



# Contaminación de suelos por el vertido tóxico de la mina de Aznalcollar (Doñana)

Departamento de Edafología de la Universidad de Granada



## • El accidente

- Aguilar, J.
- Dorronsoro, C.
- Fernández, J.
- Fernández, E.
- García, I.
- Martín, F.
- Ortiz, I.
- Simón, M.

1. EL ACCIDENTE

la mina

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

 boliden apirsa s.l.

1. EL ACCIDENTE

la mina

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



**CAA**

S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE

La Mina: situación geográfica

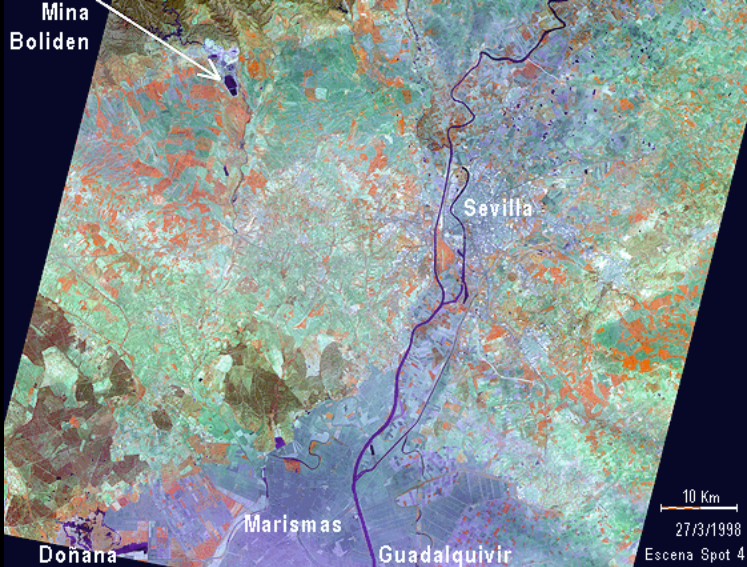
2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

Mina  
Boliden



10 Km

27/3/1998

Escena Spot 4

# 1. EL ACCIDENTE

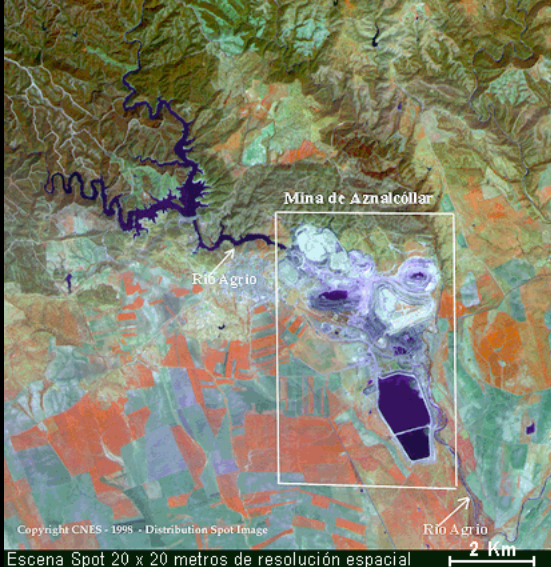
La Mina: geomorfología

## 2. LA CONTAMINACION

## 3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

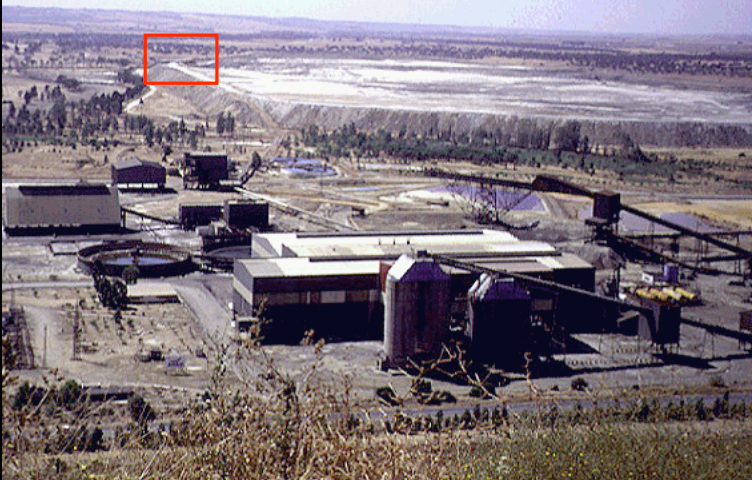


25/Abril /1998

1. EL ACCIDENTE
- La Mina: rotura de la balsa
2. LA CONTAMINACION
3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE  
fondo de la balsa
2. LA CONTAMINACION
3. LA RECUPERACION



**CAA**

S. Isidro  
1999



# 1. EL ACCIDENTE

localización de la riada

## 2. LA CONTAMINACIÓN

## 3. LA RECUPERACIÓN



S. Isidro  
1999



# 1. EL ACCIDENTE

30/4/98 salida lodos al río Agrio

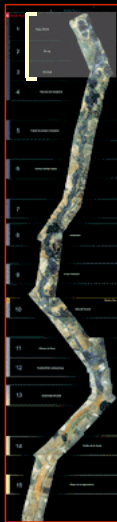
## 2. LA CONTAMINACION

## 3. LA RECUPERACION



CAA

S. Isidro  
1999

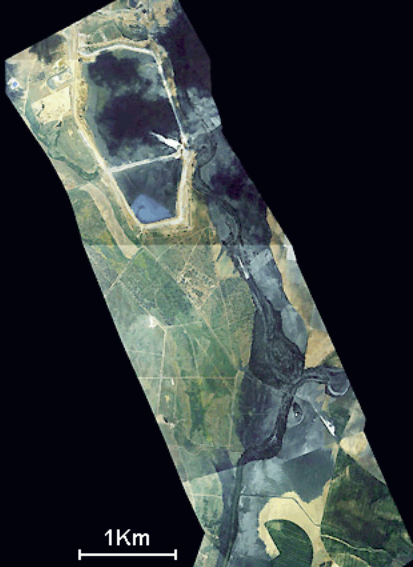


Presa BOLIDEN

Rio Agrio

Rio Guadiamar

30/4/98



1Km

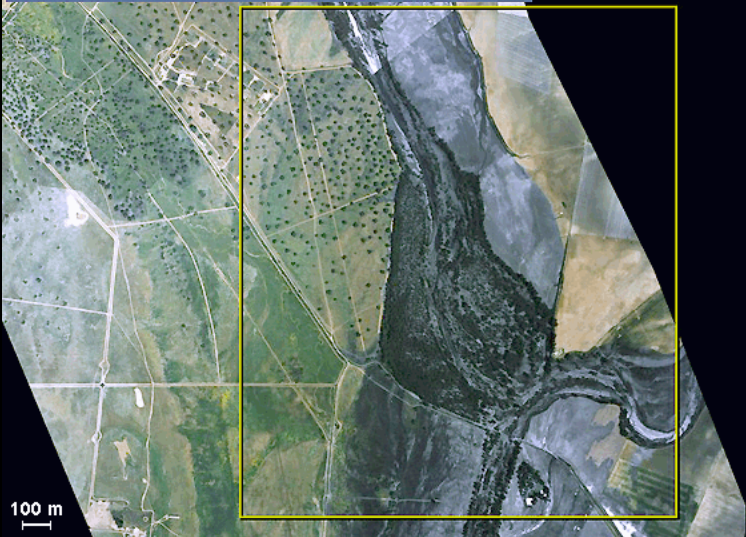
# Confluencia de los ríos Agrio y Guadiamar.

1. EL ACCIDENTE
- 30/4/98 confluencia de ríos
2. LA CONTAMINACION
3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

100 m



# 1. EL ACCIDENTE

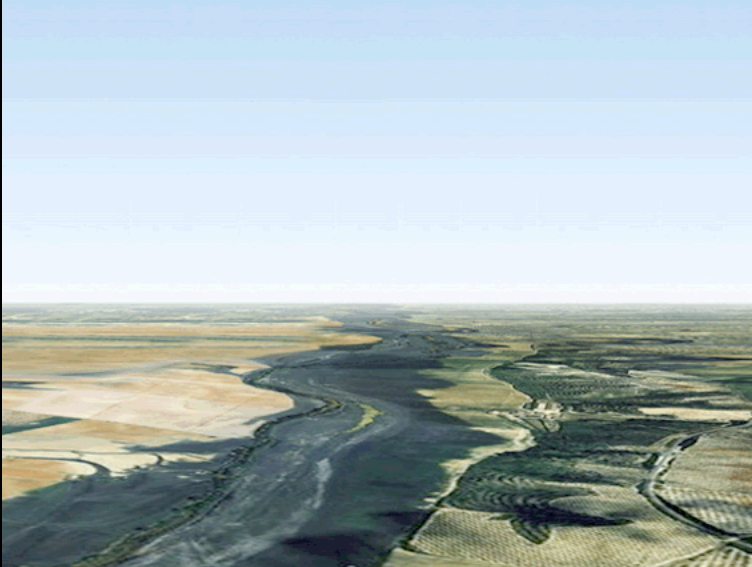
30/4/98 vertido aguas abajo

# 2. LA CONTAMINACION

# 3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE

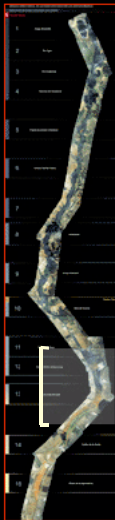
**zona límite de los lodos**

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



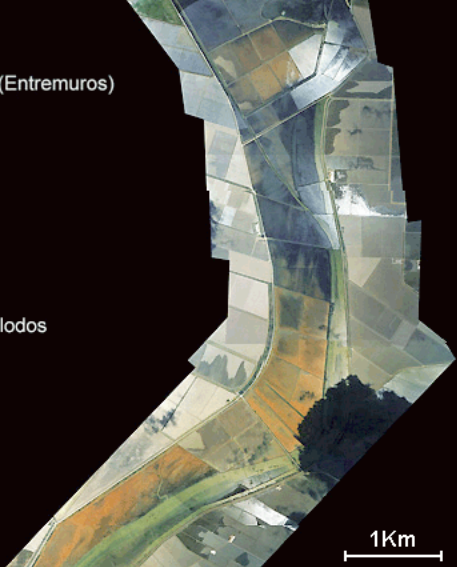
S. Isidro  
1999



Puente Simón (Entremuros)

Zona límite de lodos

30/4/98



1Km

# 1. EL ACCIDENTE

**zona límite de los lodos**

## 2. LA CONTAMINACION

## 3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



# 1. EL ACCIDENTE

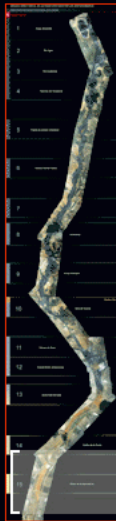
zona límite de las aguas

## 2. LA CONTAMINACION

## 3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



30/4/98



Lucio del Cangrejo

1Km

1. EL ACCIDENTE

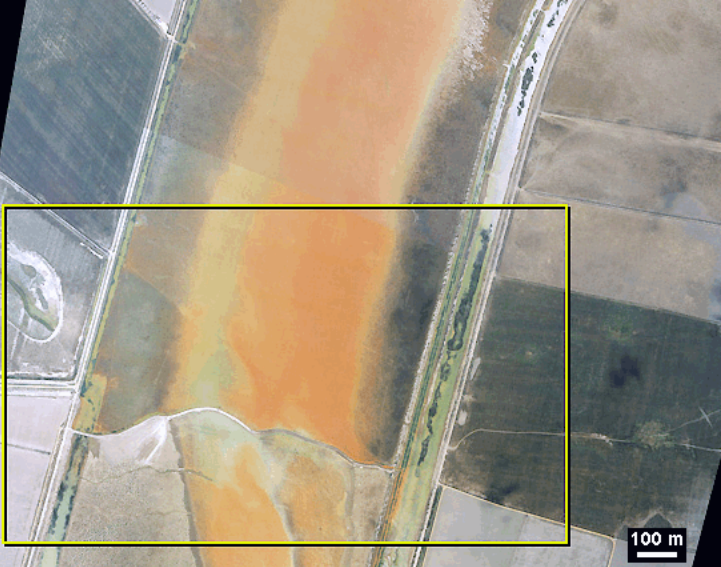
**zona límite de las aguas**

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



100 m

1. EL ACCIDENTE

represa en el Lucio del Cangrejo

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



**CAA**

S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE

retención de agua preocupante

2. LA CONTAMINACIÓN

3. LA RECUPERACIÓN



S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE

depuradora en el Lucio del Cangrejo

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



# La riada

- Localización
- Extensión

**Vertido** 4,5 Hm<sup>3</sup> : 3,6 Hm<sup>3</sup> de agua y 0,9 Hm<sup>3</sup> lodos

**Superficie afectada** 4.402 Ha

**Longitud del vertido de lodos** 40 Km

**Anchura** 400 m, variable



S. Isidro  
1999

1. EL ACCIDENTE

**invasión de las vaguadas**

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION

30 - Abril - 1998

100 m



1. EL ACCIDENTE

**inundación de las llanuras**

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



**CAA**

S. Isidro  
1999





# La riada

- Localización
- Extensión
- **Espesor de lodo**

1. EL ACCIDENTE

espesor de la capa de lodos

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE  
espesor de la capa de lodos
2. LA CONTAMINACION
3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999





S. Isidro  
1999

1. EL ACCIDENTE

espesor de los lodos muy variable

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION

30 - Abril - 1998

100 m  
I



1. EL ACCIDENTE

espesor de los lodos muy variable

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



# 1. EL ACCIDENTE

espesor de los lodos muy variable

## 2. LA CONTAMINACION

## 3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



# 1. EL ACCIDENTE

espesor de lodos maximo: 135 cm

## 2. LA CONTAMINACION

## 3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE

espesor de lodos usual: 8 cm

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



**CAA**

S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE

espesor de lodos mínimo: 1 mm

2. LA CONTAMINACION

3. LA RECUPERACION



**CAA**

S. Isidro  
1999



# Contaminación de suelos por el vertido tóxico de la mina de Aznalcollar (Doñana)

- El accidente
- Contaminación de los suelos
  - aguas
  - lodos
  - suelos no afectados
  - suelos contaminados



1. EL ACCIDENTE  
2. LA CONTAMINACION  
puntos muestrales  
3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

SECTOR NORTE

1 Mina

2 Soberbina

3 Las Doblas

SECTOR CENTRAL

Autovía  
Sevilla - Huelva

4 Aznalcázar

1 Km

SECTOR SUR

Aznalcázar

5 Quema

Puente D. Simón

6 Los Pobres  
Pescante

Límite de los lodos

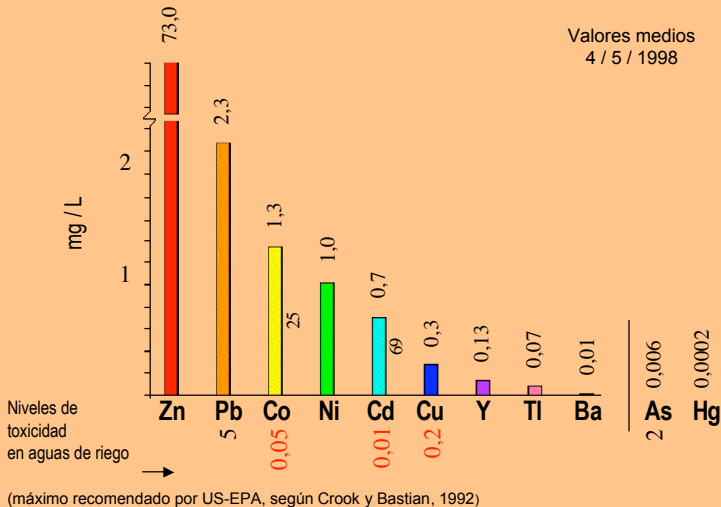


1. EL ACCIDENTE
2. LA CONTAMINACION  
los contaminantes: aguas
3. LA RECUPERACION



# Metales pesados en las aguas

Valores medios  
4 / 5 / 1998



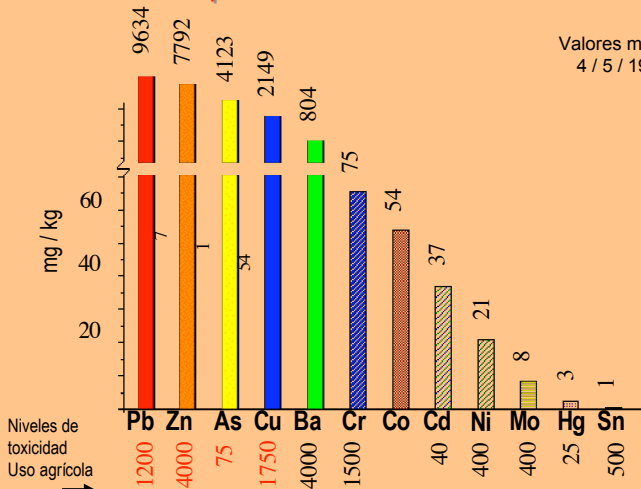
1. EL ACCIDENTE
2. LA CONTAMINACION  
los contaminantes: lodos
3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

# Metales pesados en los lodos

Valores medios  
4 / 5 / 1998



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

# Características de los lodos

Textura: franco limosa, >70% de limo

Permeabilidad: muy alta

Retención de agua: muy elevada

(agua útil 4,5L/m<sup>2</sup>/cm)

pH: ácido (4,3-5,1)

CaCO<sub>3</sub>: 0%

# Características de los suelos

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

Textura, variable: de franco arcillosa (P) a franco arenosa (S)

Materia orgánica: 0,9 - 2,9

Gravas, muy variable: 0 - 43%

pH: 7,2 - 8,1

CaCO<sub>3</sub>: 0 - 20 %

Capacidad cambio cationes: 8-31 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>

Fed: 0,8-1,5%

Clase de suelos: Xerofluvents y Xerorthents, típicos.  
Fluvisoles y Regosoles, calcáricos y eútricos.

# Vias de contaminación del suelo

3 fechas de muestreo: 4 mayo, 20 mayo y 4 junio (10, 25 y 40 días)

- **Contaminación inicial**

Llegada de las aguas y de los lodos



1. EL ACCIDENTE

2. LA CONTAMINACION

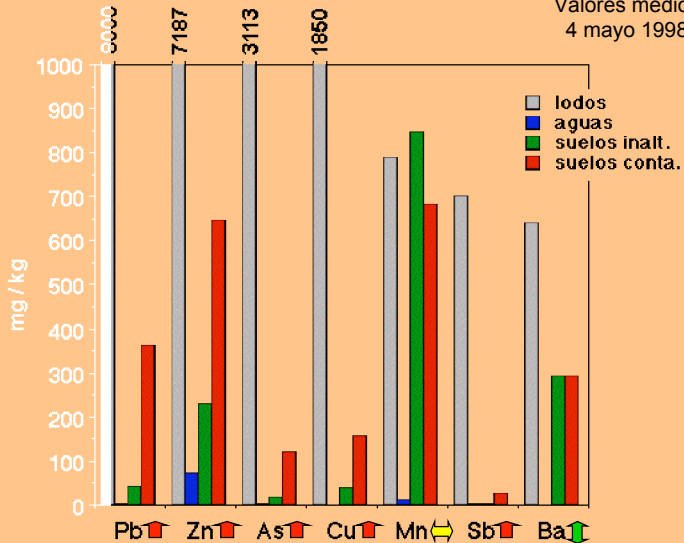
los más abundantes contaminantes

3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

Valores medios  
4 mayo 1998



1. EL ACCIDENTE

2. LA CONTAMINACION

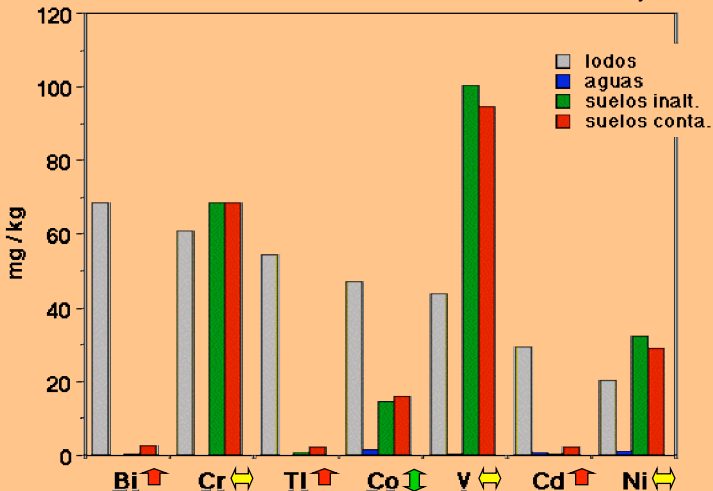
los contaminantes de 100-10 mg/Kg

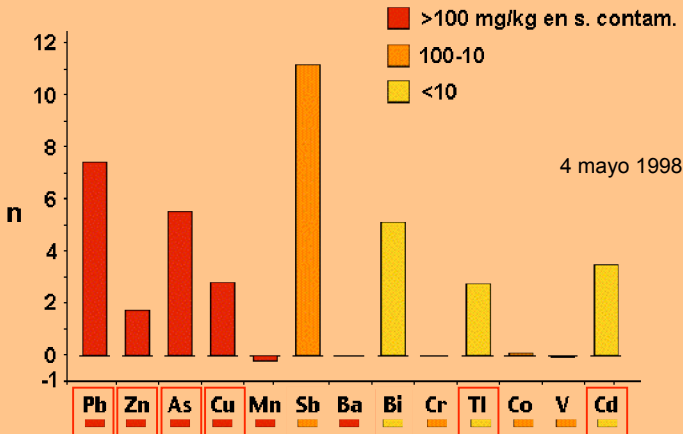
3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

Valores medios  
4 mayo 1998

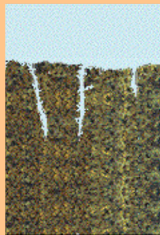




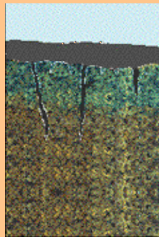
$$n = \frac{\text{conc. en suelos contaminados} - \text{conc. en suelos inalterados}}{\text{conc. en suelos inalterados}}$$

# Vías de contaminación del suelo

**Contaminación inicial** directa del suelo por las agua y por los lodos



riada tóxica



1. EL ACCIDENTE
2. LA CONTAMINACION  
la contaminantes inicial
3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

# Composición de las aguas

1. EL ACCIDENTE
2. LA CONTAMINACION  
el Bi no presente en las aguas
3. LA RECUPERACION



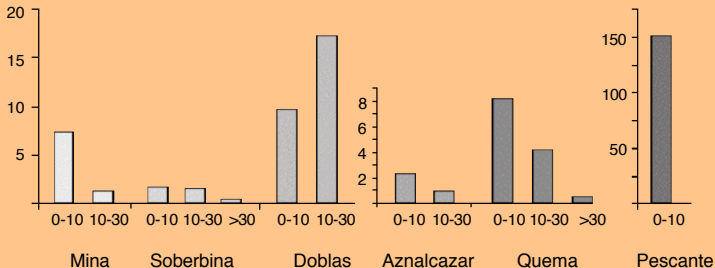
S. Isidro  
1999

| Elem.     | mg / kg |        |       | DS   |
|-----------|---------|--------|-------|------|
|           | Máximo  | Mínimo | Media |      |
| <b>Mn</b> | 11,56   | 10,93  | 11,21 | 0,32 |
| <b>Zn</b> | 74,81   | 71,38  | 72,77 | 1,81 |
| <b>Pb</b> | 2,6     | 2,05   | 2,26  | 0,29 |
| <b>Co</b> | 1,48    | 1,11   | 1,29  | 0,19 |
| <b>Ni</b> | 1,01    | 0,97   | 0,01  | 0,02 |
| <b>Cd</b> | 0,75    | 0,64   | 0     | 0,06 |
| <b>Cu</b> | 0,4     | 0,24   | 0,31  | 0,08 |
| <b>Y</b>  | 0,16    | 0,1    | 0,13  | 0,03 |
| <b>Tl</b> | 0,07    | 0,07   | 0,07  | 0,00 |
| <b>Ba</b> | 0,01    | 0,01   | 0,01  | 0,00 |

| Elem.     | µg / kg |        |       | DS   |
|-----------|---------|--------|-------|------|
|           | Máximo  | Mínimo | Media |      |
| <b>Sc</b> | 7,07    | 5      | 5,69  | 1,19 |
| <b>Se</b> | 4,86    | 2,94   | 3,92  | 0,96 |
| <b>As</b> | 4,3     | 1,74   | 2,79  | 1,34 |
| <b>Sb</b> | 2,96    | 2,4    | 2,62  | 0,3  |
| <b>Be</b> | 1,87    | 1,23   | 1,53  | 0,32 |
| <b>U</b>  | 1,83    | 1,49   | 1,63  | 0,18 |
| <b>V</b>  | 0,49    | 0,28   | 0,36  | 0,11 |
| <b>Th</b> | 0,37    | 0,27   | 0,31  | 0,05 |
| <b>Hg</b> | 0,19    | 0,15   | 0,17  | 0,02 |
| <b>In</b> | 0,06    | 0,03   | 0,04  | 0,01 |
| <b>Sn</b> | 0,00    | 0,00   | 0,00  | 0,00 |
| <b>Bi</b> | 0,00    | 0,00   | 0,00  | 0,00 |
| <b>Cr</b> | 0,00    | 0,00   | 0,00  | 0,00 |
| <b>Mo</b> | 0,00    | 0,00   | 0,00  | 0,00 |

# Contaminación por lodo

g / kg



1. EL ACCIDENTE

2. LA CONTAMINACION

**entrada lodo escasa: contacto neto**

3. LA RECUPERACION



**CAA**

S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE

2. LA CONTAMINACION

abundante entrada lodo por grietas

3. LA RECUPERACION



**CAA**

S. Isidro  
1999





S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE
2. LA CONTAMINACION  
abundante entrada lodo por grietas
3. LA RECUPERACION



1. EL ACCIDENTE

2. LA CONTAMINACION

entrada lodo y estructura del suelo

3. LA RECUPERACION



CAA

S. Isidro  
1999



## Quema

Estructura poco desarrollada.  
Contacto neto. Penetración pequeña.



## Pescante

Estructura muy desarrollada.  
Amplias grietas. Penetración intensa.



S. Isidro  
1999



1. EL ACCIDENTE
2. LA CONTAMINACION  
entrada lodo abundante en grietas.
3. LA RECUPERACION



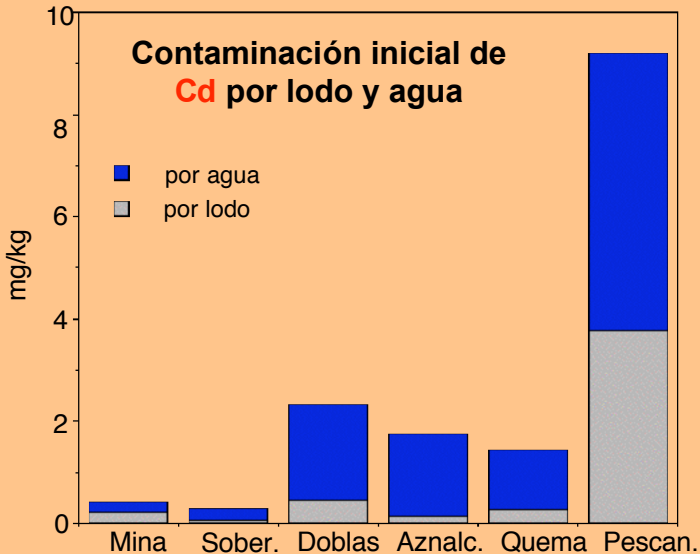
# Cálculo de la contaminación inicial por el lodo y el agua

1. EL ACCIDENTE
2. LA CONTAMINACION  
entrada por lodo y por agua
3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

| Z g/kg            | Param.   | Cu    | Zn     | As    | Cd   | Sb    | Bi   | Tl   | Pb     |
|-------------------|----------|-------|--------|-------|------|-------|------|------|--------|
| 7,4               | SCI-SNCi | 16,8  | 98,7   | 11,5  | 0,41 | 2,59  | 0,31 | 0,32 | 42,6   |
| <b>Mina</b>       | lodo %   | 71    | 54     | 95    | 52   | 100   | 100  | 96   | 76     |
|                   | agua %   | 29    | 46     | 5     | 48   | 0     | 0    | 4    | 24     |
| 1,7               | SCI-SNCi | 21,7  | 59,9   | 4,34  | 0,29 | 1,16  | 0,12 | 0,11 | 20,9   |
| <b>Soberbina</b>  | lodo %   | 15    | 19     | 89    | 16   | 100   | 100  | 97   | 68     |
|                   | agua %   | 85    | 81     | 11    | 84   | 0     | 0    | 3    | 32     |
| 12,5              | SCI-SNCi | 124,8 | 472    | 52,1  | 2,32 | 9,78  | 1,07 | 0,86 | 198,3  |
| <b>Doblas</b>     | lodo %   | 22    | 21     | 98    | 19   | 100   | 100  | 97   | 60     |
|                   | agua %   | 78    | 79     | 2     | 81   | 0     | 0    | 3    | 40     |
| 3,7               | SCI-SNCi | 41,5  | 345,1  | 16,1  | 1,76 | 2,93  | 0,32 | 0,25 | 58,3   |
| <b>Aznalcazar</b> | lodo %   | 19    | 8      | 95    | 8    | 100   | 100  | 97   | 61     |
|                   | agua %   | 81    | 92     | 5     | 92   | 0     | 0    | 3    | 39     |
| 9,4               | SCI-SNCi | 153   | 261    | 34,8  | 1,44 | 7,22  | 0,76 | 0,57 | 100,2  |
| <b>Quema</b>      | lodo %   | 12    | 25     | 100   | 19   | 100   | 100  | 100  | 90     |
|                   | agua %   | 88    | 75     | 0     | 81   | 0     | 0    | 0    | 10     |
| 153,5             | SCI-SNCi | 352,9 | 3266,4 | 572,2 | 9,18 | 129,9 | 11,7 | 8,69 | 1710,9 |
| <b>Pescante</b>   | lodo %   | 88    | 34     | 100   | 41   | 100   | 100  | 95   | 86     |
|                   | agua %   | 12    | 66     | 0     | 59   | 0     | 0    | 5    | 14     |
| 26,3              | SCI-SNCi | 62,6  | 411,9  | 62,6  | 1,27 | 10,2  | 1,01 | 0,89 | 149,2  |
| <b>Pobres</b>     | lodo %   | 46    | 40     | 97    | 47   | 100   | 100  | 98   | 85     |
|                   | agua %   | 54    | 60     | 3     | 53   | 0     | 0    | 2    | 15     |



1. EL ACCIDENTE

2. LA CONTAMINACION

entrada de Cd por lodo y por agua

3. LA RECUPERACION



S. Isidro  
1999

