

Metodologías para la monitorización de la aplicación de lodos de depuradora. Bioseguridad microbiana y modelos de flujo y transporte de contaminantes solubles

Informe 2º año



Luis Moreno Merino
M^a Emilia Jiménez Hernández
Almudena de la Losa Román
Silvino Castaño Castaño

Septiembre 2012

ÍNDICE

	Pág
1.- Introducción	5
2.- Presentación de resultados	6
a) Análisis de extractos	9
b) Análisis de la matriz sólida	15
c) Análisis de referencia de lodos	24
d) Evolución de los niveles del agua subterránea	26

1.- Introducción

En este documento se presenta el informe científico y técnico de avance de los trabajos desarrollados por el equipo del IGME en el marco del proyecto titulado “Metodologías para la monitorización de la aplicación de lodos de depuradora Bioseguridad microbiana y modelos de flujo y transporte de contaminantes solubles” (022/PC0813-04.2).

Las actividades del grupo IGME se desarrollan en dos apartados:

Actividad B.3: Análisis de los procesos de lixiviación, “Descripción de la capacidad de transmisión hidráulica del terreno sobre el que se llevará a cabo el ensayo.

Actividad D.6: Estudio del proceso de lixiviación hacia las aguas subterráneas.” Asegurar la bioseguridad de la aplicación de lodos confirmando la ausencia de microorganismos en las aguas subterráneas, así como el control de los elementos solubles en las aguas subterráneas. Así se comprobará experimentalmente los datos obtenidos con los modelos de flujo y transporte.”

Tal como se presentó en el informe de 1^{er} año los ensayos previos encaminados a la caracterización de transmisión hidráulica del terreno están terminados, no obstante a lo largo del proyecto se seguirá recopilando información, principalmente de tipo climático con el fin de afinar el modelo empleando toda la información disponible al terminar el proyecto.

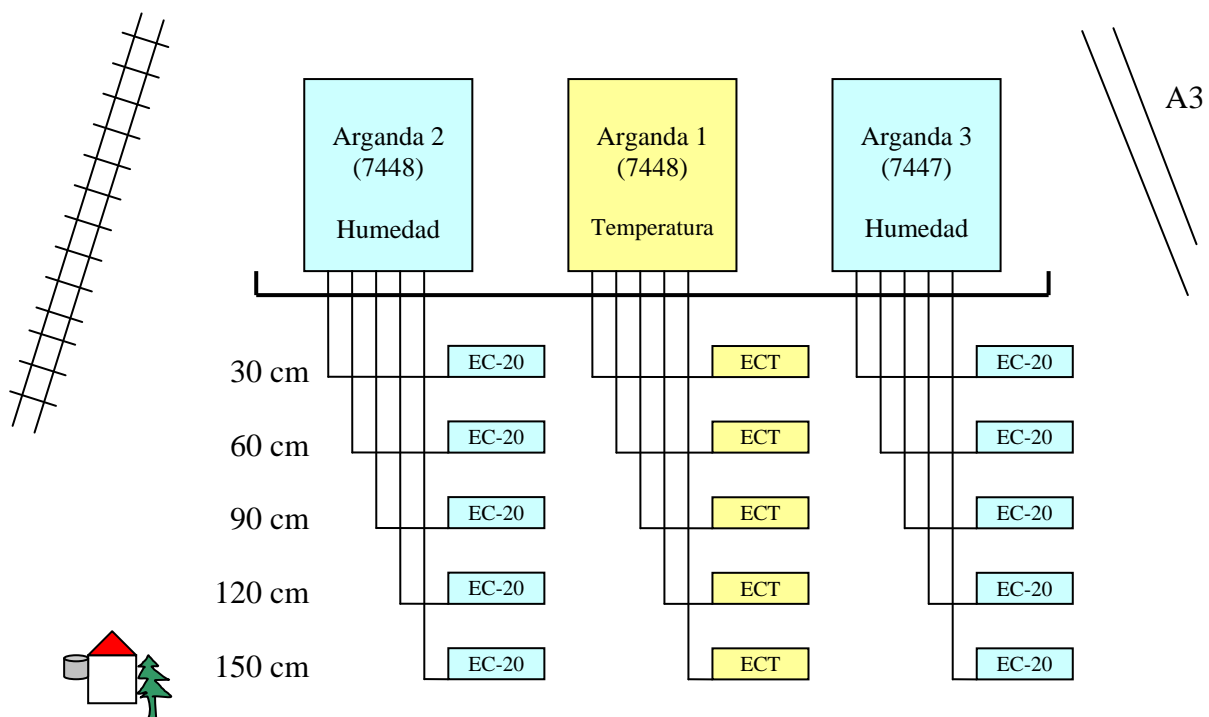


Figura 1 esquema de instalación de los equipos de monitorización de humedad y temperatura

2.- Presentación de resultados

En este contexto se procedió a la instalación de los equipos de monitorización de humedad y temperatura necesarios para el seguimiento de estos parámetros en la zona no saturada. Los tensiómetros de succión previstos en un principio han sido sustituidos por sensores TDR debido a que se observó la aparición de grietas superficiales de retracción durante la estación seca, estas grietas impiden el contacto adecuado de las cápsulas cerámicas con el suelo y hacen muy difícil, cuando no imposible, obtener medidas fiables con tensiómetros.

En total se han instalado tres equipos de registro automático (Datalogger EM50) según el esquema de la figura 1. Los sensores de humedad elegidos han sido del modelo ECH50 que permiten obtener una muestra integrada de mayor volumen que los sensores mas cortos.



Figura 2. Proceso de instalación de los sensores de humedad y temperatura

El 25/05/2010 hubo que sustituir uno de los registradores por otro de reserva, pues falló el sistema de sellado del compartimento de electrónica y entró agua, y el 15/09/2010 se sustituyeron dos sensores de humedad y dos de temperatura que dejaron de dar información por causas desconocidas. En la actualidad (15/12/2010) aparentemente el equipo está funcionando adecuadamente y no se registra ninguna incidencia destacable.

Como ejemplo, en la figura 3 se presentan los datos de registro de humedad volumétrica del sensor Arganda 3 y en la figura 4 los datos de evolución de temperatura del sensor 2.

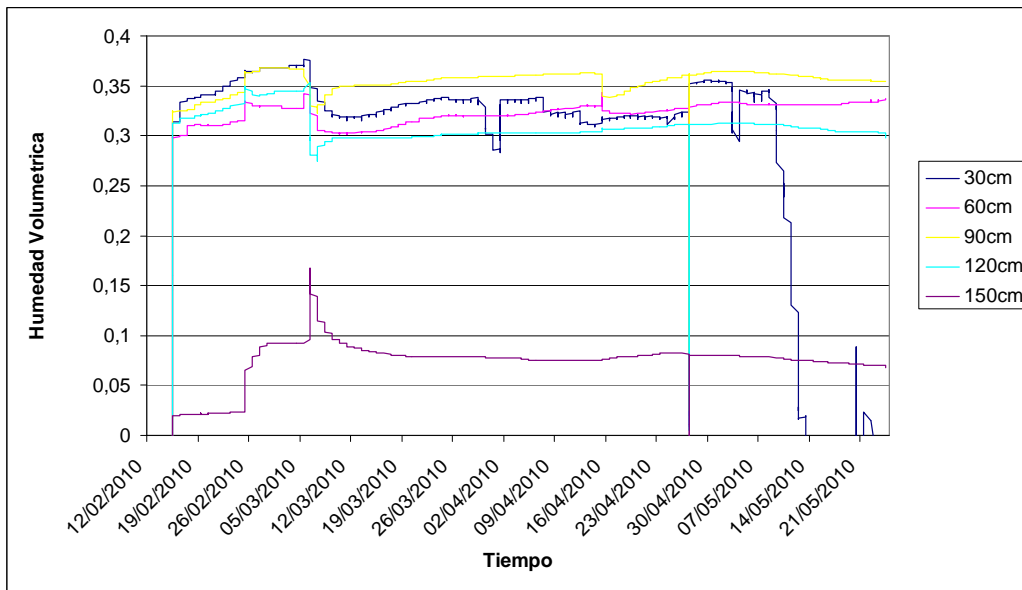


Figura 3 Evolución de la humedad volumétrica en el sensor Arganda 3

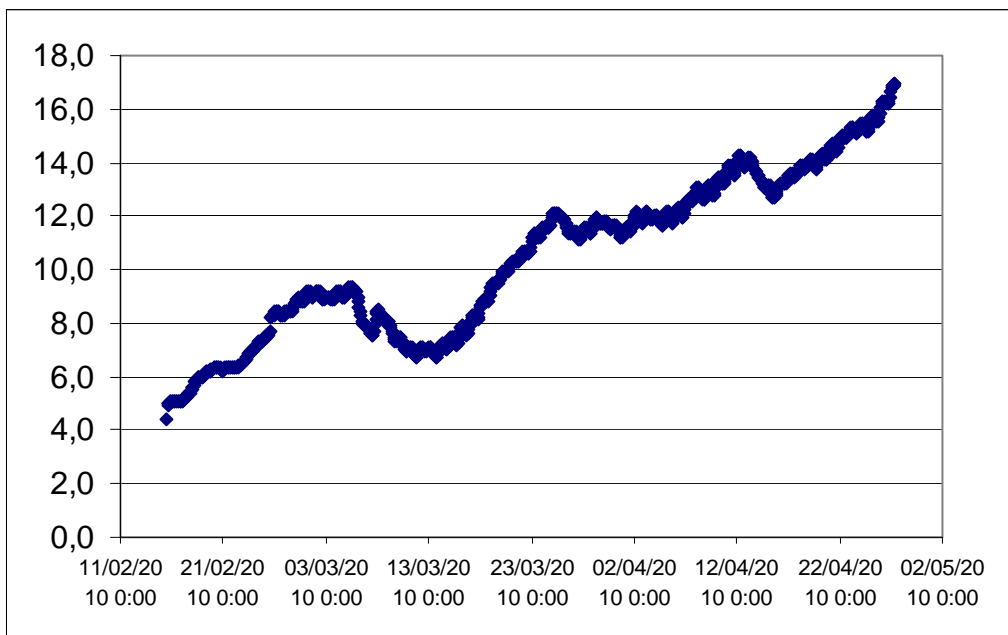


Figura 4 Evolución de la temperatura. Sensor 2.

En la tabla 1 se presenta un resumen de las muestras analizadas:

Tabla 1 resumen de las muestras de suelo, lodos y extractos analizadas			
Muestras	Descripción	Nº de Muestras	Determinaciones
Suelo	Parcela tmmto lodos. Perfil 0-90 cada 5 cm.	18	Elementos traza Fluorescencia RX
Suelo	Parcela control Blanco. Perfil 0-90 cada 5 cm	19	Elementos traza Fluorscencia RX
Extracto acuoso	Ensayo afección: T0, perfil 0-160 cm cada 20 cm por duplicado	16	Análisis químico completo
Lodos	Tratamiento previo: esterilización en autoclave y secado en estufa	2	Elementos traza por ICP-AES
Extractos acuosos	Ensayo afección T1 (3 meses) perfil 0-100 cm cada 20 cm. Dos tratamientos, Lodos aerobios y anaerobios. Triplicado de cada muestra.	30	Análisis químico completo

Las labores relativas a lixiviación de nutrientes se han centrado en la realización de tres grupos de análisis:

- 1- Muestras de lodos (analizadas por ICP-AES). Estas muestras se emplean como referencia para poder establecer conclusiones a partir de los dos grupos de análisis siguientes.
- 2- Extractos acuosos de muestras de suelo (controles sin lodos y tratamientos con lodos).
- 3- Muestras de suelo (controles sin lodos y tratamientos con lodos) que se han analizado por fluorescencia de RX.

Las muestras de suelo se han tomado tanto en parcelas control como en parcelas con tratamiento de lodos aerobios y anaerobios). Los testigos continuos se han tomado embutidos en tubos de polietileno hasta una profundidad de 100 o 200 cm con tomamuestras tipo COBRA, usando un martillo percutor. Para cada uno de los testigos se han separado submuestras a intervalos de profundidad de 20 cm. Se ha secado al aire cada una de estas submuestras y se ha preparado, a partir de la fracción fina del suelo, el extracto acuoso (relación 1:5 suelo:agua). El análisis químico completo de los extractos acuosos se ha llevado a cabo en el laboratorio del IGME de Tres Cantos.

a) Análisis de extractos

Se han determinado 24 parámetros (pH, CE, Oxidabilidad, Na, K, NH₄, Mg, Ca, SO₄, Cl, HCO₃, CO₃, NO₃, NO₂, P₂O₅, SiO₂, Fe, Mn, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Cr). Las muestras

coloreadas (por presencia de materia orgánica soluble) se han tratado de forma diferente en los dos lotes de muestras analizadas. Mientras que en el primer lote, correspondiente a los controles sin lodos, se ha filtrado con carbón activo sólo para el análisis de mayoritarios, en el segundo lote, correspondiente a las parcelas con lodos (3 meses tras la aplicación), no se ha filtrado en ningún caso.

Por otro lado, durante la preparación de los extractos, las muestras del primer lote con partículas finas en suspensión se centrifugaron para facilitar la filtración. En la preparación de los extractos del segundo lote, la suspensión se suelo agua se dejó reposar 24 h antes de filtrar.

En este momento se están interpretando los resultados obtenidos y planificando las campañas de muestreo de 2011 en base a esos datos, en las figuras 5 a 10 se muestran algunos ejemplos significativos de los resultados obtenidos, su interpretación aún no está finalizada y por ello únicamente se presentan los resultados con un breve comentario.

Así por ejemplo, en la figura 5 se muestran los valores de pH, se observa una clara diferencia en el perfil de pH en la parcela control (valores entre 7,4 y 8,0) y las parcelas con lodos (valores entre 6,7 y 6,9), estos pH relativamente bajos pueden modificar la movilidad de potenciales contaminantes.

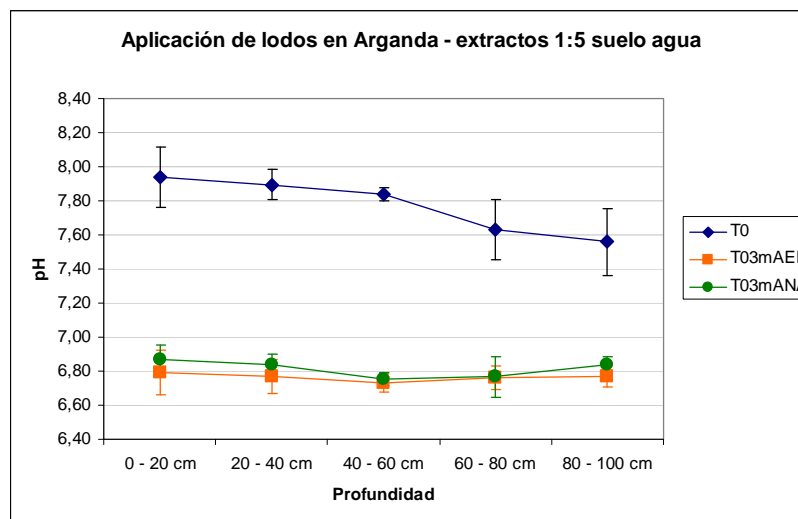


Figura 5 pH de los extractos 1:5 del sondeo control (T0), lodos aerobios (T03mA ER) y lodos anaerobios (T03mA NA)

En la figura 6 se muestra el contenido en nitrógeno-nitrato, en estos primeros muestreos llama la atención que únicamente en el horizonte mas superficial se observan claras diferencias en el contenido en nitrato, en horizontes mas profundos se detect algún dato confuso, como es el elevado contenido de T04, que no tiene influencia del vertido.

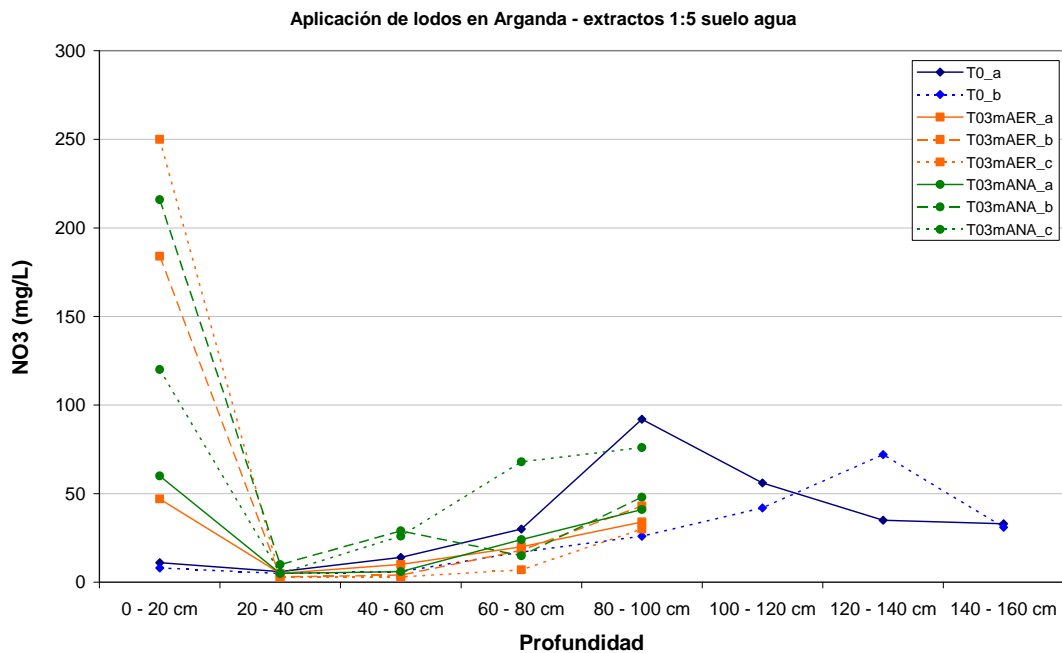


Figura 6 Contenido en Nitrógeno-NO₃ de los perfiles de control y de los perfiles afectados por la aplicación de lodo

Otro parámetro en el que se han observado diferencias significativas ha sido el Arsénico, en la figura 7 se han representado los resultados obtenidos.

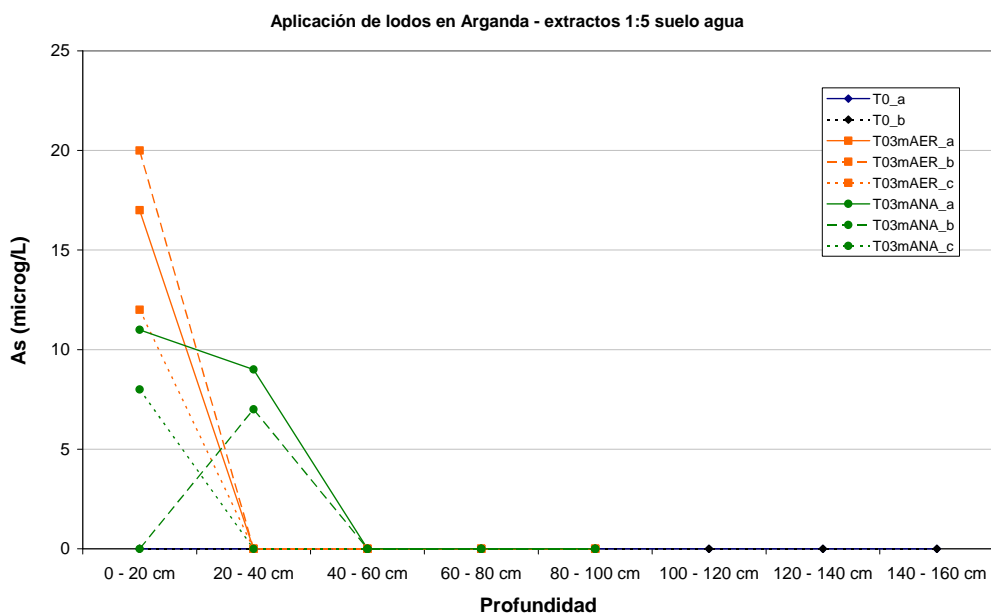


Figura 7 Contenido en Arsénico de los perfiles de control y de los perfiles afectados por la aplicación de lodo

En las figuras 8 y 9 se presentan de forma agrupada los gráficos de evolución de diversas variables, separadas en dos grupos: aquellas en las que se observa un comportamiento similar en los diversos perfiles, y aquellas en las que se observa un comportamiento muy dispar con gran variabilidad en la distribución de la variable analizada.

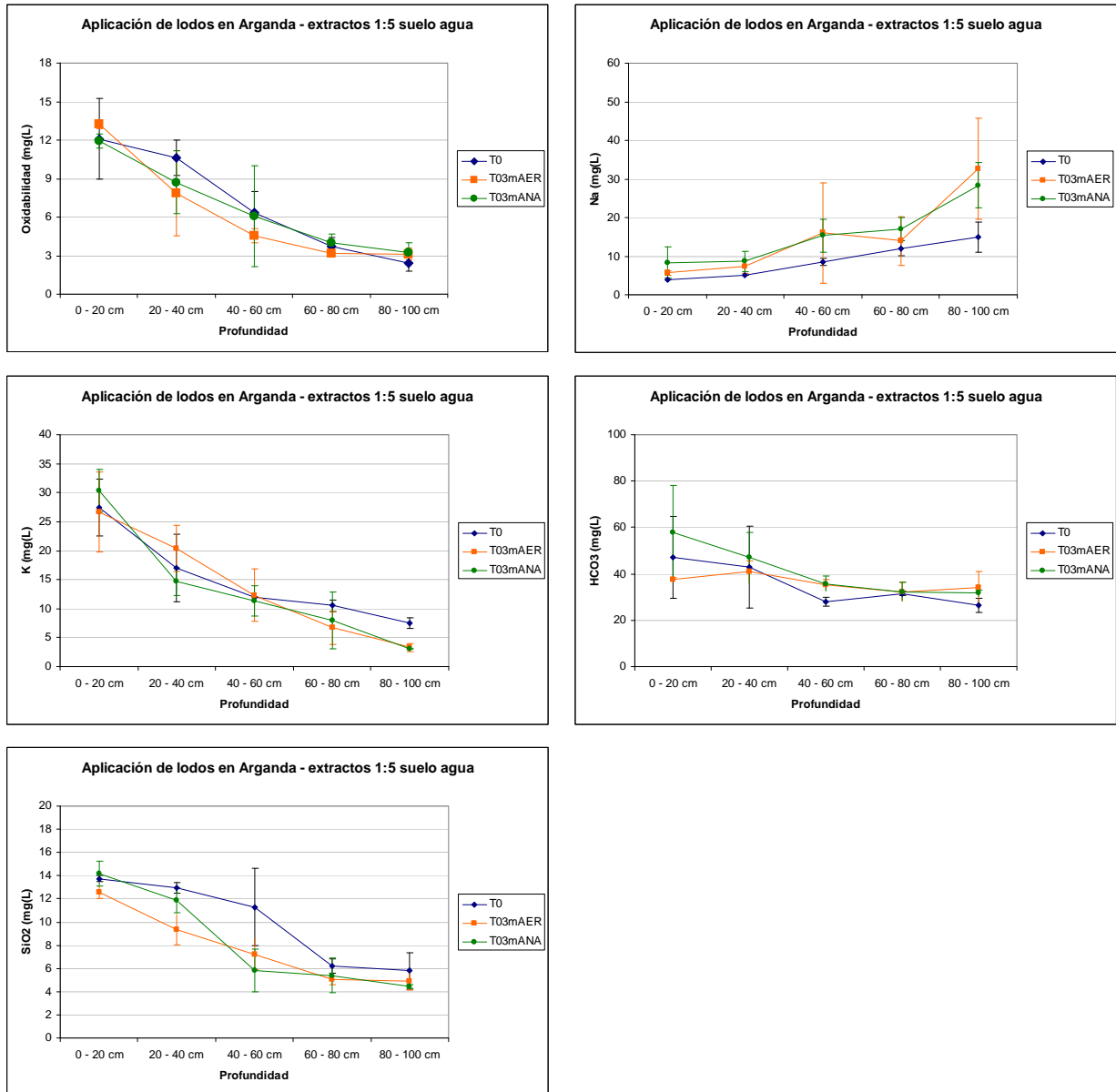


Figura 8. Parámetros en los que se ha observado una variabilidad reducida (Oxidabilidad, Na, K, HCO₃, SiO₂).

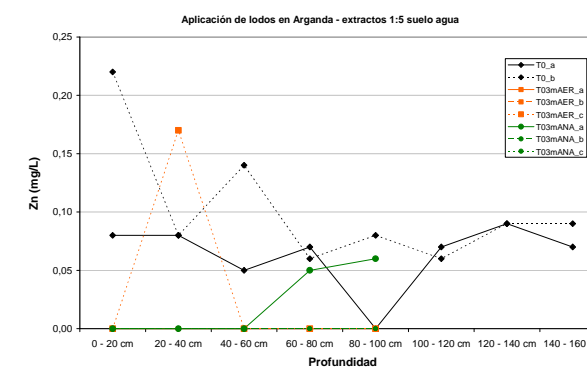
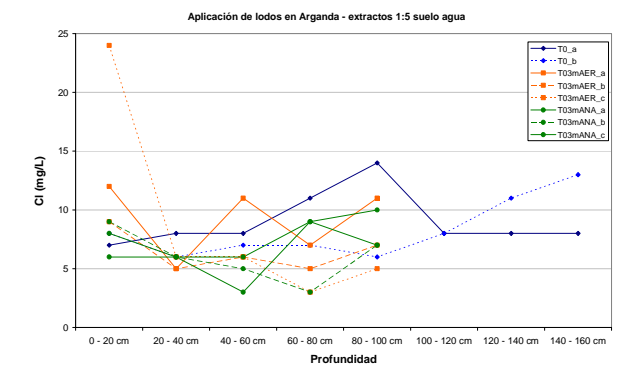
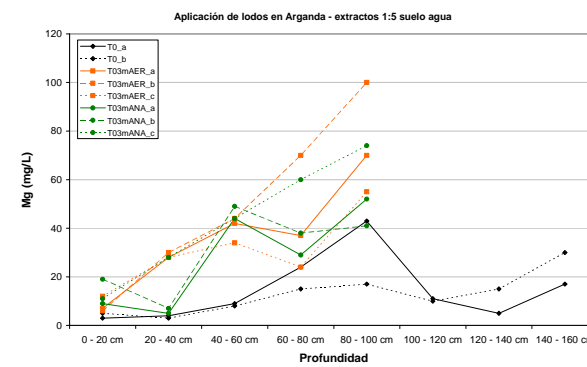
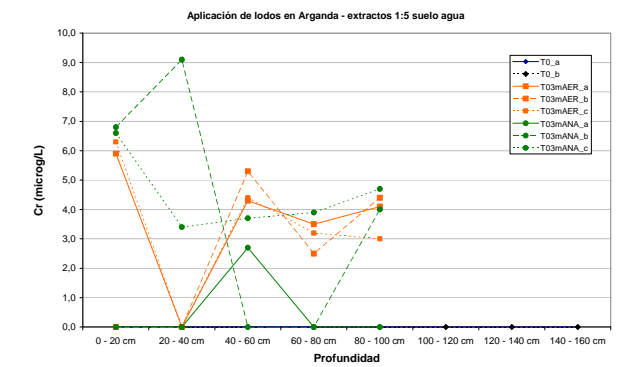
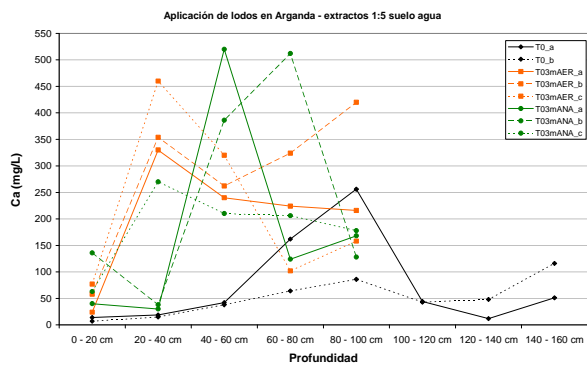
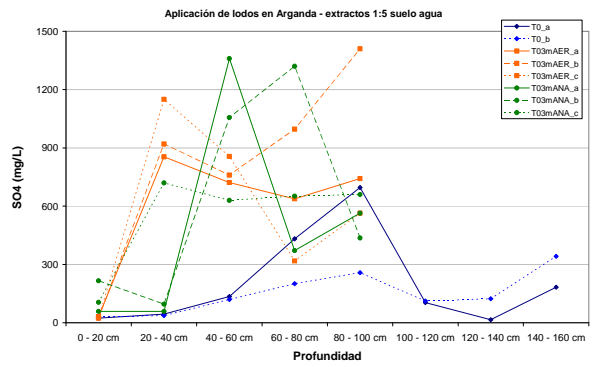
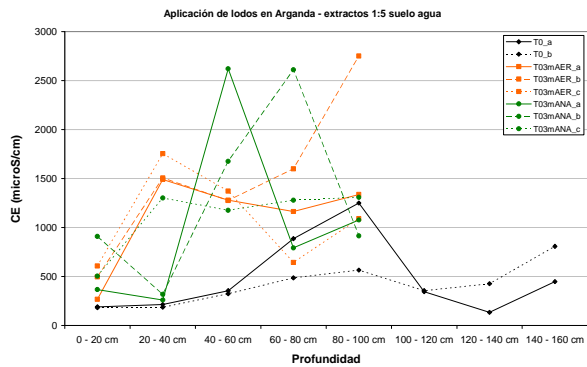


Figura 9. Parámetros en los que se ha observado variabilidad muy elevada (C.E, SO₄, Ca, Mg, Cr, Cl, Zn).

Por último, en la figura 10 se muestran los resultados de los parámetros de los que no se disponen de perfiles completos o los valores obtenidos presentan un comportamiento especialmente problemático (NH_4 , NO_2 , P_2O_5 , Fe y Mn).

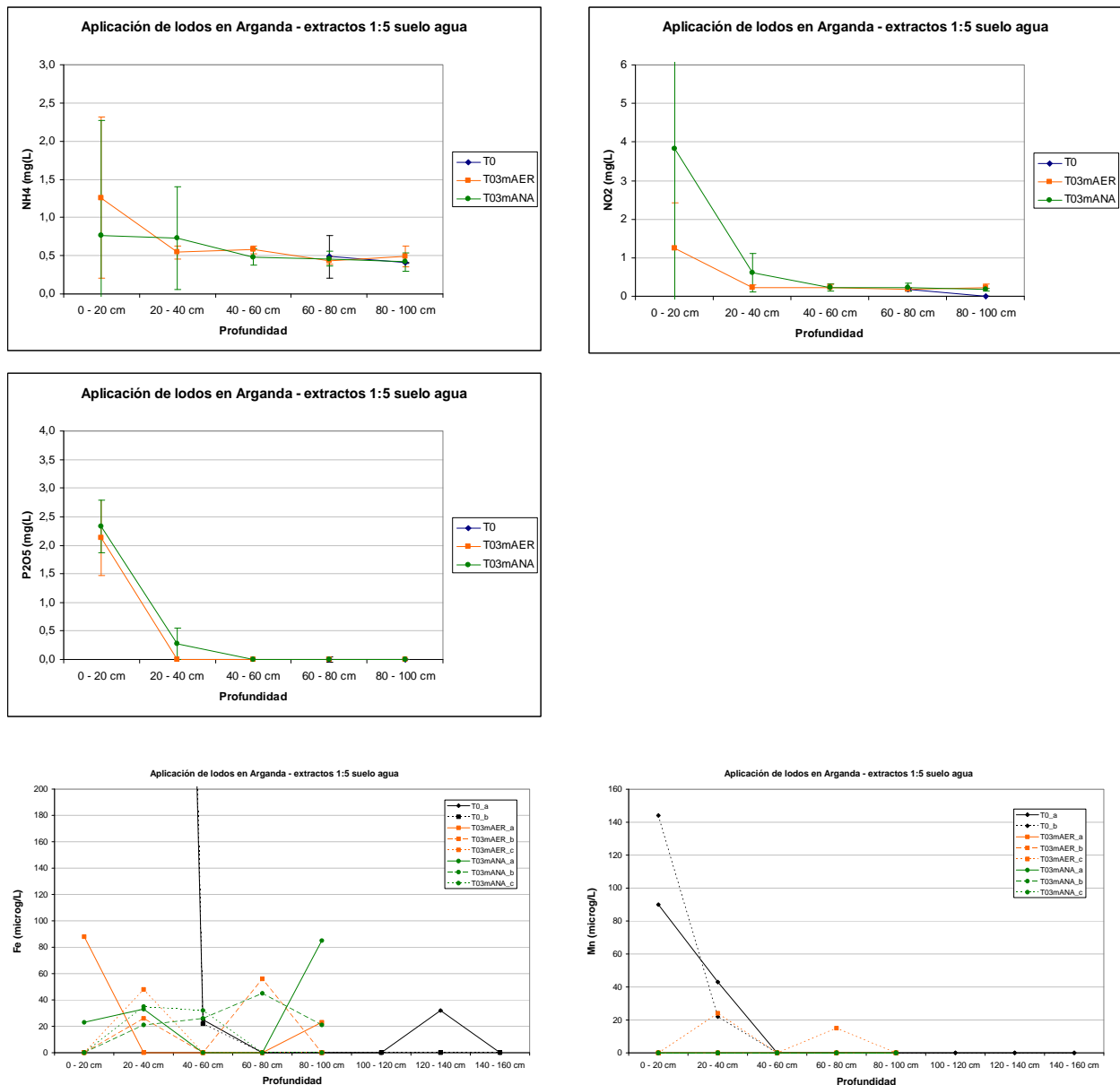


Figura 10. Evolución del contenido en (NH_4 , NO_2 , P_2O_5 , Fe y Mn).

Como conclusión preliminar puede decirse que:

a) Se descartan como indicadores de afección los siguientes parámetros: Oxidabilidad, Na^+ , K^+ , HCO_3^- y SiO_2 , por no observarse diferencias significativas en la comparación control vs lodos. Conductividad eléctrica, SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Cl^- , porque la elevada variabilidad de estos datos en los perfiles impiden un análisis comparativo. Zn^{2+} e iones de Cr, por la elevada incertidumbre de sus medidas al encontrarse en concentraciones próximas al límite de detección de la técnica.

b) Se proponen como posibles candidatos a indicadores de afección los siguientes parámetros: pH (si se confirma que las diferencias control vs lodos no son un artefacto). As y NO_3^- (si nuevos ensayos confirman diferencias significativas control vs lodos en las capas superficiales)

c) Sobre los siguientes parámetros no es posible sacar aún conclusiones: NH_4 , NO_2 , P_2O_5 (faltan los datos más superficiales en parcelas control), Fe, Mn (los datos más superficiales en parcelas control son dudosos)

b) Análisis de matriz sólida

Se han analizado las muestras de 3 testigos continuos hasta una profundidad de 100 cm, que se tomaron mediante martillo percutor con toma-muestras tipo COBRA embutidos en tubos de polietileno. Para cada uno de los testigos se han separado las muestras a intervalos de profundidad de 5 o 10 cm. En la tabla siguiente se incluyen los detalles de las 29 muestras enviadas al laboratorio del IGME para su análisis mediante la técnica de fluorescencia de rayos-X.

Tabla 2 Descripción de las muestras de matriz sólida

Muestras <i>[Identificador en el laboratorio]</i>	Zona de muestreo	Fecha de muestreo	Profundidad analizada (cm)	Intervalo de profundidad analizado (cm)
Lodos (L) <i>[1925.01 – 1925.10]</i>	Parcela con aplicación de lodos anaerobios (fecha aplicación??)	24/03/2009	0-100	10
Blanco (B) <i>[1925.11 – 1925.20]</i>	Parcela sin tratamiento (Muestra T0 del ensayo de trazadores)	Octubre/2007	0-100	10 (integración de muestras a intervalos de 5 cm)
Trazador (T) <i>[1925.21 – 1925.29]</i>	Parcela con aplicación de disolución con trazadores (Muestra T1 del ensayo de trazadores)	Octubre/2007	0-45	5

Se han analizado 37 elementos (número atómico mayor de 20) incluyen metales alcalinos (Rb, Cs), metales alcalinotérreos (Sr, Ba), metales de transición (Sc, Y, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Co, Ni, Cu, Ag, Zn, Cd), metales del bloque p (Ga, Tl, Sn, Pb, Bi), metales de transición interna (La, Ce, Nd, Sm, Th y U), metaloides (Ge, As y Sb) y no metales (Se, Br, I). En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos.

MUESTRA	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag
LÍMITE DE DETECCIÓN	2.47	2.73	1.50	2.41	1.01	1.35	0.55	0.54	1.00	2.68	1.00	0.80	0.39	0.40	0.48	0.46	1.00	1.00	6.00
1925-01	11.6	54.3	54.9	10.8	24.2	36.7	216.5	16.5	1.9	14.2	<LD	6.9	133.0	220.5	30.5	370.5	13.7	2.3	<LD
1925-02	12.8	61.9	50.7	11.0	25.0	18.6	73.2	17.6	1.8	16.8	<LD	7.0	148.6	179.5	32.6	289.9	14.9	1.1	<LD
1925-03	12.8	60.2	70.1	11.5	23.7	17.9	69.7	17.6	1.6	18.4	<LD	7.9	146.3	185.1	34	300.5	14.7	1.3	<LD
1925-04	13.4	63.3	70.8	11.2	24.4	20.9	66.8	18.2	1.6	15.5	<LD	7.8	146.2	189.8	34.9	297.8	14.9	1.2	<LD
1925-05	13.6	61.5	54.0	13.9	25.7	15.7	61.4	18.5	2.0	14.9	<LD	5.6	145.6	195.5	35.5	322.2	15.6	1.2	<LD
1925-06	14.2	65.0	67.3	10.7	25.9	15.1	60.8	17.9	1.2	15.2	<LD	4.7	143.4	197.3	36.0	339.8	15.4	1.3	<LD
1925-07	14.0	66.6	50.7	13.5	24.3	17.8	65.3	19.7	1.5	18.2	<LD	4.1	147.8	190.9	35.0	296.9	15.3	<LD	<LD
1925-08	12.1	59.5	94.8	10.4	25.0	15.8	60.4	17.0	1.7	17.4	<LD	3.7	137.9	171.2	37.5	381.0	15.8	1.4	<LD
1925-09	10.5	46.3	75.3	9.3	22.8	11.0	46.7	13.9	3.1	13.9	<LD	2.8	123.3	138.9	40.3	476.4	14.0	1.8	<LD
1925-10	7.6	33.5	70.9	11.2	20.7	13.5	36.2	11.1	1.6	8.2	<LD	2.1	114.0	112.5	40.1	517.2	12.7	1.1	<LD
1925-11	12.0	59.1	90.9	10.4	25.0	16.8	70.6	17.9	1.7	14.5	<LD	6.2	144.7	181.9	35.5	303.0	15.0	1.6	<LD
1925-12	13.1	58.3	110.0	14.8	23.4	16.9	70.5	17.9	1.6	14.2	<LD	7.0	145.4	181.1	33.6	304.5	14.6	<LD	<LD
1925-13	12.6	60.3	67.3	10.6	25.3	16.3	67.7	18.4	2.3	15.2	<LD	7.8	144.8	179.1	34.3	301.1	14.9	1.7	<LD
1925-14	12.7	60.1	51.9	15.7	25.0	16.0	63.3	18.9	2.6	13.4	<LD	6.4	144.9	179.0	33.6	305.7	15.6	1.2	<LD
1925-15	12.6	57.6	57.7	13.5	23.9	12.4	60.9	16.8	1.6	16.1	<LD	4.5	144.3	170.8	33.1	301.4	14.6	1.3	<LD
1925-16	11.9	61.4	73.8	13.4	25.3	17.8	63.7	18.7	1.8	14.6	<LD	4.5	145.3	195.6	34.7	318.1	14.8	<LD	<LD
1925-17	11.3	57.6	79.6	12.5	24.1	19.8	63.6	17.2	1.9	19.7	<LD	4.8	140.9	181.6	36.6	349.1	15.2	1.1	<LD
1925-18	10.0	46.9	92.6	11.7	23.7	12.6	52.2	14.5	1.8	11.2	<LD	3.9	129.6	152.8	39.9	459.4	15.1	1.6	<LD
1925-19	8.1	33.9	42.8	4.9	21.4	12.9	40.2	12.1	1.7	7.8	<LD	1.5	115.8	117.2	43.8	588.8	13.7	1.3	<LD
1925-20	9.1	36.7	40.0	4.9	21.9	12.6	42.6	11.2	1.5	11.2	<LD	2.2	123.0	123.2	50.3	639	15.0	1.5	<LD
1925-21	11.7	58.3	71.4	11.4	24.6	19.0	70.7	18.3	1.4	18.7	<LD	72.8	145.9	174.8	35.4	302.1	15.1	1.1	<LD
1925-22	12.8	60.1	53.3	9.8	23.5	18.3	70.1	17.7	1.4	17.2	<LD	131.1	146.1	181.9	34.0	297.6	14.8	<LD	<LD
1925-23	12.2	61.8	52.5	14.2	24.9	19.9	70.1	18.7	1.9	16.2	<LD	225.8	147.0	198.7	33.5	292.7	15.2	<LD	<LD

MUESTRA	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag
LÍMITE DE DETECCIÓN	2.47	2.73	1.50	2.41	1.01	1.35	0.55	0.54	1.00	2.68	1.00	0.80	0.39	0.40	0.48	0.46	1.00	1.00	6.00
1925-24	13.7	61.1	62.2	11.8	24.9	18.2	70.3	17.7	1.0	14.1	<LD	300.9	148.3	184.9	34.3	293.7	15.2	1.4	<LD
1925-25	12.8	62.8	85.4	10.1	24.6	19.7	69.5	18.6	1.6	15.8	<LD	252.4	147.8	187.4	34.9	300.4	15.6	1.4	<LD
1925-26	13.6	61.3	61.7	9.0	25.7	18.2	66.8	18.1	1.8	16.5	<LD	67.9	146.5	180.9	34.4	295.1	15.3	1.5	<LD
1925-27	12.8	59.9	52.9	11.1	24.7	19.0	62.1	17.8	1.9	16.6	<LD	10.9	144.9	183.9	35.0	300.9	14.9	1.2	<LD
1925-28	12.1	60.0	55.9	12.2	25.5	16.6	64.8	18.2	1.7	16.5	<LD	6.7	147.4	163.1	36.2	324.7	15.4	1.2	<LD
1925-29	12.9	64.0	94.6	13.8	25.6	16.6	66.0	18.6	1.6	17.3	<LD	6.2	145.8	184.6	34.1	298.1	15.4	1.9	<LD

MUESTRA	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Hf	Ta	W	Ti	Pb	Bi	Th	U
LÍMITE DE DETECCIÓN	10.00	2.10	2.37	3.95	6.00	8.41	5.08	10.0	6.10	7.23	2.87	2.47	2.21	1.60	1.12	1.00	1.50	1.20
1925-01	<LD	10.4	<LD	<LD	9.9	543.3	40.8	70.2	30.3	<LD	7.9	6.0	11.7	<LD	51.5	1.6	13.1	3.3
1925-02	<LD	2.8	4.5	<LD	9.7	545.0	40.6	69.5	29.1	8.1	7.2	3.8	8.9	<LD	31.7	1.6	13.9	3.4
1925-03	<LD	2.7	3.7	<LD	10.2	539.9	47.7	75.3	31.7	<LD	6.6	5.1	8.8	<LD	32.7	2.2	14.2	2.7
1925-04	<LD	<LD	<LD	<LD	9.9	543.9	43.0	78.1	36.3	<LD	8.0	4.8	17.8	<LD	30.2	1.8	14.2	1.8
1925-05	<LD	2.2	2.5	<LD	11.3	548.4	44.4	80.5	40.3	<LD	8.6	3.8	7.8	<LD	29.5	1.4	15.8	3.8
1925-06	<LD	<LD	2.5	<LD	13.6	569.4	42.4	89.9	37.6	<LD	7.5	6.0	11.8	<LD	28.6	1.7	17.3	3.5
1925-07	<LD	2.6	4.3	<LD	11.4	614.6	42.2	87.6	39.4	7.9	8.5	4.4	10.4	<LD	32.6	2.3	15.7	3.8
1925-08	<LD	2.1	2.6	<LD	9.1	594.0	46.5	84.5	40.1	<LD	10.0	4.8	10.1	2.6	32.2	2.1	16.8	4.3
1925-09	<LD	<LD	2.4	<LD	9.4	534.8	47.9	86.1	40.8	16.2	11.3	4.5	8.5	1.6	23.3	2.1	17.7	4.2
1925-10	<LD	<LD	<LD	<LD	9.5	461.0	46.3	95.3	42.1	<LD	12.3	5.1	9.8	<LD	18.1	<LD	19.7	3.7
1925-11	<LD	2.9	<LD	<LD	8.6	542.1	41.4	77.0	38.3	<LD	9.5	5.4	8.8	<LD	30.4	1.5	16.9	3.4
1925-12	<LD	2.6	<LD	<LD	12.0	533.8	41.6	78.3	37.8	7.5	9.4	3.2	9.5	<LD	30.3	2.1	13.6	2.5
1925-13	<LD	3.0	<LD	<LD	8.1	540.7	41.9	80.1	34.1	<LD	8.6	7.0	9.5	<LD	30.3	2.2	15.5	2.6
1925-14	<LD	3.8	<LD	<LD	12.3	548.5	40.8	80.6	36.9	<LD	8.1	4.4	10.1	<LD	28.0	2.0	15.0	3.1

MUESTRA	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Hf	Ta	W	Ti	Pb	Bi	Th	U
LÍMITE DE DETECCIÓN	10.00	2.10	2.37	3.95	6.00	8.41	5.08	10.0	6.10	7.23	2.87	2.47	2.21	1.60	1.12	1.00	1.50	1.20
1925-15	<LD	2.1	<LD	<LD	12.1	538.1	42.2	79.6	32.1	8.3	7.7	3.9	6.3	1.9	27.7	2.6	14.0	2.7
1925-16	<LD	3.4	3.0	<LD	8.7	585.7	47.4	84.3	35.4	8.4	10.2	6.3	8.6	<LD	29.2	1.0	15.1	3.2
1925-17	<LD	2.5	4.3	<LD	9.6	602.7	44.6	86.2	36.7	13.1	8.8	3.4	14.5	2.4	32.5	2.9	15.8	3.6
1925-18	<LD	<LD	2.8	<LD	7.9	532.4	43.6	87.7	38.2	<LD	11.1	4.6	8.4	<LD	26.7	1.3	18.3	3.4
1925-19	<LD	<LD	2.8	<LD	9.0	451.0	49.9	91.4	40.5	7.7	14.7	5.5	10.8	<LD	19.1	1.8	21.6	4.7
1925-20	<LD	<LD	<LD	<LD	10.8	470.5	60.9	116.2	56.1	<LD	12.7	4.8	10.7	<LD	19.0	1.2	28.6	5.4
1925-21	<LD	<LD	<LD	<LD	6.3	540.0	45.2	75.7	34.7	<LD	10.2	4.3	8.4	2.1	32.0	2.2	15.5	3.0
1925-22	<LD	4.0	3.0	<LD	10.3	542.1	36.8	81.8	34.2	<LD	7.7	5.8	8.7	<LD	32.2	2.2	14.6	3.5
1925-23	<LD	3.3	3.5	<LD	10.8	551.3	45.0	80.0	37.8	9.8	9.3	6.2	13.3	2.0	31.9	<LD	15.5	3.4
1925-24	<LD	2.5	2.8	<LD	10.8	553.9	40.5	86.4	35.7	<LD	7.4	4.7	10.2	<LD	30.3	1.1	15.3	3.0
1925-25	<LD	2.2	2.5	<LD	8.8	555.8	44.9	78.7	37.6	<LD	10.5	5.0	14.1	<LD	31.7	<LD	15.2	2.7
1925-26	<LD	2.9	2.8	<LD	10.0	553.8	41.2	76.9	34.2	<LD	5.6	5.9	11.5	2.1	32.2	1.6	15.1	3.9
1925-27	<LD	<LD	2.8	<LD	12.7	557.3	39.7	78.9	34	<LD	9.4	6.2	9.9	<LD	28.9	3.2	14.6	2.5
1925-28	<LD	2.8	3.3	<LD	8.8	556.6	43.5	85.1	36.9	<LD	7.1	3.0	9.6	1.7	28.6	1.9	15.7	2.5
1925-29	<LD	<LD	<LD	<LD	9.3	595.2	47.0	87.1	36.2	<LD	9.8	5.2	11.7	<LD	31.8	1.5	15.9	3.1

Tabla 4 Resultados en de los análisis de matriz sólida

Se está procediendo a la interpretación de los resultados y a la selección posibles indicadores. Se descartan 4 elementos (Se, Ag, Cd, I), ya que se encuentran por debajo del límite de detección en todas las muestras analizadas. Se descartan 3 elementos más (Sm, Ti, Sb), ya que se encuentran por debajo del límite de detección en más

Para analizar las **variaciones de composición en el perfil** en las muestras sin tratamiento, se seleccionaran los elementos que presentan buena sensibilidad en su determinación, evaluada a partir del cociente entre el valor promedio del perfil y el límite de detección. El criterio elegido para el descarte es: $B(\text{promedio } 0-100) / LD \leq 2,0$. Los siete elementos que cumplen el criterio de descarte son: Ta, Bi, Ge, Cs, Cu, Mo y Sn. Por tanto, las variaciones de composición a lo largo del perfil se analiza en base a los 23 elementos restantes, con objeto de detectar la existencia de algún patrón en profundidad, si éste existiera.

Tabla 5. Relación entre el valor promedio del perfil y el límite de detección para la selección de 30 elementos para el perfil sin tratamiento (**B(promedio 0-100) / LD**). Como comparación se indican los valores para el perfil con tratamiento de lodos (**L(promedio 0-100) / LD**). En gris, los elementos con relación $\leq 2,0$.

	B(promedio 0-100) / LD	L(promedio 0-100) / LD
Zr	841	781
Sr	416	445
Rb	354	355
Zn	108	138
Y	78	74
Ba	64	65
Cr	47	44
Ga	30	31
Pb	24	28
Ni	24	24
V	19	21
Nb	15	15
Th	12	11
La	8,9	8,7
Ce	8,6	8,2
Nd	6,3	6,0
Br	6,1	6,6
As	5,1	5,7
Co	4,7	4,7
Sc	4,6	5,0
W	4,4	4,8
Hf	3,5	3,1
U	2,9	2,9
Ta	2,0	2,0
Bi	1,9	1,8
Ge	1,9	1,8
Cs	1,7	1,7
Cu	1,5	1,8
Mo	1,3	1,4
Sn	1,2	1,4

Para analizar los cambios de composición por el **tratamiento con lodos**, el criterio de selección de los elementos se basa en el cociente de los valores para el perfil con tratamiento lodo y el perfil sin tratamiento. Se calcula por un lado el cociente de los valores promedio de cada perfil, y por otro lado el cociente de los valores en la muestra más superficial (0-10 cm), ya que en ésta se han observado valores especialmente elevados para algunos elementos. Como se muestra en la tabla 5, las variaciones son más importantes en esta capa superficial.

En la capa superficial de la parcela tratada con lodos se observan incrementos notables en cuatro elementos (Sn, Zn, Cu y Pb) e incrementos más moderados en otros cinco elementos (Mo, W, Zr, Sr y Cs). Comparando las variaciones de los valores promedio del perfil, sólo se observan incrementos moderados en los tres primeros elementos (Sn, Zn y Cu). De estos nueve elementos, cuatro caen en los criterios de descarte del párrafo anterior por encontrarse en valores próximos al límite de detección (Sn, Cu, Mo y Cs).

Tabla 6. Relación entre los valores determinados en la parcela con lodos (L) y en la parcela sin tratamiento (B) para cada uno de los 30 elementos seleccionados. Se indican los cocientes de los valores de la capa superficial (**L(0-10) / B(0-10)**) y de los promedios de todo el perfil (**L(promedio 0-100) / B(promedio 0-100)**). Los valores en negrita indican incrementos iguales o superiores al 20% en las muestras tratadas con lodos. Los elementos en gris corresponden con los que presentan valores promedio en el perfil próximos al límite de detección.

	L(0-10) / B(0-10)	L(promedio 0-100) / B(promedio 0-100)
Sn	3,6	1,2
Zn	3,1	1,3
Cu	2,2	1,2
Pb	1,7	1,1
Mo	1,4	1,0
W	1,3	1,1
Zr	1,2	0,9
Sr	1,2	1,1
Cs	1,2	1,0
Ge	1,1	1,0
Br	1,1	1,1
Ta	1,1	1,0
Bi	1,1	1,0
Co	1,0	1,0
Ba	1,0	1,0
La	1,0	1,0
As	1,0	1,1
U	1,0	1,0
Ni	1,0	1,0
Sc	1,0	1,1
Ga	0,9	1,0
Rb	0,9	1,0
V	0,9	1,1
Nb	0,9	1,0
Ce	0,9	0,9
Y	0,9	0,9
Hf	0,8	0,9
Nd	0,8	1,0
Th	0,8	0,9
Cr	0,6	0,9

Suponiendo que se desconoce la composición de la disolución con trazador, se va a realizar una selección de elementos de forma similar a la que ha aplicado en el párrafo anterior. Dado que para las muestras de la parcela con trazador se ha analizado sólo hasta una profundidad de 45 cm, se calculará el cociente de los valores para el perfil con trazador y el perfil sin tratamiento en los primeros 50 cm. Como se muestra en la tabla 6, el incremento más notable se observa en un elemento (Br). Se observan también incrementos ligeros en dos elementos (W y Cu),

aunque de éstos dos uno cae en los criterios de descarte por encontrarse en valores próximos al límite de detección (Cu). Se analizarán estos tres elementos (Br, W y Cu), teniendo precaución en el análisis de valores próximos al límite de detección puede ser poco fiable (Cu)

Tabla 7. Relación entre los valores promedio determinados en los primeros 50 cm de las parcelas con trazador (T) y sin tratamiento (B), para cada uno de los 30 elementos (**T(med. 0-45) / B(med. 0-50)**).

Como comparación se indican los valores para el perfil con tratamiento de lodos (**L(med. 0-50) / B(med. 0-50)**). Los valores en negrita indican incrementos iguales o superiores al 20% en las muestras tratadas. Los elementos en gris corresponden con los que presentan valores promedio en el perfil próximos al límite de detección.

	T(med. 0-45) / B(med. 0-50)	L(med. 0-50) / B(med. 0-50)
Br	18,7	1,1
W	1,2	1,2
Cu	1,2	1,4
As	1,1	1,1
Ta	1,1	1,0
U	1,1	1,0
Pb	1,1	1,2
V	1,0	1,0
Ba	1,0	1,0
Ce	1,0	0,9
La	1,0	1,0
Sn	1,0	1,6
Y	1,0	1,0
Nb	1,0	1,0
Zn	1,0	1,5
Th	1,0	0,9
Rb	1,0	1,0
Ni	1,0	1,0
Ga	1,0	1,0
Sc	1,0	1,0
Sr	1,0	1,1
Nd	1,0	0,9
Zr	1,0	1,0
Hf	1,0	0,9
Mo	1,0	1,0
Bi	0,9	0,8
Cs	0,9	1,0
Co	0,9	0,9
Cr	0,9	0,8
Ge	0,8	0,9

Para analizar los cambios de composición **por el tratamiento con lodos, el criterio de selección de los elementos se basará en el cociente de los valores** para el perfil con tratamiento lodo y el perfil sin tratamiento. Se calcula por un lado el cociente de los valores promedio de cada perfil, y por otro lado el cociente de los valores en la muestra más superficial (0-10 cm), ya que en ésta se han observado valores especialmente elevados para algunos elementos. Como se muestra en la tabla 7, las variaciones son más importantes en esta capa superficial. En la capa superficial de la parcela tratada con lodos se observan incrementos notables en cuatro elementos (Sn, Zn, Cu y Pb) e incrementos más moderados en otros cinco elementos (Mo, W, Zr, Sr y Cs). Comparando las variaciones de los valores promedio del perfil, sólo se observan incrementos moderados en los tres primeros

elementos (Sn, Zn y Cu). De estos nueve elementos, cuatro caen en los criterios de descarte del párrafo anterior por encontrarse en valores próximos al límite de detección (Sn, Cu, Mo y Cs).

Tabla 8. Relación entre los valores determinados en la parcela con lodos (L) y en la parcela sin tratamiento (B) para cada uno de los 30 elementos seleccionados. Se indican los cocientes de los valores de la capa superficial (L(0-10) / B(0-10)) y de los promedios de todo el perfil (L(promedio 0-100) / B(promedio 0-100)). Los valores en negrita indican incrementos iguales o superiores al 20% en las muestras tratadas con lodos. Los elementos en gris corresponden con los que presentan valores promedio en el perfil próximos al límite de detección.

	L(0-10) / B(0-10)	L(promedio 0-100) / B(promedio 0-100)
Sn	3,6	1,2
Zn	3,1	1,3
Cu	2,2	1,2
Pb	1,7	1,1
Mo	1,4	1,0
W	1,3	1,1
Zr	1,2	0,9
Sr	1,2	1,1
Cs	1,2	1,0
Ge	1,1	1,0
Br	1,1	1,1
Ta	1,1	1,0
Bi	1,1	1,0
Co	1,0	1,0
Ba	1,0	1,0
La	1,0	1,0
As	1,0	1,1
U	1,0	1,0
Ni	1,0	1,0
Sc	1,0	1,1
Ga	0,9	1,0
Rb	0,9	1,0
V	0,9	1,1
Nb	0,9	1,0
Ce	0,9	0,9
Y	0,9	0,9
Hf	0,8	0,9
Nd	0,8	1,0
Th	0,8	0,9
Cr	0,6	0,9

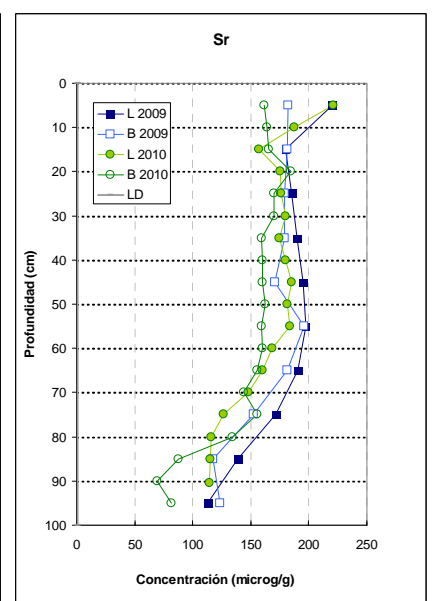
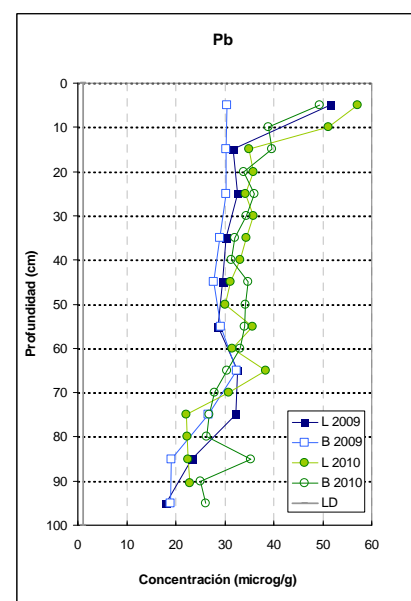
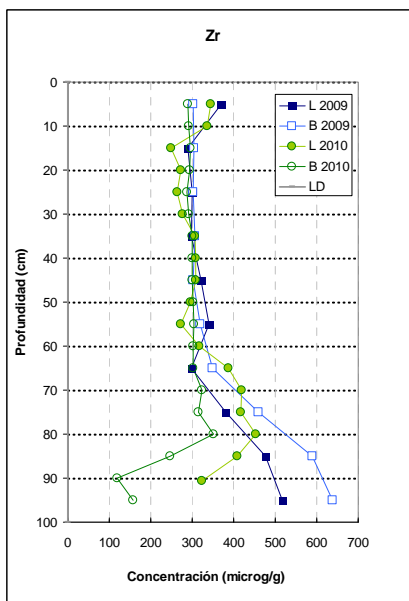
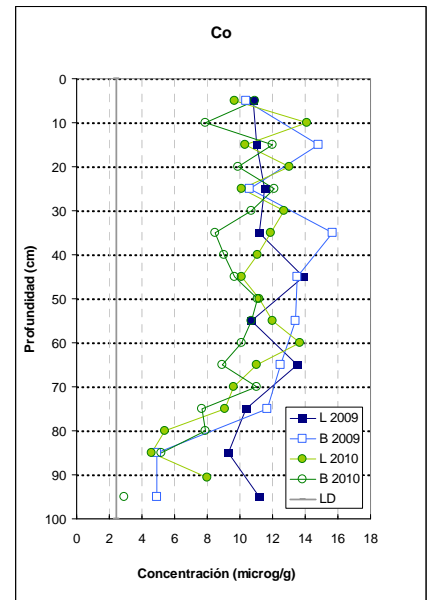
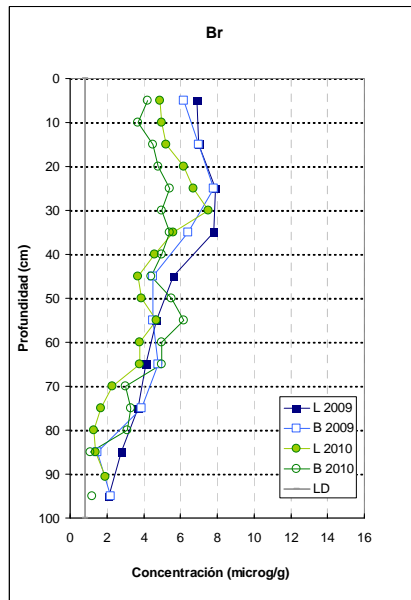
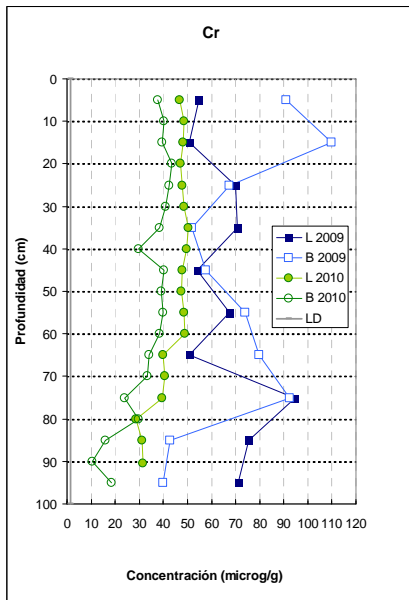
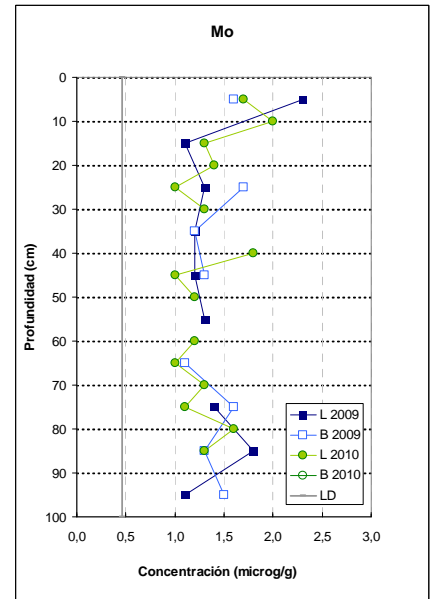
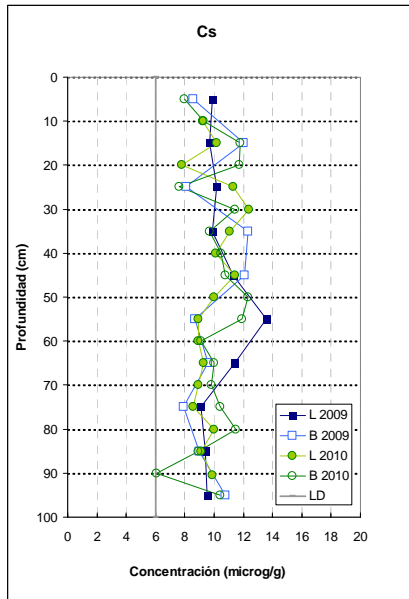
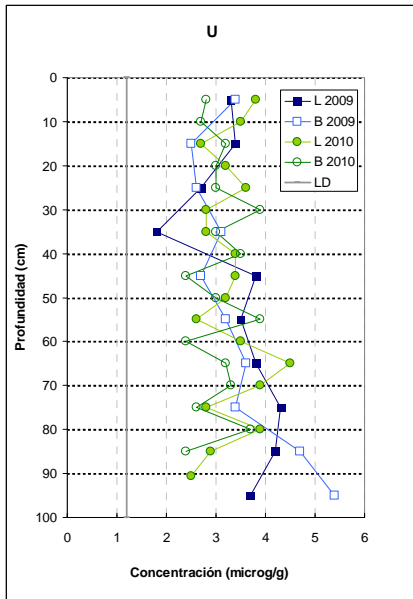
Suponiendo que se desconoce la composición de la disolución con trazador, se va a realizar una selección de elementos de forma similar a la que ha aplicado en el párrafo anterior. Dado que para las muestras de la parcela con trazador se ha analizado sólo hasta una profundidad de 45 cm, se calculará el cociente de los valores para el perfil con trazador y el perfil sin tratamiento en los primeros 50 cm. Como se muestra en la tabla 8, el incremento más notable se observa en un elemento (Br). Se observan también incrementos ligeros en dos elementos (W y Cu), aunque de éstos dos uno cae en los criterios de descarte por encontrarse en valores próximos al límite de detección (Cu). Se analizarán estos tres elementos (Br, W y Cu), teniendo precaución en el análisis de valores próximos al límite de detección puede ser poco fiable (Cu)

Tabla 9. Relación entre los valores promedio determinados en los primeros 50 cm de las parcelas con trazador (T) y sin tratamiento (B), para cada uno de los 30 elementos (**T(med. 0-45) / B(med. 0-50)**). Como comparación se indican los valores para el perfil con tratamiento de lodos (**L(med. 0-50) / B(med. 0-50)**). Los valores en negrita indican incrementos iguales o superiores al 20% en las muestras tratadas. Los elementos en gris corresponden con los que presentan valores promedio en el perfil próximos al límite de detección.

	T(med. 0-45) / B(med. 0-50)	L(med. 0-50) / B(med. 0-50)
Br	18,7	1,1
W	1,2	1,2
Cu	1,2	1,4
As	1,1	1,1
Ta	1,1	1,0
U	1,1	1,0
Pb	1,1	1,2
V	1,0	1,0
Ba	1,0	1,0
Ce	1,0	0,9
La	1,0	1,0
Sn	1,0	1,6
Y	1,0	1,0
Nb	1,0	1,0
Zn	1,0	1,5
Th	1,0	0,9
Rb	1,0	1,0
Ni	1,0	1,0
Ga	1,0	1,0
Sc	1,0	1,0
Sr	1,0	1,1
Nd	1,0	0,9
Zr	1,0	1,0
Hf	1,0	0,9
Mo	1,0	1,0
Bi	0,9	0,8
Cs	0,9	1,0
Co	0,9	0,9
Cr	0,9	0,8
Ge	0,8	0,9

En el momento actual se están analizando las variaciones composicionales intraperfiles y asignando modelos de comportamiento tipo.

Los resultados de la campaña de muestreo de Marzo de 2010 se muestran en la figura 9.



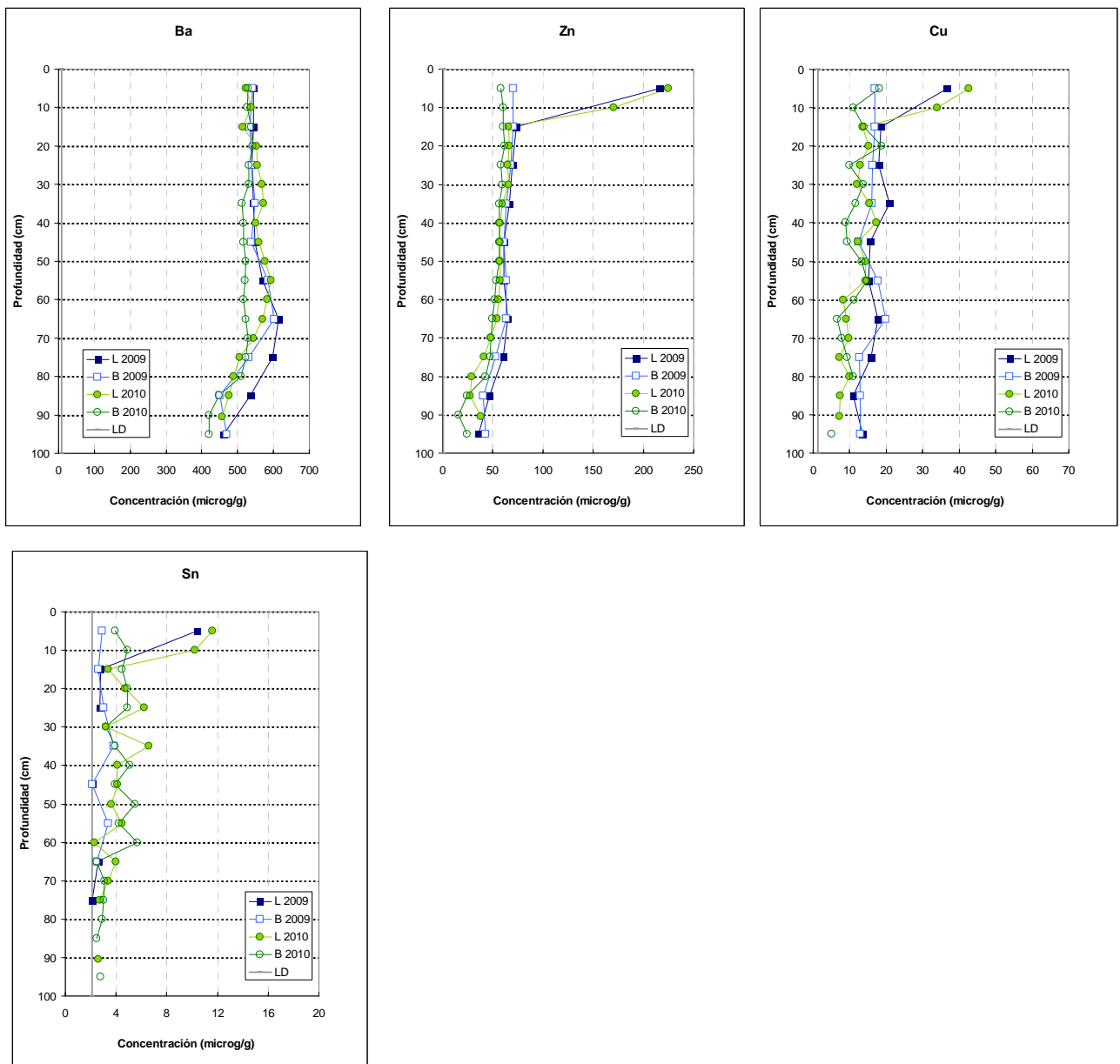


Figura 11 Comparación de distribución en profundidad de elementos traza.

Tabla 10. Concentraciones de los elementos determinados mediante ICP-AES en las muestras de lodos. Los elementos determinados se han ordenado según el criterio de concentración decreciente en la muestra de lodos anaerobios. Se indican también los valores límite (en mg/Kg de materia seca) para las concentraciones de metales pesados en lodos destinados a uso agrario según el RD 1340/1990.

	Concentración (microg/g)		Valor límite (RD 1340/1990)		NOTAS
	Aerobios	Anaerobios	suelo pH>7	suelo pH>7	
Zn	482	1205	2500	4000	[2]
Sr	191	623			
Ba	304	567			
Cu	107	220	1000	1750	
Pb	48	179	750	1200	
Rb	35	45			[2]
Cr	23	31	1000	1500	
V	22	24			
Ni	<LD	24	300	400	
W	<LD	20			
Li	12	19			
Ce	<LD	19			
La	6	13			
Ag	1	9			[3]
Co	3	7			
Mo	17	6			
Y	3	5			
Sc	2	2			
Be	1	1			[1]
Cd	1	1	20	40	
As	<LD	<LD			
Bi	<LD	<LD			
Nb	<LD	<LD			
Sb	<LD	<LD			
Se	<LD	<LD			
Tl	<LD	<LD			

c) Análisis de referencia de lodos.

Con objeto de poder interpretar los resultados obtenidos con las concentraciones de elementos indicadores en los lodos aplicados se han analizado estos mediante las mismas técnicas empleadas en la caracterización de la matriz sólida (ICP-AES) y en el mismo laboratorio. A continuación se presentan los resultados obtenidos. Se observa de forma general que:

- En la muestra de lodos anaerobios las concentraciones de analito son mayores que en la muestra de lodos aerobios (como promedio, en torno al doble, aproximadamente). Solamente para un elemento (Mo) se encuentran concentraciones más altas en lodo aerobio que en anaerobio.

- Las concentraciones de Zn, Cu, Pb, Cr, Ni y Cd son muy inferiores al valor límite que marca la ley para la utilización de lodos de depuradora en el sector agrario (RD 1310/1990). En las muestras no se ha determinado Hg, por tanto no pueden hacerse valoraciones respecto a la concentración de este metal.
- El metal más abundante en los dos tipos de lodos es el **Zn**
- El segundo y tercer metal más abundante en el lodo anaerobio corresponde a **Sr** y **Ba**. En el lodo aerobio, son los mismos pero con el orden cambiado: Ba y Sr.
- El cuarto y quinto metal más abundante, en ambas muestras: **Cu** y **Pb**

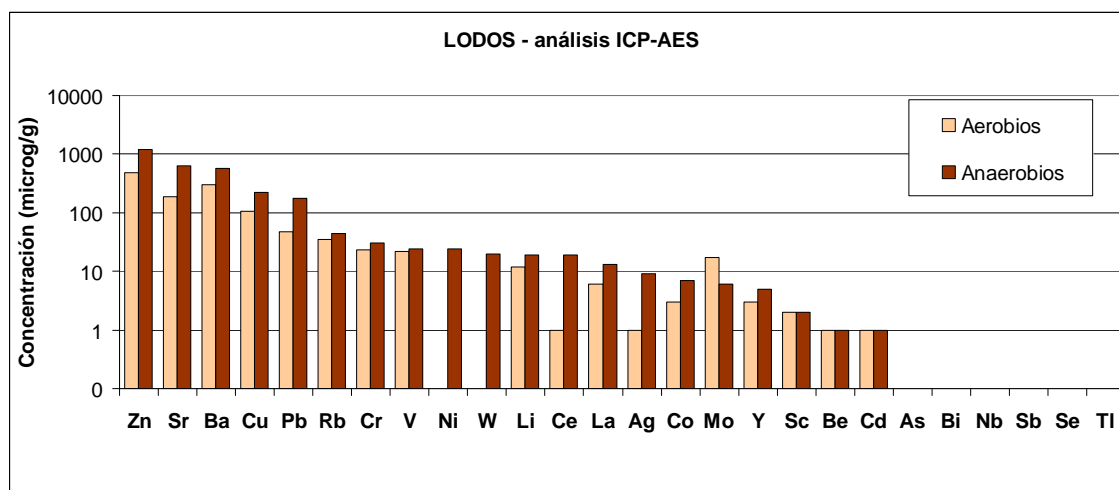
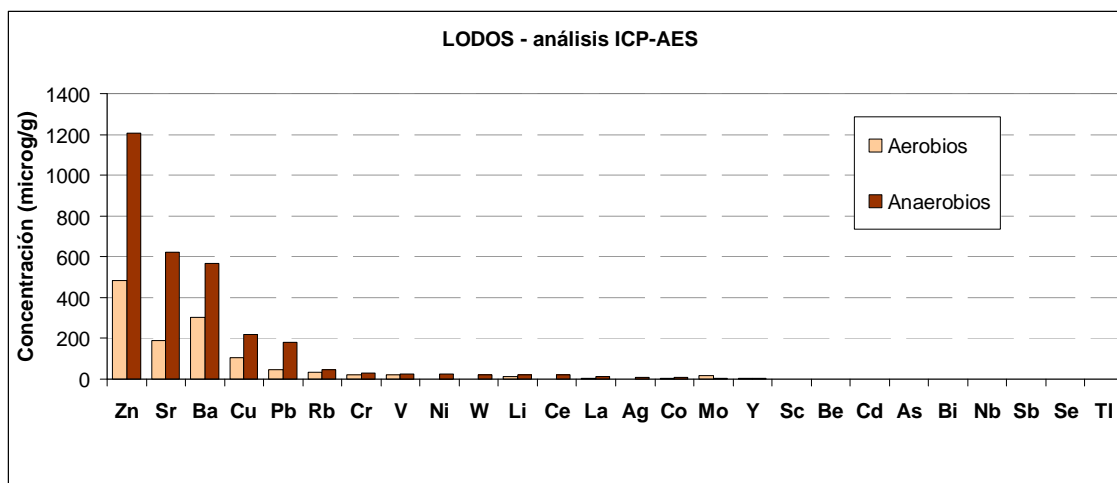


Figura 12. Comparación de las concentraciones de los elementos analizados en muestras de lodos aerobios y anaerobios. En la gráfica superior el eje de concentraciones se muestra en escala lineal y en la gráfica inferior en escala logarítmica.

d) Evolución de niveles del agua subterránea

Otra tarea que se ha continuado es el control de la posición del nivel freático en la zona de estudio, necesaria para establecer las condiciones de contorno de borde inferior del área en estudio. Para ello, se ha aprovechado la existencia de un limnígrafo para el control del nivel freático del acuífero aluvial ligado al río Jarama en un pozo excavado (figura 13) situado en las proximidades de las parcelas en las que se ha realizado el vertido de biosólidos. Se trata de un dispositivo Thalimedes de OTT (figura 14), instalado con anterioridad al proyecto y que durante éste ha sido reprogramado, midiendo en la actualidad el nivel del agua cada 12 horas. Cuando se descargan los datos o en algunas de las visitas a la zona se comprueba el estado de funcionamiento del dispositivo mediante la medida manual con sonda de control piezométrico.



Figura 13. Pozo en el que se realizan las medidas de nivel freático en la Finca "La Isla"



Figura 14. Dispositivo de lectura del limnígrafo de boya tipo Thalimedes de OTT instalado en la Finca "La Isla"

En la figura 15 se representa la evolución del nivel del agua en el pozo (posición del nivel freático), junto con las precipitaciones en la estación meteorológica de la Finca. Aunque no se dispone de la serie de precipitación completa, y el dispositivo de control no funcionó durante un período de unos 7 meses, la evolución del nivel freático está condicionada con las lluvias, aunque más directamente con el caudal

del río Jarama (figura 16), que, a pesar de estar muy regulado, refleja un hidrograma condicionado por las precipitaciones.

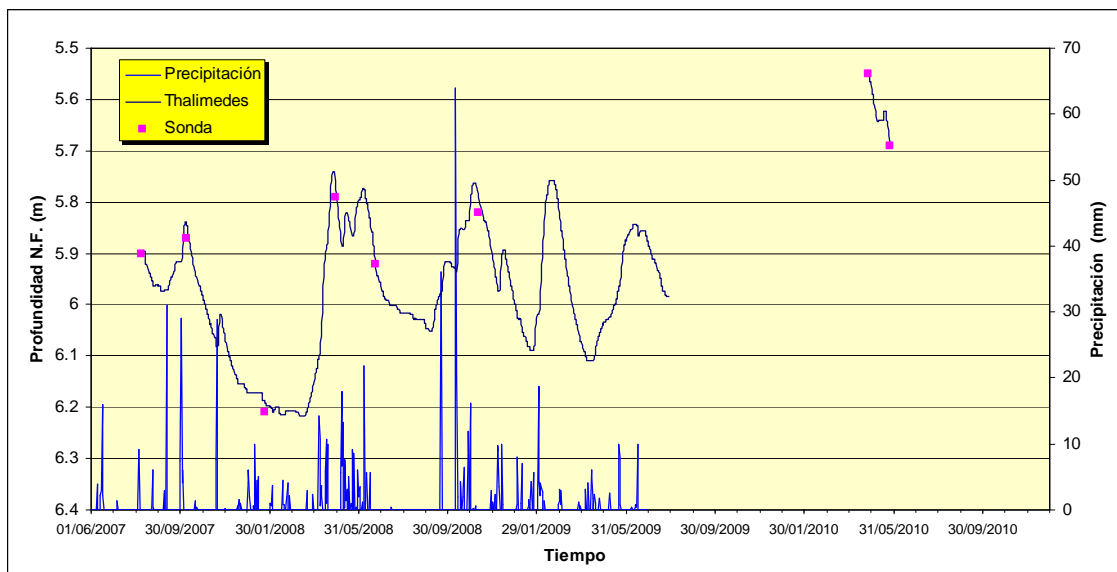


Figura 15. Historia de la evolución del nivel freático en la Finca “La Isla” medido de forma continua mediante un limnógrafo y de forma discreta con sonda piezométrica

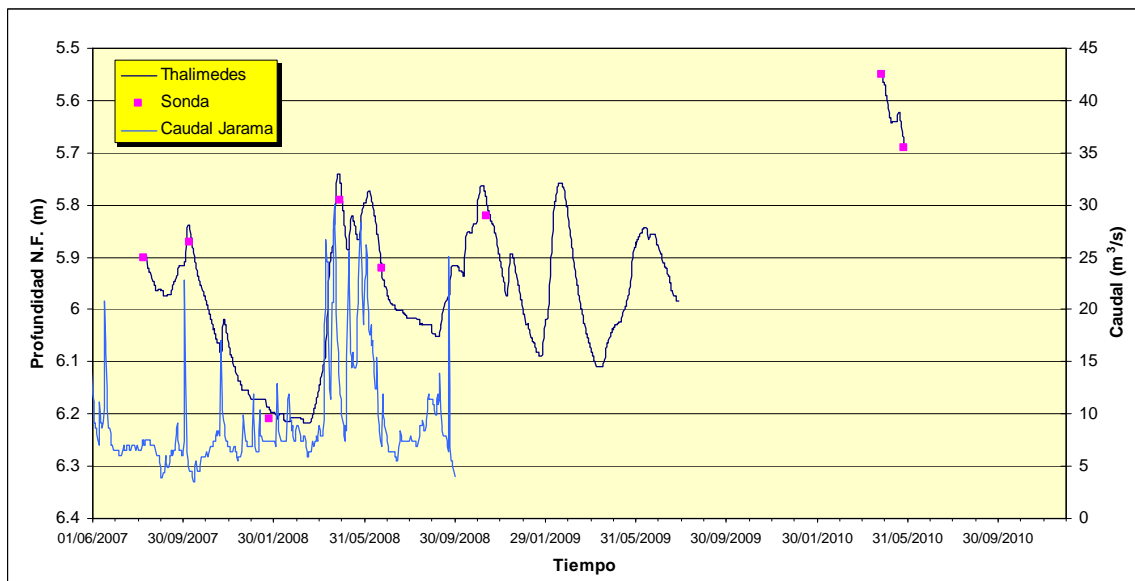


Figura 16. Comparación de la evolución del nivel freático en la Finca “La Isla” con los caudales del río Jarama en las proximidades de la misma