



SIMPOSIO LIFE 2016

Nuevas tendencias y retos en recuperación de suelos contaminados

Madrid, 15 y 16 de Junio de 2016

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural
(Sede Antigua ETSI Montes)

Universidad Politécnica de Madrid



Programa REMEDINAL-3
S2013/MAE-2719



Cátedra
Ciudad Sostenible
y Empresa



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Montes, Forestal y del Medio Natural



CBGP

“La restauración de los suelos de la cuenca del Guadamar”

Terra vita est



RE CARE



Paula Madejón Rodríguez
pmadejon@irnase.csic.es

CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



- ✓ El 25 de abril de 1998, se produce la rotura del muro de contención de la balsa de decantación de “Los Frailes”
- ✓ 4-5 millones m³ de lodos y aguas ácidas tóxicas (74-80% pirita con arsenopiritase) vertieron y distribuyeron a lo largo de los ríos Agrio y Guadiamar



Una franja de aprox. 300 m ancho y 40 km largo fue cubierto por una capa (2-30 cm) de lodo negro



Eliminación capa lodo superficial + 10-20 cm primeros suelo →



Adicción de enmiendas: calizas, compost y estiércol y posterior arado →



Forestación de la zona contaminada con especies vegetales autóctonas Se plantaron más de 3 millones de plantas: alcornoque, encina, acebuche, álamo, sauce, romero, adelfa, retama, etc. →



Concentración de elementos traza en suelos afectados por el vertido, tras las labores de limpieza (mg kg⁻¹)



	Suelos No afectados		Suelos afectados		Suelos "normales"	Fitotóxicos
	Media	Rango	media	rango	Media	rango
As	18.9	8.37 - 38.5	80.4	9.38- 684	6	20
Hg	0.065	0.035-0.085	0.17	0.11-0.43	0.06	0.3-5.0
Cd	0.33	0.12 - 1.06	1.69	0.12- 22.0	0.35	3 - 8
Cu	30.9	12.3 - 85.0	104	12.5 - 958	30	60- 125
Pb	38.2	19.5 - 86.3	234	25.3-4969	35	100 - 400
TI	0.70	0.37 - 2.77	2.11	0.40- 30.3	0.20	-
Zn	109	53.9 - 271	487	57 - 5283	90	70 - 400

(Cabrera et al., 1999)

A pesar de las labores de limpieza, los suelos permanecen moderadamente contaminados



La Junta de Andalucía empleó 66 millones € en resolver esta catástrofe

Labores de limpieza de los suelos y adicción de enmiendas



Comprar a los agricultores las tierras afectadas por el vertido

DECISIÓN DE CREAR



Este proyecto tenía los siguientes objetivos:

- ✓ Evitar la dispersión y estabilizar los elementos traza en suelos
- ✓ Restaurar la función hidrológica de la cuenca del Guadamar
- ✓ Crear un corredor ecológico entre los ecosistemas de Doñana y Sierra Morena



Aspecto actual de la cuenca del Guadiamar



Terra vita est

La restauración de los suelos de la cuenca del Guadiamar

Evolución de la contaminación en la llanura inundable



Concentraciones de ET (mg kg⁻¹) en diversos puntos de la LLI (0-20cm) medidas en los años 2002 (N = 28), 2005 (N = 15) y 2014 (N = 20)

Elemento	Año	Media ± error estándar	Intervalo
As	2002	131 ± 19	25.3 - 496
	2005	131 ± 23	48.7 - 339
	2014	63.5 ± 10.6	14.1 - 214
Cd	2002	2.99 ± 0.21	1.11 - 5.06
	2005	1.50 ± 0.18	0.52 - 3.05
	2014	1.22 ± 0.20	0.27 - 2.95
Cu	2002	165 ± 20	39.2 - 458
	2005	115 ± 11	67.8 - 198
	2014	109 ± 12	28.5 - 197
Pb	2002	237 ± 41	62.6 - 1120
	2005	352 ± 152	73.2 - 2417
	2014	149 ± 25	28.9 - 486
Zn	2002	440 ± 41	146 - 867
	2005	267 ± 41	104 - 682
	2014	356 ± 50	114 - 793

Descenso general desde 2002 a 2014 , datos de carácter sólo orientativo (sólo puede afirmarse que no ha habido un empeoramiento generalizado en LLI)



Terra vita est

La restauración de los suelos de la cuenca del Guadiamar

Aunque la restauración de la mayor parte del Corredor Verde del Guadiamar ha sido exitosa (no solo los suelo también la vegetación forestada), aún faltan algunas zonas por recuperar.

Recuperación de los márgenes y taludes del río



Zonas sin vegetación (Calvas) debido a los lodos enterrados durante la limpieza



Previniendo y remediando la degradación de suelos en Europa mediante el cuidado de la tierra



Amenazas del suelo: Erosión, Salinización, compactación, sellado, desertificación, inundaciones, pérdida de materia orgánica, contaminación, pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos.

17 casos de estudios: 1 caso Corredor Verde del Guadiamar

<http://www.recare-hub.eu/stakeholder-platforms/guadiamar-spain>



- La limpieza de márgenes y taludes de los ríos resultó especialmente complicada
- La limpieza de la llanura aluvial resultó mucho más fácil y efectiva
- Desde el accidente sólo se han realizado análisis periódicos de los suelos análisis de la llanura inundable



***MAYOR CONTAMINACIÓN DE SUELOS EN TALUDES Y
MÁRGENES QUE EN LA LLANURA INUNDABLE
(en 2014, después de 16 años del vertido)***

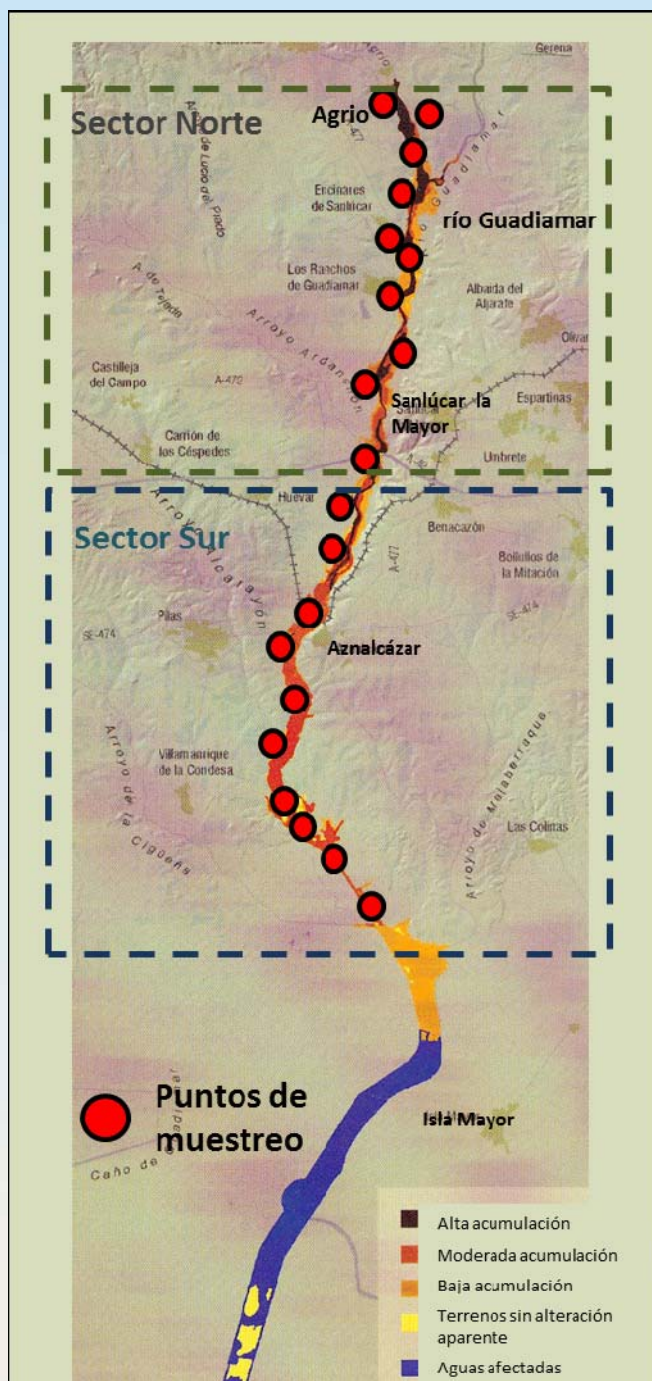
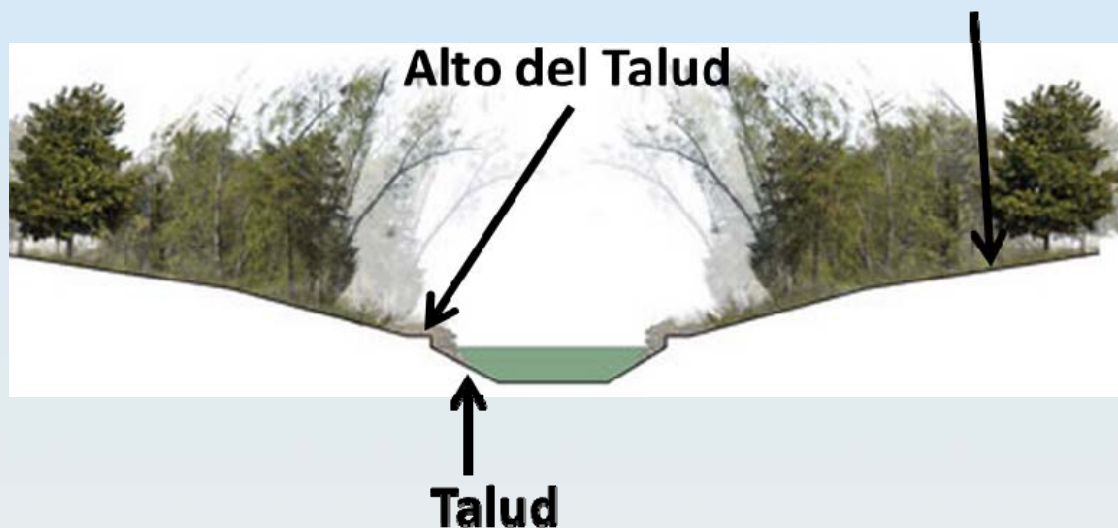
Domínguez et al., Geoderma 261 (2016) 133–140



Puntos de Muestreo

20 puntos repartidos en dos sectores (N/S)
En cada punto se seleccionaron tres escenarios

Llanura Inundable



TRAMO NORTE

Talud

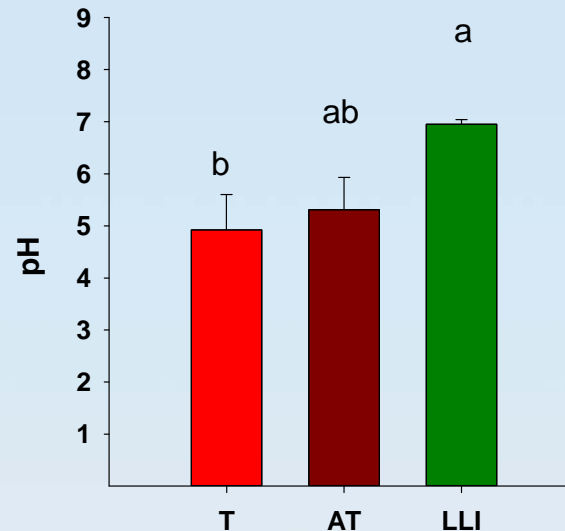
50 % pH < 3.5

50% pH 6.2-7.2

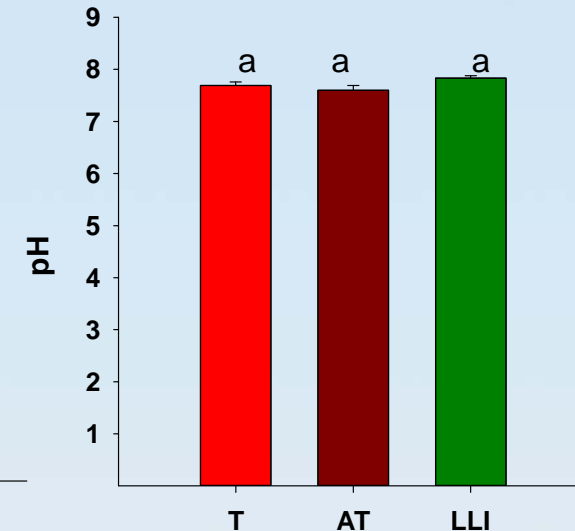
Alto del talud

40 % pH < 5.5

60% pH 6.2-7.3



TRAMO NORTE



TRAMO CENTRAL

- El valor medio de pH de la llanura inundable (LLI) es siempre neutro.
- El pH del talud (T) y alto del talud es ácido en tramo Norte y (más al norte) y neutro en el tramo central



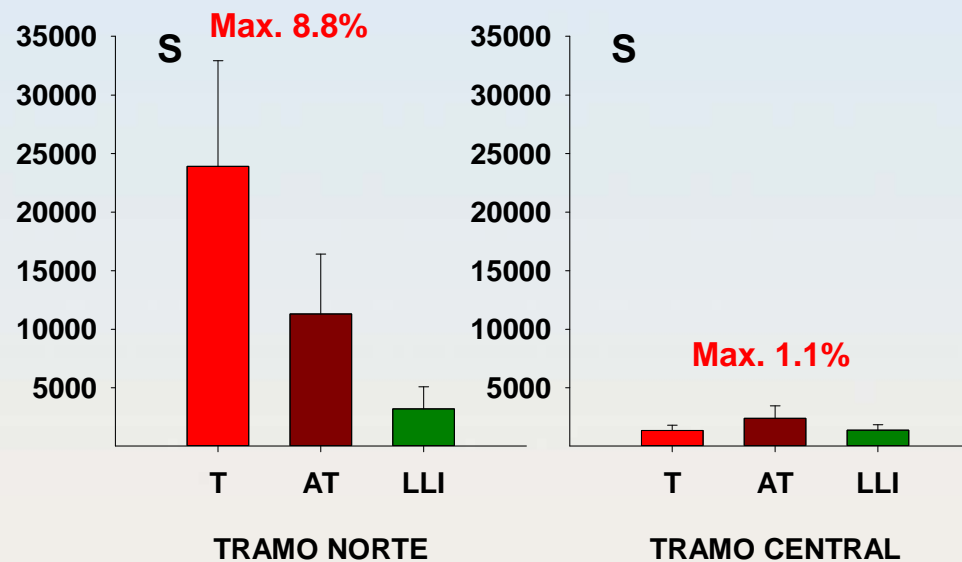
Tramo Norte: textura tiende a ser principalmente arenosa

Tramo Central: textura tiende a ser más arcillosa

Dentro de cada tramo similares características den T, AT y LLI

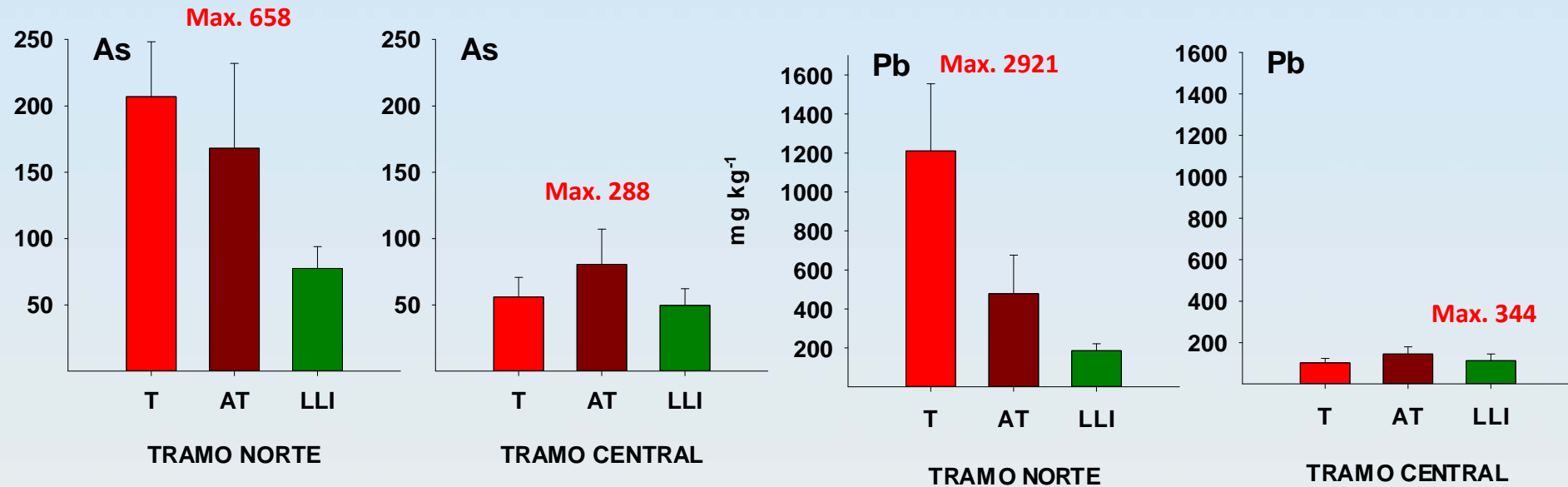
La textura de la zona central es más propicia para la inmovilización de elementos traza que el tramo Norte

S total



Contaminación de elementos traza totales

TRAMO NORTE >> TRAMO CENTRAL
 TRAMO NORTE: [T, AT] > [LLI]

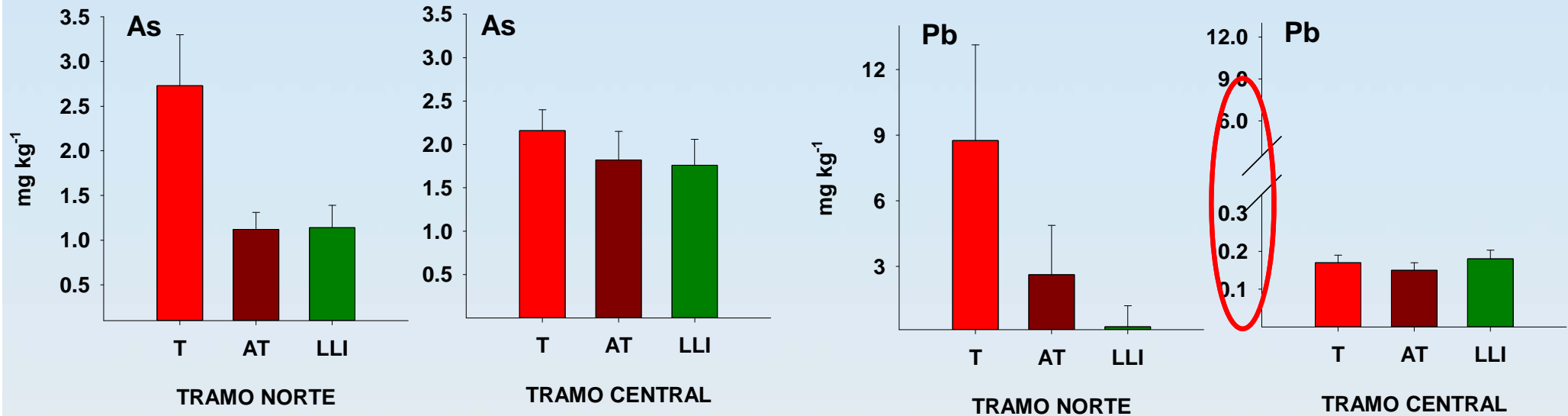


As: ~ 50% > 50 mg kg⁻¹ (lim. Intervención: Aguilar y col. 1999)

Pb: ~ 15% > 500 mg kg⁻¹ (lim. Intervención: Aguilar y col. 1999)



Elementos Traza disponibles (extracción CaCl_2 0.01M)

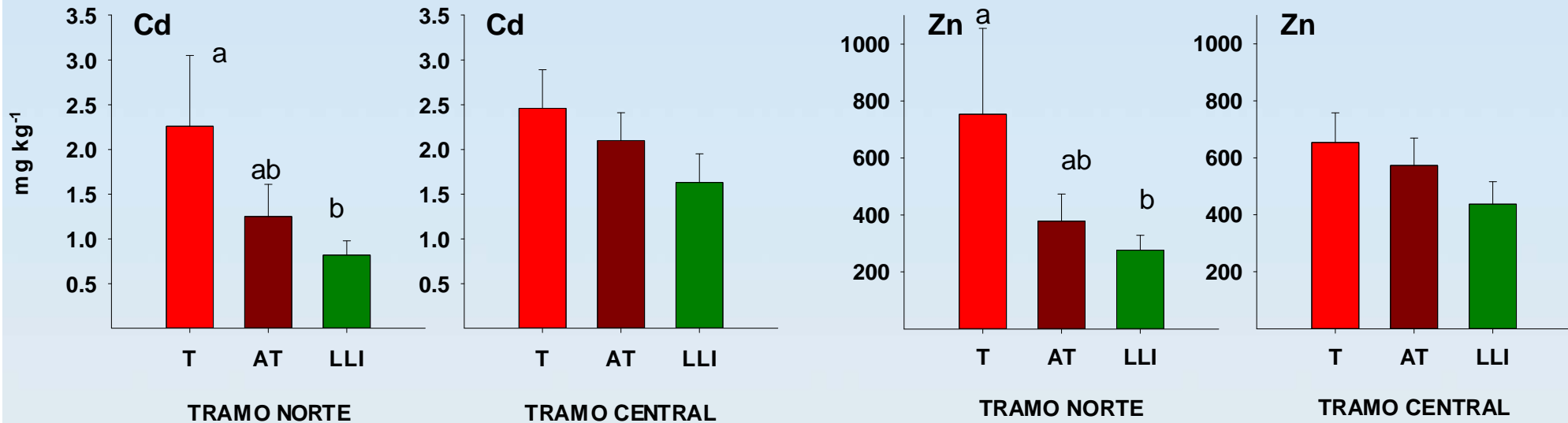


- La alta movilidad de As en ambos Taludes se debe a los mayores episodios de inundación que sufre esta zona en comparación con las otras dos, creando condiciones de mayor movilidad de As.
- Tramo central: mayor movilidad As en AT Y LLI , debido a las condiciones alcalinas.



Contaminación de elementos traza totales

TRAMO NORTE \approx TRAMO CENTRAL
TRAMO NORTE [T] > [LLI]

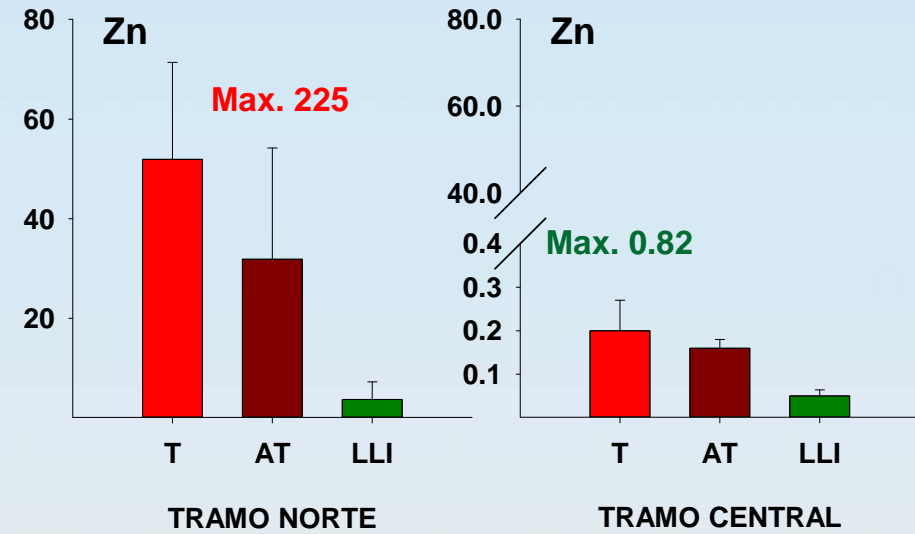
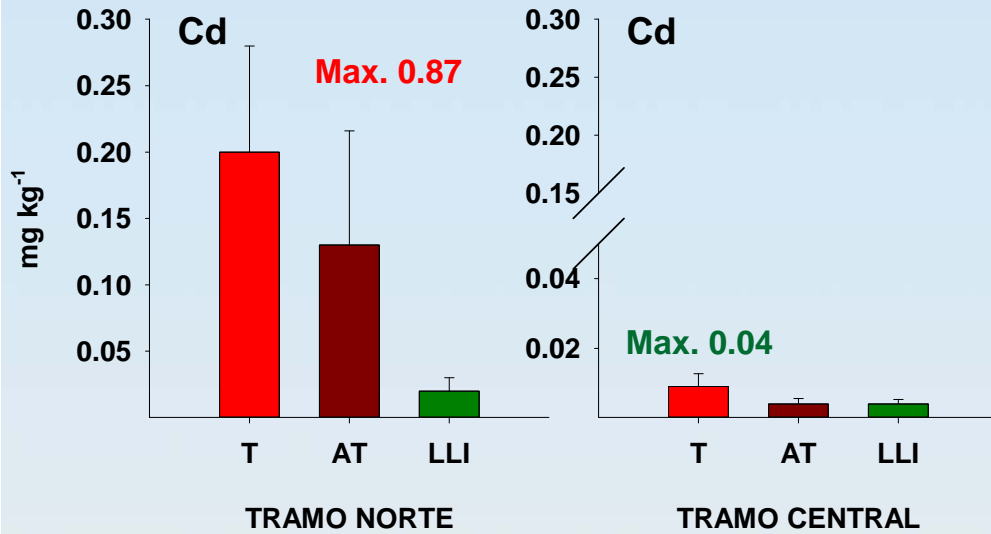


Estos elementos más móviles fueron progresivamente lixiviados agua abajo desde la parte Norte dada las condiciones de acidez y textura arenosa que favorece la movilidad de estos elementos

- **nunca se superó el lim. intervención para Cd: 10 mg kg⁻¹ (12% > conc. permitida: 3 mg kg⁻¹)**
- **8% de muestras superaron lim. intervención para Zn: 1000 mg kg⁻¹ (70% > conc. permitida: 300 mg kg⁻¹)**



Elementos Traza disponibles (extracción CaCl_2 0.01M)



[Cd y Zn] potencialmente tóxicas en T y AT del tramo norte

Tramo norte >> tramo central



El estudio de cuencas contaminadas no sólo debe contemplarse el suelo de la llanura inundable (caso más frecuente), sino también el de sus márgenes y taludes, desde donde la contaminación puede alcanzar con mayor facilidad el lecho del río.

La persistencia de contaminación en la cuenca del Guadiamar depende del origen geológico de cada zona (pH del suelo y textura del mismo) así como de la zona topográfica del canal. El destino de los elementos traza fue distinto dependiendo de las características de los elementos. Cd y Zn fueron fácilmente distribuidos aguas abajo debido a su alta solubilidad, mientras que As y Pb permanecieron en la zona más cercana a la fuente de contaminación.

La aplicación de la recuperación natural asistida fue fundamental para la recuperación de la zona, aunque en futuros diseños y monitoreos habría que considerar la geología del suelo especialmente ajustando dosis de enmiendas para mantener pH neutro durante más tiempo y así mantener la inmovilización de la mayoría elementos traza



Caracterización físico-química de suelos desnudos en el área afectada por el vertido minero de Aznalcóllar

Cabrera F, Alegre JM, Murillo JM, Marañón T.



Estudio comparativo de propiedades químicas de los suelos de las zonas de “calvas” con otras adyacentes cubiertas con vegetación

Cabrera et al., 2015. Caracterización físico-química de suelos desnudos en el área afectada por el vertido minero de Aznalcóllar. VII Simposio Nacional sobre el control de la degradación y restauración de suelos. CONDEGRES pp.206-207



Zonas de estudio

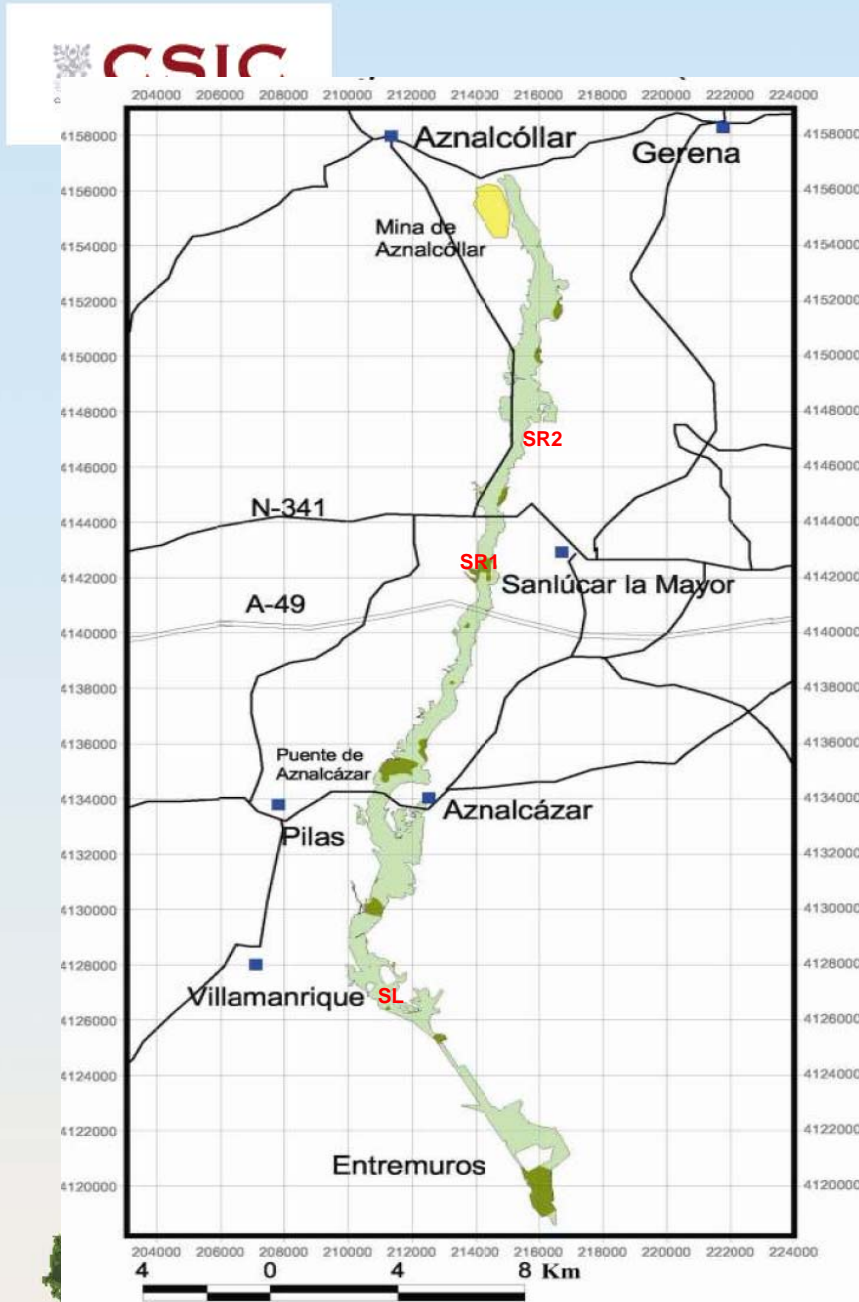


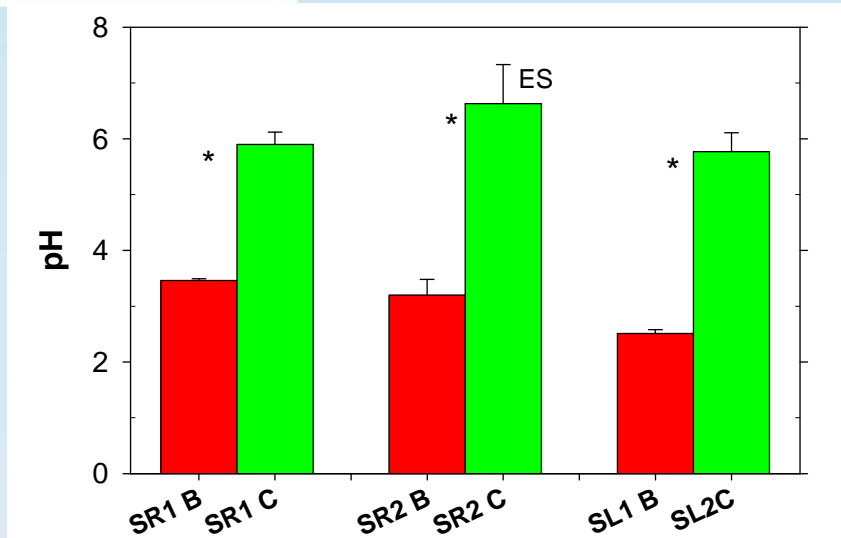
SR1 y SR2 : suelos limpiados y enmendados

SL: suelo de una parcela lodo experimental

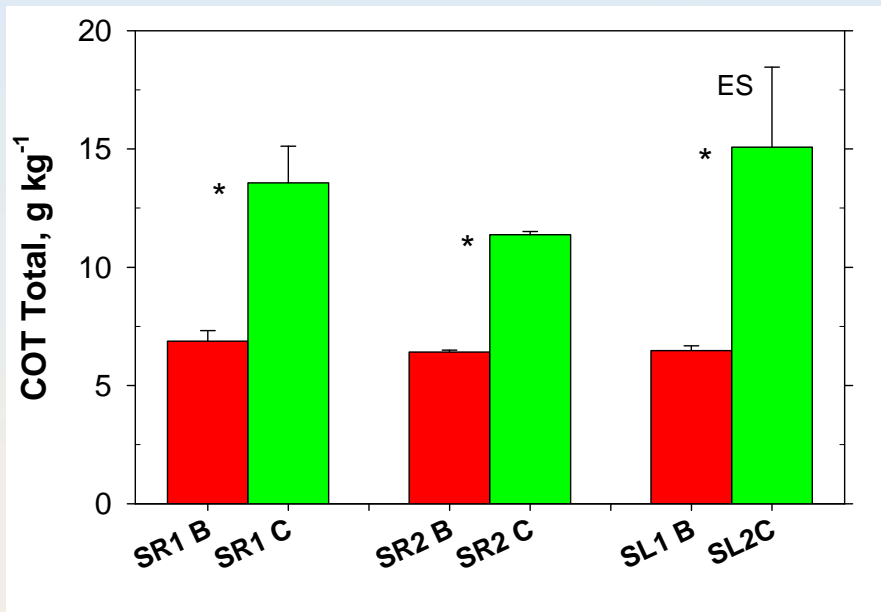
- En cada zona se tomaron tres muestras compuestas de suelo (0-10 cm) de cada calva y de las áreas vegetadas adyacentes.

Las clavas suponen aproximadamente un 7% del tramo Norte del Corredor Verde (Martín-Peinado et al, 2015). Sin embargo en el tramo más central y sur son menos frecuentes debido al carácter calcáreo de los suelos





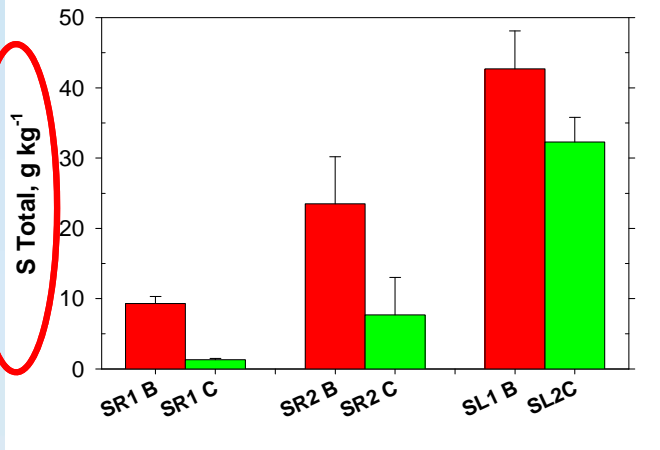
- pH ácidos en las calvas y más cercanos a la neutralidad en las zonas adyacentes con vegetación. Similar en SR y SL



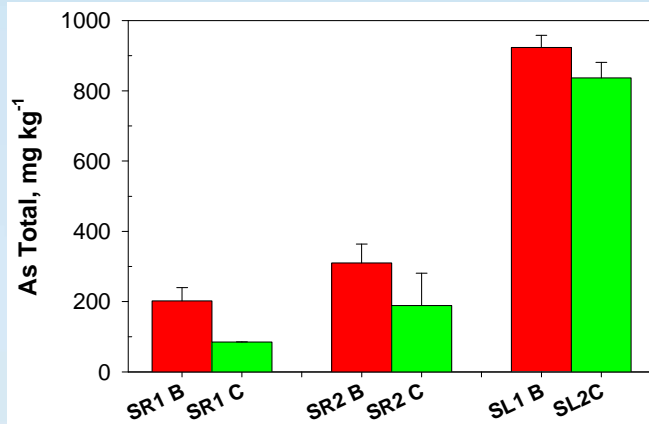
- COT mucho más bajo en calvas: efecto vegetación



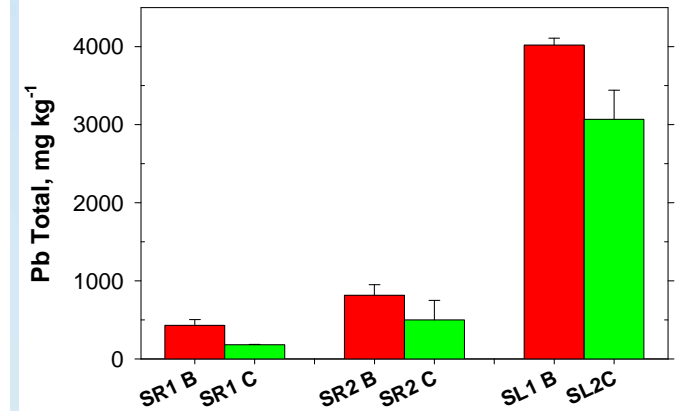
S



As



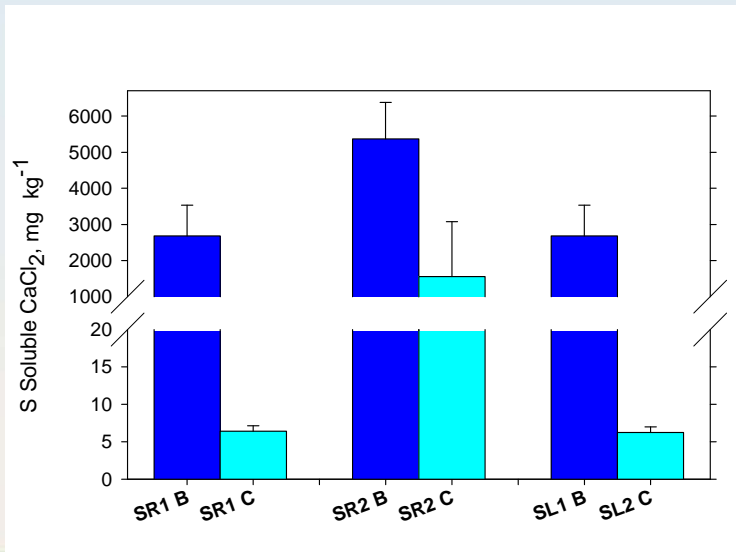
Pb



- Altas concentraciones de S Total en las calvas debidas a existencias de sulfuros y sulfatos insoluble

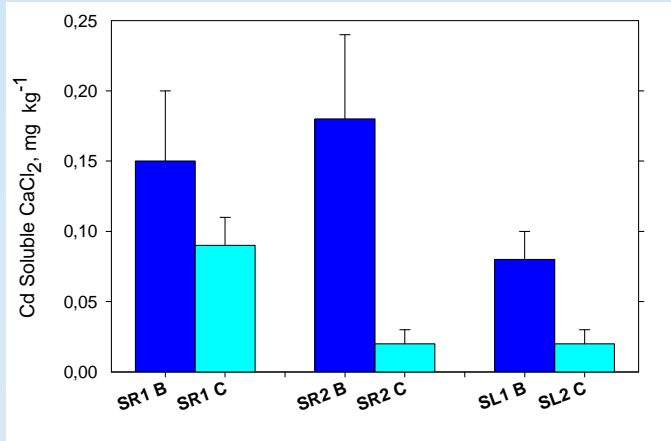
- Mayores concentraciones de As y Pb (elementos poco móviles) en las calvas

S soluble (CaCl₂ 0.01M)

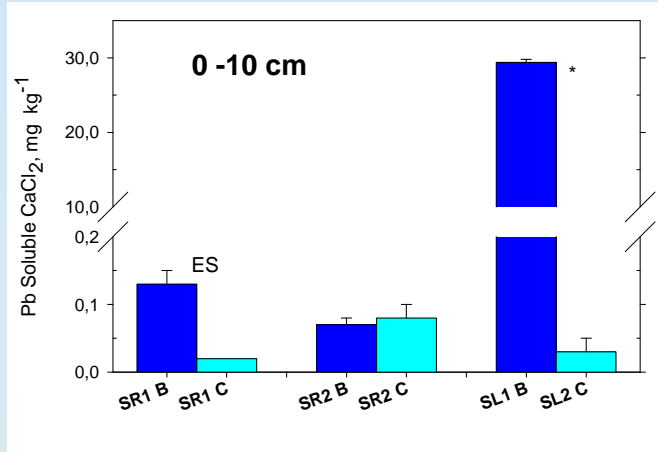


- Mayores concentraciones de S soluble (sulfatos) en las calvas debido a mayores concentraciones de sulfuros originalmente
- Altas concentraciones de Al soluble en los suelos de calvas, (relacionadas con los pH ácidos); condiciona la presencia de plantas

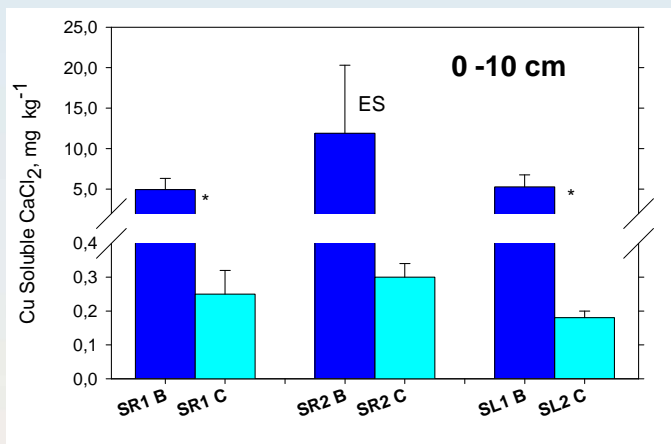
Cd



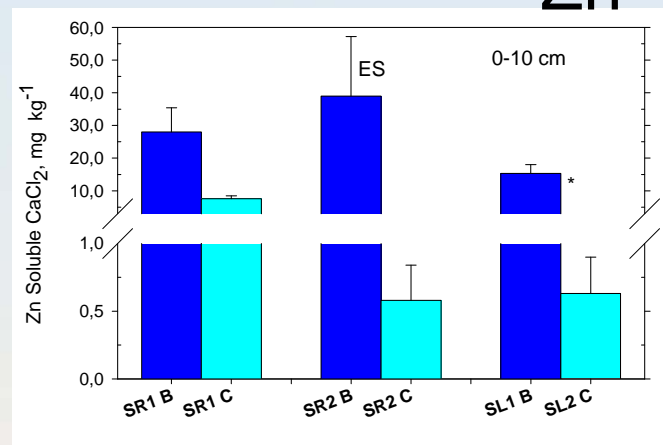
Pb



Cu



Zn



Altas concentraciones de ET solubles en las calvas relacionadas con el pH ácido; condicionan la colonización



- En esos suelos el pH es muy ácido y las concentraciones de S Total, Al soluble y S y elementos traza solubles son muy altas, estas últimas hacen pensar que se ha producido o se está produciendo una oxidación e hidrólisis de sulfuros (principal componente del lodo del vertido)
- El efecto negativo de la acidez no solo radica en la toxicidad de H⁺ sino en la alta solubilidad de Al (muy alta a pH<5) y de otros metales catiónicos, así como la deficiencia de nutrientes básicos. Todas estas condiciones químicas de los suelos, hacen que las calvas no sean propicias para que puedan ser colonizadas por vegetación espontánea.
- Podría replantearse la aplicación de nuevas medidas correctoras, que aumentaran el pH y disminuyeran las concentraciones de elementos traza solubles, lo que impediría la propagación de la contaminación a zonas adyacentes



Como conclusión general de la restauración de la cuenca del Guadiamar, destacar que a pesar de los puntos a mejorar, la restauración de la mayor parte del Corredor Verde ha sido exitosa. Aunque debería establecerse un programa de monitorización de los suelos (que actualmente no existe).

GRACIAS



**JOSÉ MANUEL
MURILLO**



**TEODORO
MARAÑÓN**



**ENGRACIA
MADEJON**



**FRANCISCO
CABRERA**



**MARIA
TERESA
DODÍNGUEZ**



**JOSÉ MARIA
ALEGRE**

