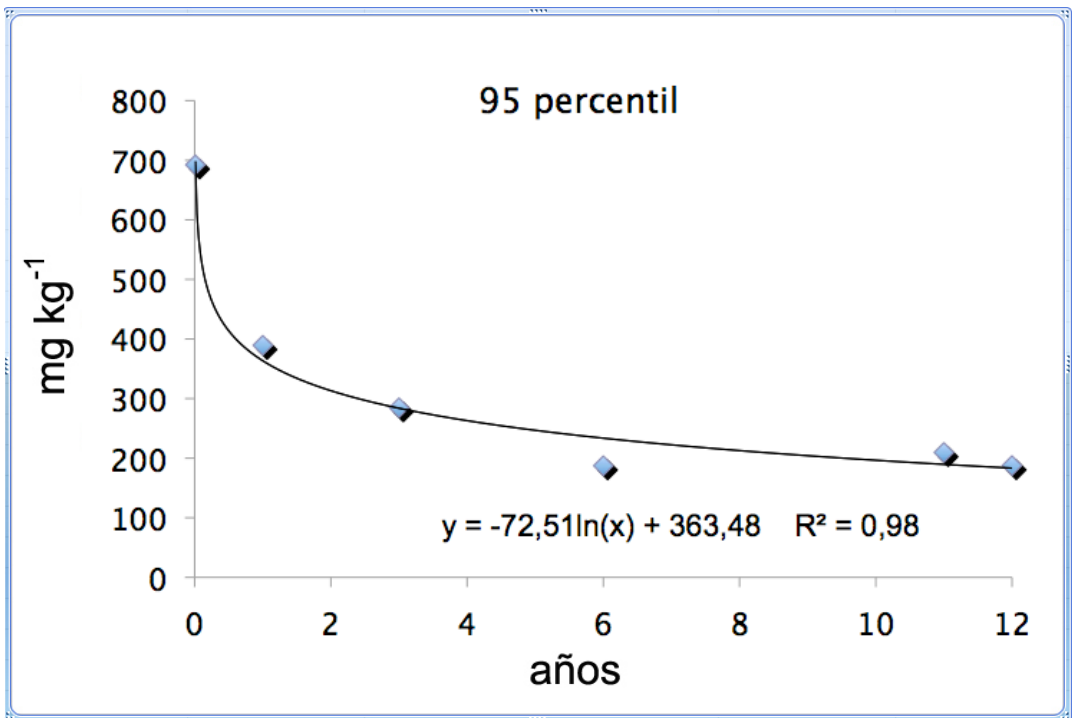
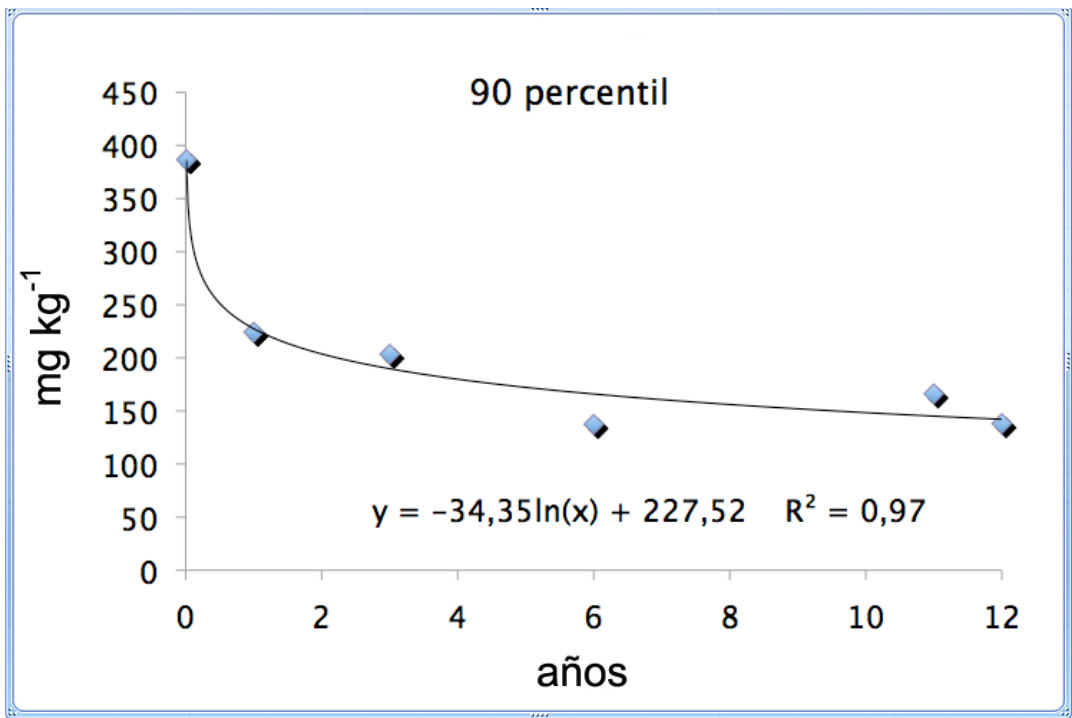
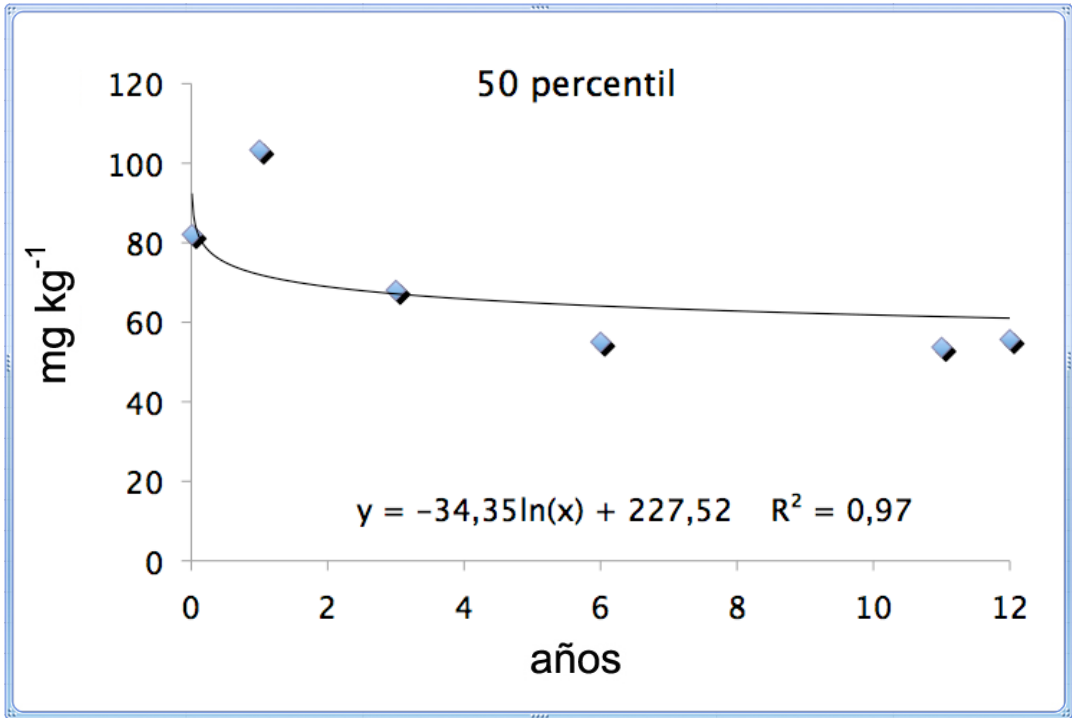
fracción total, 0-10 cm

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

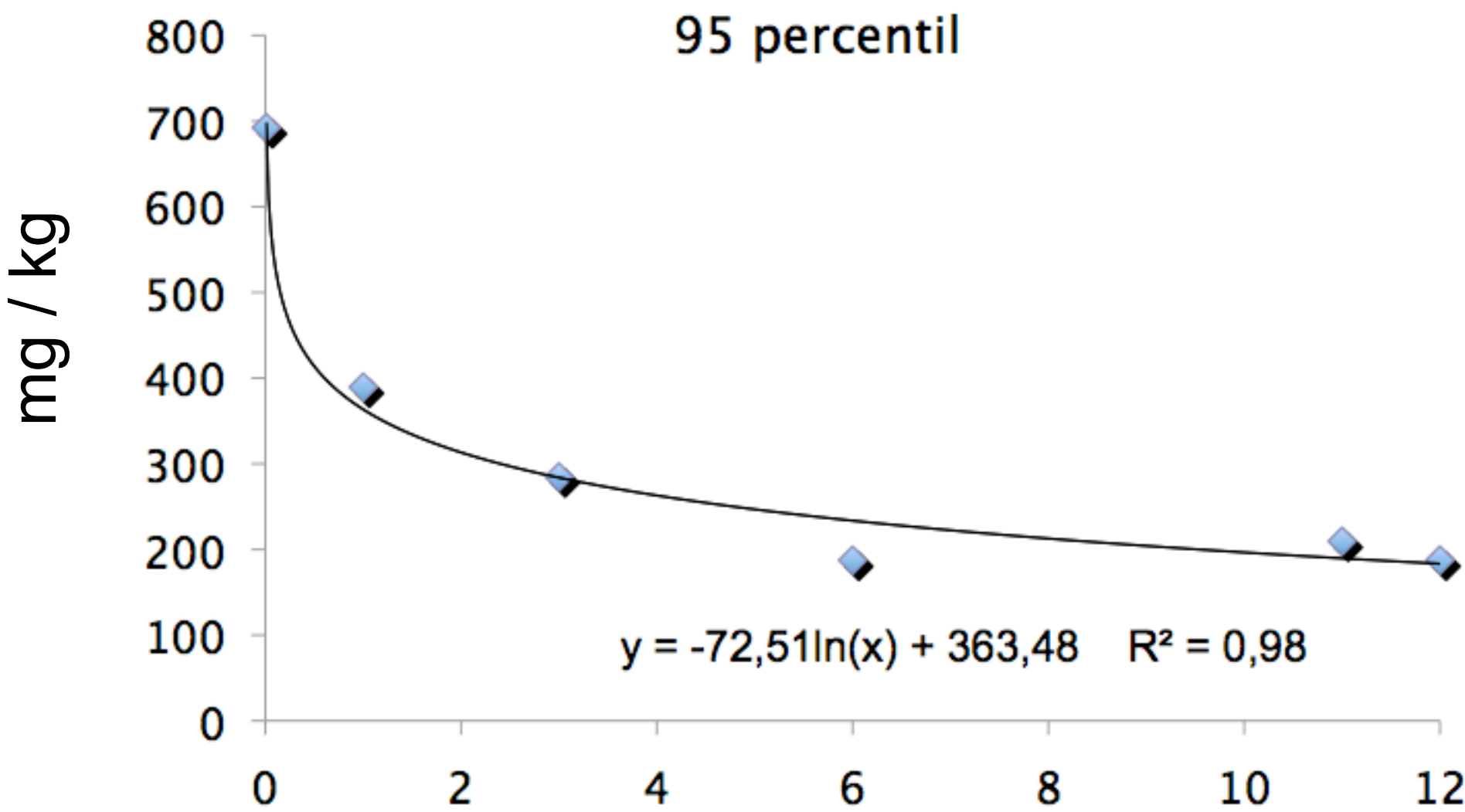
As, total, 0-10 cm



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



Por ejemplo, aplicando la ecuac del percentil 95 podemos esperar que a los 38 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 117 años del vertido, alcanzando los 18 mg/kg que presentaban los suelos de la cuenca no afectados por el vertido.

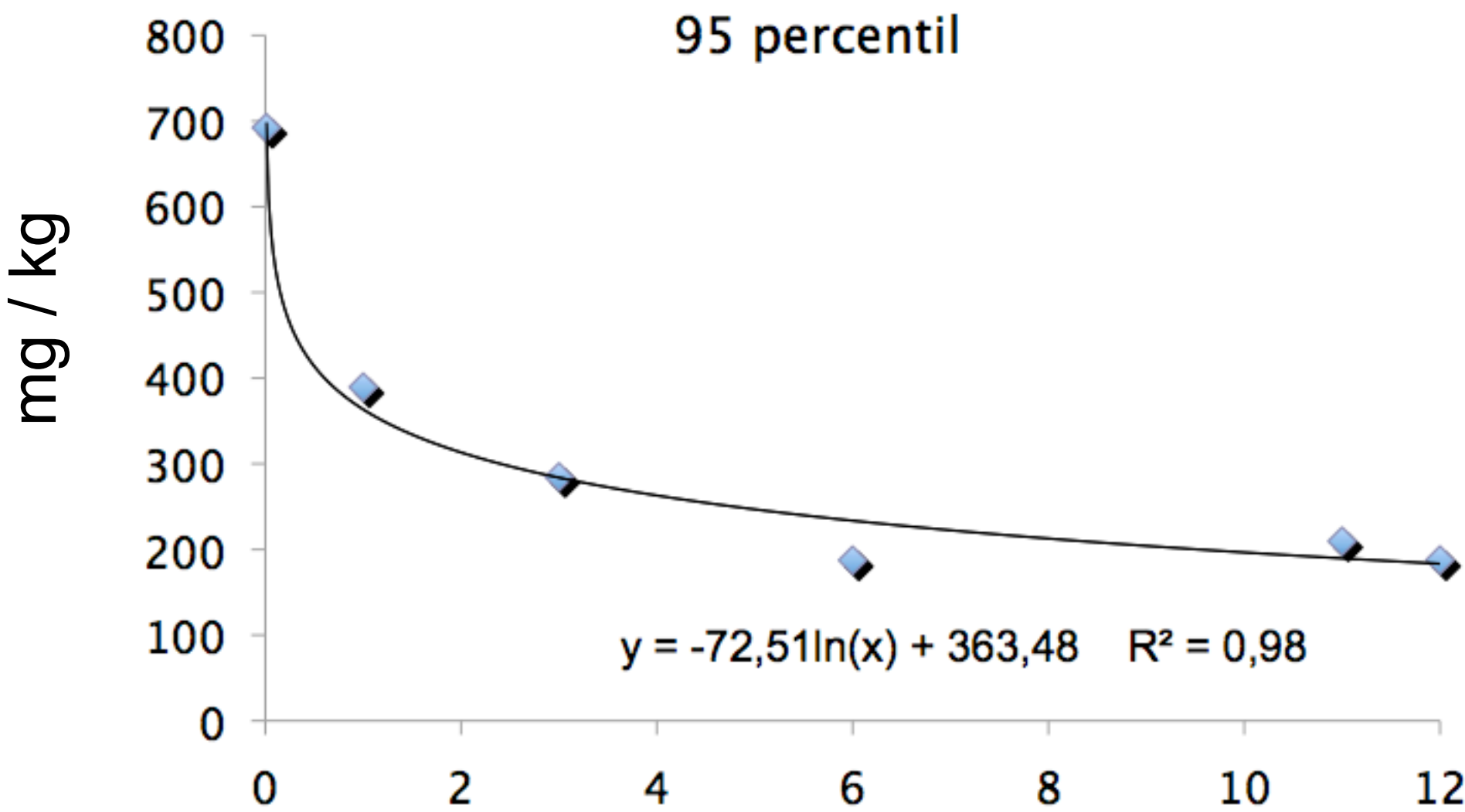
Estos datos deben tomarse con las debidas cautelas, ¡sólo se cumplirán si se mantienen las tendencias actuales!.

Los valores son muy esperanzadores y sólo espero que Dios nos dé salud a todos para verificalos.

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 38 años

Por ejemplo, aplicando la ecuac del percentil 95 podemos esperar que a los 38 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 117 años del vertido, alcanzando los 18 mg/kg que presentaban los suelos de la cuenca no afectados por el vertido.

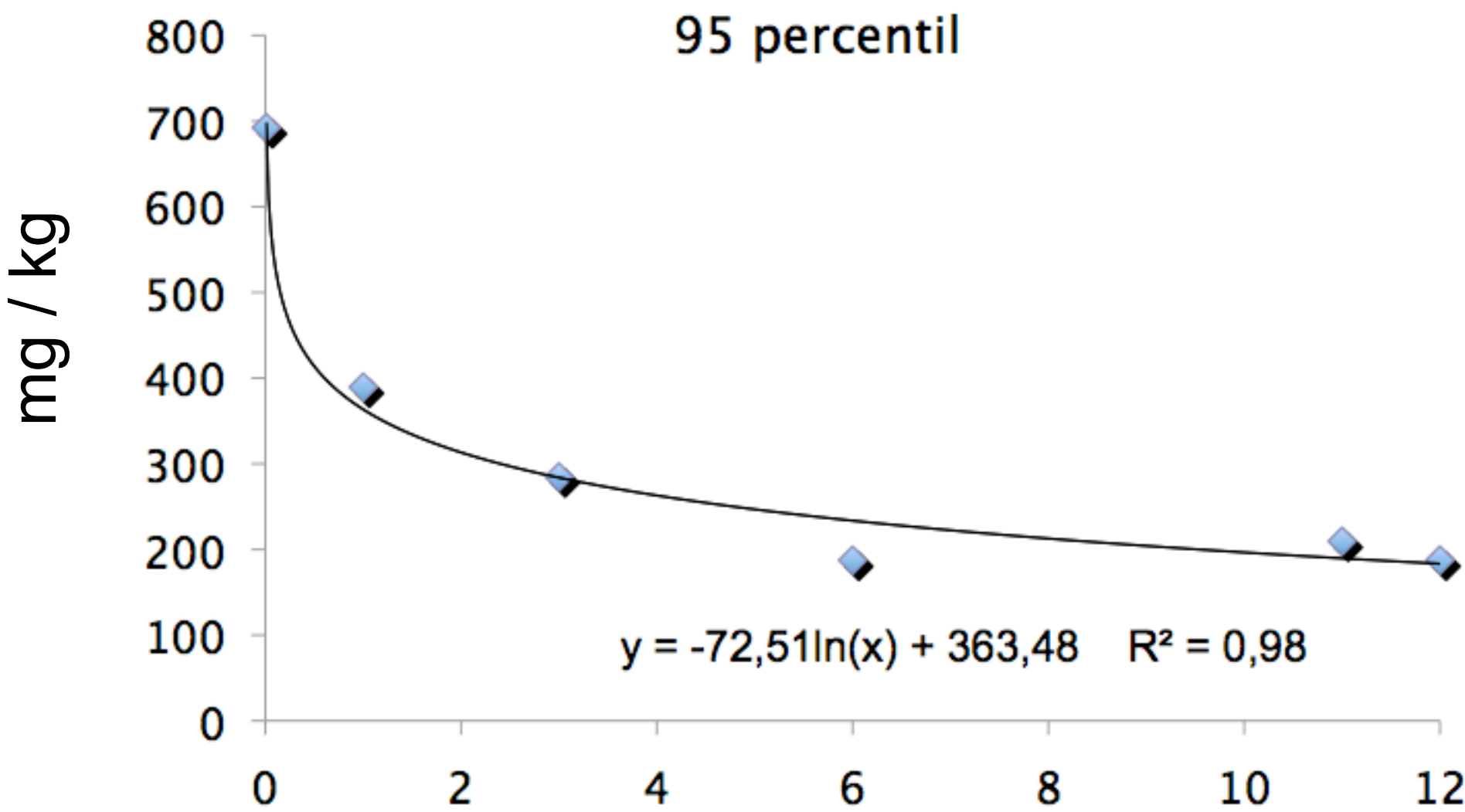
Estos datos deben tomarse con las debidas cautelas, ¡sólo se cumplirán si se mantienen las tendencias actuales!.

Los valores son muy esperanzadores y sólo espero que Dios nos dé salud a todos para verificalos.

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 38 años

18 mg kg⁻¹ a los 117 años

Por ejemplo, aplicando la ecuac del percentil 95 podemos esperar que a los 38 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 117 años del vertido, alcanzando los 18 mg/kg que presentaban los suelos de la cuenca no afectados por el vertido.

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

Los valores son muy esperanzadores y sólo espero que Dios nos dé salud a todos para verificalos.

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.

Muchas gracias por su atención

<http://edafologia.ugr.es/comun/confere.htm>
<http://www.edafologia.net/comun/confere.htm>



Por último quiero agradecer a Antonio Lafuente haberse acordado de mí para esta charla y haberme dado la oportunidad de contaros como reaccionaron mis compañeros del Dpto UGR frente a esta situación inédita para ellos que se les presentó, y haberme sacado de mi monótona vida de jubilado

Bueno no, esto en realidad es una versión que contamos los jubilados a los amigos que siguen trabajando pero en realidad la situación es bastante distinta...

Aznalcóllar, hoy.

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



¡Ay, los nietos! ¡qué sería de los jubilados sin sus nietos ... y ¡sin Carrefour!