

Anexos

Anexo A La electrorremediación: descripción de los procesos y evaluación de su efectividad

En este Anexo se proporciona una descripción más detallada de los principales procesos físicos, electrocinéticos y electroquímicos que tienen lugar durante la electrorremediación de materiales porosos, con especial énfasis en los lodos de Sardas. Además, se analiza la efectividad de la técnica, sus usos, ventajas e inconvenientes en relación a otras técnicas de remediación in situ.

A.1 Calentamiento eléctrico

El paso de la corriente eléctrica entre el cátodo y ánodo producido al inducir el campo eléctrico, crea una diferencia de potencial a través del suelo. La potencia eléctrica suministrada al sistema genera: 1) reacciones electroquímicas en la superficie de cada electrodo; la oxidación del agua en el ánodo y su reducción en el cátodo (reacciones de hidrólisis) y reacciones de depósito de metales y 2) parte de la potencia suministrada se transforma en calor, aumentando las temperaturas del sistema, sobre todo, en la superficie del ánodo, por las caídas óhmicas generadas por la elevada resistencia del suelo. El aumento de la temperatura disminuye la viscosidad del agua y favorece la volatilización de los contaminantes de bajo peso molecular (López-Vizcaíno, 2013)

A.2 Reacciones de electrólisis del agua

Se trata de reacciones producidas en la superficie de los electrodos (Figura A.1). En el ánodo se forma oxígeno (gas) y se producen cationes H^+ debido a la oxidación del agua, y en la superficie del cátodo se lleva a cabo la reducción del agua, que genera hidrógeno (gas) y aniones OH^- (Reddy & Cameselle, 2009).

Oxidación del agua en el ánodo:



Reducción del agua en el cátodo:



Observando las reacciones anteriores, se entiende que en el ánodo se forme un frente ácido y en el cátodo una solución alcalina. Esto produce un aumento del pH en el cátodo y su

disminución en el ánodo. La migración del frente ácido (H^+) desde el ánodo hacia el cátodo y del frente básico (OH^-) desde el cátodo y hacia el ánodo, a través del suelo, genera un cambio dinámico en el pH del suelo durante las primeras etapas al inducir el campo eléctrico. Estas reacciones condicionan los mecanismos de transporte, transformación y degradación de los contaminantes durante la aplicación de la técnica (Reddy & Cameselle, 2009).

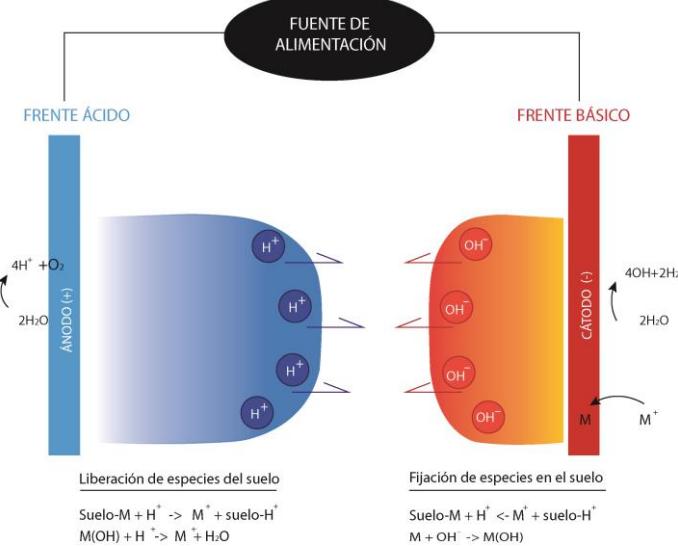


Figura A.1: Formación y desplazamiento de los frentes ácido y básico debido a la aplicación de un campo eléctrico (Modificado de López-Vizcaíno, 2013).

A.3 Procesos de transporte electroquímico

La aplicación del campo eléctrico provoca el movimiento del agua y los contaminantes (ya sea en forma iónica o coloidal) hacia los electrodos, como consecuencia de la activación de tres mecanismos de transporte diferentes: electromigración, electroósmosis y electroforesis (Reddy & Cameselle, 2009).

A.3.1 Electromigración (migración iónica)

Se define la **electromigración** como el fenómeno mediante el cual los iones en solución se desplazan hacia el electrodo de carga opuesta como consecuencia del campo eléctrico inducido (López-Vizcaíno, 2013). Los iones negativos o aniones se desplazan hacia el ánodo, mientras que los cationes o iones positivos se transportan hacia el cátodo. Es el mecanismo de transporte principal para metales en forma iónica y moléculas orgánicas polares (Reddy & Cameselle, 2009), además de ser el causante de la generación de los frentes ácido y básico explicados anteriormente.

La electromigración se ve condicionada por las características físico-químicas del propio suelo (conductividad hidráulica, porosidad y concentración inicial de especies) y de factores externos

al suelo, como el campo eléctrico aplicado y el gradiente de pH generado por las reacciones de hidrólisis. La velocidad de electromigración (v_{em}) de un ion es proporcional a la carga del ion y al gradiente eléctrico local. Dicha velocidad se define mediante la siguiente ecuación (Reddy & Cameselle, 2009):

$$v_{em} = uzFE. \quad (\text{A.3})$$

- u : movilidad del ion ($\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
- z : valencia iónica
- F : constante de Faraday (96.487 C/mol electrones)
- E : campo eléctrico (V/m)

La movilidad iónica (u) mencionada en la ecuación (3) se define como la velocidad de las especies iónicas bajo el efecto de un campo eléctrico de intensidad igual a 1 V/m y puede estimarse mediante la relación de Nernst-Einstein-Townsend (Reddy & Cameselle, 2009):

$$u = \frac{D|z|F}{RT}. \quad (\text{A.4})$$

- D : coeficiente de difusión molecular del ion
- R : constante de los gases (8.314J/K·mol)
- T : temperatura absoluta (K)

Por otro lado, la movilidad efectiva de un ion, u^* , considerada como el movimiento de un ion dado en un suelo de porosidad n y tortuosidad τ se define como (Reddy & Cameselle, 2009):

$$u^* = n\tau u, \quad (\text{A.5})$$

por lo que la velocidad efectiva por electromigración (v_{em}^*) en un suelo es en realidad:

$$v_{em}^* = u^* zFE = uzntFE. \quad (\text{A.6})$$

Los valores típicos de la movilidad iónica efectiva están en el rango $3 \cdot 10^{-9}$ a $1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}\text{V}^{-1}$ (Mitchell & Soga, 2005, Tabla 9.7), por lo que las velocidades de electromigración de iones monovalentes para una intensidad habitual de los campos eléctricos usados en electrorremediación de suelos (20-50 V/cm) son del orden de $0.6 \text{ a } 5 \text{ cm s}^{-1} = 20 \text{ a } 175 \text{ m/h}$.

A.3.2 Electroósmosis

La **electroósmosis** es el movimiento advectivo del fluido intersticial en el suelo al imponer un campo eléctrico entre dos electrodos y afecta a todas las especies químicas disueltas, tanto cargadas como neutras (Figura A.2). Es importante en medios porosos de granulometría muy fina (tamaño arcilla), en los que las partículas sólidas que componen el medio poroso tienen una carga neta superficial que provoca la formación, en la disolución en contacto con las superficies

sólidas, de una zona de espesor nanométrico compuesta mayoritariamente por iones (contraiones) de carga opuesta a la carga superficial (Figura A.3, izquierda). Esta zona está formada por dos capas: una interna, la **capa de Stern**, y otra externa, la **capa difusa**, con una carga neta que disminuye al aumentar la distancia a la superficie de la partícula (Probstein, 1994; Reddy & Cameselle, 2009). Al aplicar un campo eléctrico externo, la capa de Stern es inmóvil mientras que la capa difusa, junto con el resto de la disolución, se mueven en la dirección del cátodo (cuando la carga superficial es negativa) o del ánodo (cuando la carga superficial es positiva). La existencia de una carga neta hace que esa zona de la disolución cercana a la superficie sólida tenga un potencial eléctrico no nulo, potencial que disminuye con la distancia a la superficie (Figura A.3, derecha). El potencial en el plano definido por el contacto entre la capa de Stern (inmóvil) y la capa difusa (móvil) se denomina **potencial zeta**, y es una característica importante para estimar la velocidad del flujo electroosmótico.

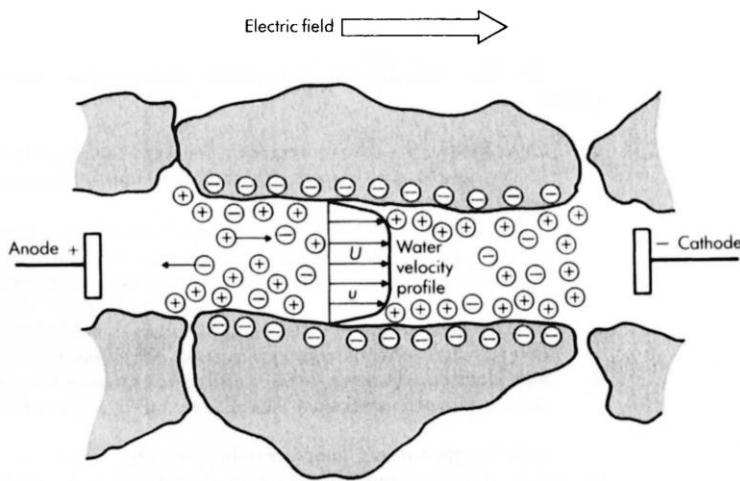


Figura A.2: Perfil de velocidades en los poros de un suelo durante el flujo electroosmótico. El campo eléctrico es horizontal y va del ánodo (izquierda) al cátodo (derecha). En este esquema se asume que la carga superficial de las partículas sólidas es negativa, por lo que los contraiones son positivos y se ven atraídos por el cátodo, resultando en un flujo electroosmótico de izquierda a derecha. En la capa difusa la velocidad aumenta desde cero (en el límite con la capa de Stern) hasta la velocidad máxima (U en la figura, v_{eo} en el texto), ya en la parte de la disolución que es eléctricamente neutra (Probstein, 1994, Fig. 6.5.1).

Como la capa difusa no tiene un límite neto con la disolución eléctricamente neutra, su anchura se define como aquella distancia a la que el potencial eléctrico ha disminuido en un factor e con respecto al potencial zeta (Figura A.3, derecha). Dicha distancia se denomina **longitud de Debye**, $1/\kappa$, y depende, entre otras cosas, de la concentración de iones en la disolución y de la carga de los mismos, de forma que al aumentar la concentración o la carga de los iones la anchura de la capa difusa disminuye.

La **velocidad del flujo electroosmótico**, v_{eo} , depende del coeficiente de conductividad electroosmótica (k_{eo}) y del campo eléctrico aplicado, E . A su vez, la conductividad

electroosmótica es una función de las propiedades de la disolución (permitividad y viscosidad) y de las partículas coloidales (potencial zeta) (Reddy y Cameselle, 2009):

$$\mathbf{v}_{eo} = -\frac{\varepsilon \zeta}{\mu} \frac{\partial V}{\partial d} = k_{eo} \mathbf{E} \quad (\text{A.7})$$

- \mathbf{v}_{eo} : velocidad electroósrmica (m/s)
- ε : permitividad de la disolución (F/m)
- ζ : potencial zeta (V)
- μ : viscosidad de la disolución (Pa·s)
- V : Potencial eléctrico (V)
- d : camino recorrido a lo largo de la línea de flujo (m)
- k_{eo} : coeficiente de permeabilidad electroosmótica ($\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
- \mathbf{E} : campo eléctrico (= gradiente de potencial eléctrico) (V/m).

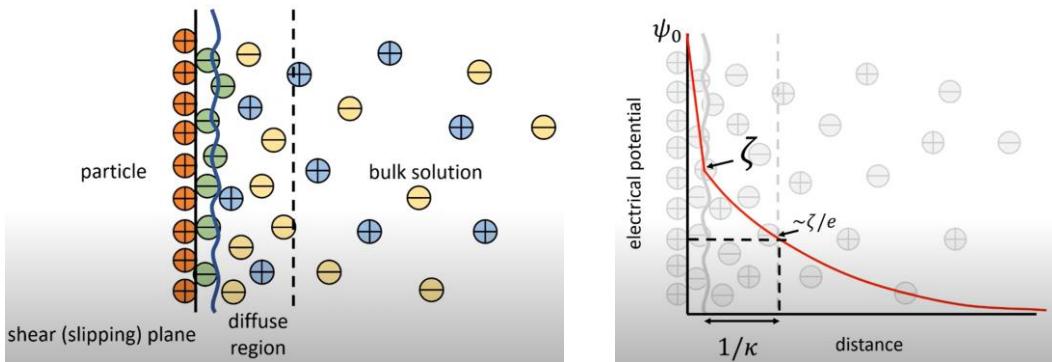


Figura A.3. Izquierda: Esquema de la doble capa eléctrica, compuesta por la capa de Stern (entre la superficie de la partícula sólida y el plano de cizalla) y la capa difusa. Derecha: el potencial zeta (ζ) es el potencial eléctrico en la interfase entre la capa de Stern y la capa difusa. El espesor de la capa difusa se define como la longitud de Debye, $1/\kappa$, que es del orden de unos pocos nanómetros y disminuye con el aumento de la carga en la capa difusa.

El flujo electroosmótico es independiente del tamaño de los poros (siempre y cuando dicho tamaño sea mucho mayor que la longitud de Debye, lo cual se cumple en la mayoría de los medios porosos naturales; Restrepo, 2014) y su magnitud, para un campo eléctrico dado, solo depende del coeficiente de permeabilidad electroosmótica, k_{eo} .

En un medio poroso de porosidad n el flujo no se produce en toda la sección transversal del suelo sino solo a través del volumen de poros, y además las líneas de flujo tienen una tortuosidad τ , por lo que la velocidad efectiva del flujo electroosmótico, \mathbf{v}_{eo}^* , es:

$$\mathbf{v}_{eo}^* = k_{eo} \frac{\tau}{n} \mathbf{E} = k_{eo}^* \mathbf{E}. \quad (\text{A.8})$$

A partir de gran cantidad de pruebas de laboratorio realizadas por varios autores, se han establecido los valores de coeficiente de permeabilidad electroosmótica efectiva (k_{eo}^*) para distintos tipos de suelos (Restrepo, 2014), como muestra la Tabla A.1. En la tabla se puede apreciar que k_{eo}^* está, para la mayor parte de los suelos de grano fino, en el estrecho rango 2-

$7 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, lo que implica unas velocidades electroosmóticas, para un campo eléctrico típico en técnicas de electrorremediación de 20-50 V/cm, de aproximadamente $0.0004\text{-}0.004 \text{ cm/s} = 1.5\text{-}15 \text{ cm/h}$, valores que son unas mil veces menores que los correspondientes al flujo por electromigración.

Tabla A.1. Valores del coeficiente de permeabilidad electroosmótica efectiva para diferentes tipos de suelos (Restrepo, 2014). (1) La humedad de la montmorillonita sódica es mayor del 100% porque se contabiliza también el agua interlaminar.

Tipo de suelo	Humedad (%)	$k_{eo}^* \cdot 10^{-5} (\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s})$
Arcilla de Londres	52.3	5.8
Arcilla azul de Boston	50.8	5.1
Caolín comercial	67.7	5.7
Limo arcilloso	31.7	5
Roca molida	27.2	4.5
Montmorillonita sódica	170 ⁽¹⁾	2
Montmorillonita sódica	2000 ⁽¹⁾	12
Mica pulverizada	49.7	6.9
Arena fina	26	4.1
Cuarzo pulverizado	23.5	4.3
Arcilla blanda, rápida, en As, Noruega	31	2.5-20
Arcilla de Cove Bootiegger	30	2.4-5
Arcilla limosa, represa West Branch	32	3.0-6.0
Limo arcilloso, río Little Pic, Ontario	26	1.5

A.3.3 Electroforesis

La **electroforesis** es el transporte de partículas cargadas (coloides, micelas, etc.) debido a la aplicación de un campo eléctrico. Se puede considerar como el caso opuesto a la electroosmosis, en el sentido de que en la electroosmosis el armazón sólido está fijo y lo que se mueve es el agua intersticial (Figura A.4, izquierda), mientras que en la electroforesis el agua está inmóvil y lo que se mueve, al imponer un campo eléctrico, son las partículas coloidales como consecuencia de la carga neta de su capa difusa (Figura A.4, derecha). Cuando las partículas del suelo tienen una carga neta negativa, se mueven por electroforesis hacia el ánodo, y hacia el cátodo cuando tienen una carga neta superficial positiva. Este es el sentido opuesto al del movimiento del agua por electroosmosis, como pone de manifiesto la Figura A.4.

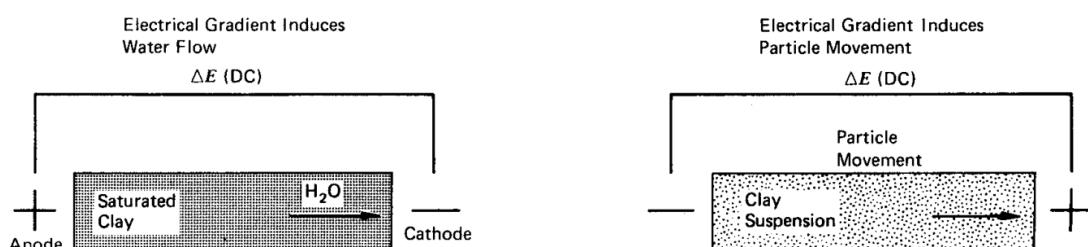


Figura A.4. Diferencia entre la electroosmosis (izquierda) y la electroforesis, asumiendo una carga neta superficial negativa para las partículas sólidas (Mitchell & Soga, 2005, Fig. 9.22)

Al ser un proceso enteramente análogo a la electroosmosis, pero intercambiando el movimiento del agua (electroosmosis) por el de las partículas coloidales (electroforesis), la velocidad del flujo electroforésico (\vec{v}_{ef}) es idéntica a la del flujo electroosmótico pero en sentido opuesto:

$$\vec{v}_{ef} = -\vec{v}_{eo} = -k_{eo} \mathbf{E}. \quad (\text{A.9})$$

Comparado con los dos mecanismos de transporte explicados anteriormente, la electroforesis es despreciable en suelos de baja permeabilidad (i.e., $v_{ef}^* \approx 0$), ya que el tamaño de los poros es demasiado pequeño para permitir el paso de las partículas coloidales naturales. Sin embargo, cobra mucha importancia en sistemas de suelos en suspensión (Reddy & Cameselle, 2009) y en la electrorremediación con surfactantes, ya que éstos forman micelas (sobre las que se adsorben los contaminantes), cuyo tamaño es suficientemente pequeño como para poder moverse por los canales intersticiales.

A.4 Efectividad de la técnica de electrorremediación

La electrorremediación se emplea principalmente para la movilización, por distintos mecanismos de transporte, de iones o coloides en un medio poroso mediante la aplicación de un campo eléctrico para lograr alcanzar los siguientes objetivos (López-Vizcaíno, 2013):

- Favorecer la transformación del compuesto tóxico en otros compuestos menos nocivos y fáciles de degradar.
- Liberar y fijar los contaminantes para realizar posteriores tratamientos de lavado y extracción de contaminantes.

La velocidad y la eficacia de la remediación de un suelo por técnicas de electrorremediación depende principalmente de tres aspectos: (1) el tipo de contaminante, concentración y su distribución en el medio a remediar; (2) la velocidad de transporte de los contaminantes por electromigración, electroosmosis y electroforesis; y (3) la interacción entre los procesos generados al aplicar el campo eléctrico y procesos adicionales añadidos para mejorar la eficacia general de la descontaminación (e.g., la adición de surfactantes, bacterias, partículas de hierro cero-valente, barreras reactivas permeables, etc.) (López-Vizcaíno 2013).

La electrorremediación es una técnica compleja que involucra una gran cantidad de variables, tanto intrínsecas al medio que se quiere descontaminar como específicas de la técnica electrocinética utilizada. Las variables más importantes son, según López-Vizcaíno (2013), las siguientes:

- **Electrodos.** Generalmente se emplean electrodos de materiales inertes para evitar

reacciones que interfieran en el resultado del proceso. Se emplean electrodos de diversa naturaleza, disposición, geometría y pueden ubicarse en el interior del suelo o en pozos de electrolito. Además, pueden ser macizos o huecos para inyectar fluidos surfactantes de mejora que aumenten la movilidad de los iones o de los coloides.

- **Fluidos de mejora.** Se inyectan en los electrodos huecos para inhibir reacciones secundarias no deseadas, como la precipitación de carbonatos en el frente básico del cátodo, añadiendo una disolución de ácido débil. El fluido de mejora más utilizado para lavar contaminantes mediante redisolución de precipitados, intercambio iónico y/o arrastre es el agua.
- **Modo de operación.** Se diferencian dos modos en el funcionamiento eléctrico de la electrorremediación:
 - Modo potencióstático: el potencial eléctrico entre los electrodos es fijo mientras que la intensidad de corriente se modifica conforme la resistividad del medio va cambiando. Es el modo de operación más utilizado.
 - Modo galvanostático: se mantiene una intensidad de corriente constante y es el potencial el que se va modificando al cambiar la resistividad del medio.
- **Conductividad.** La conductividad (eléctrica) del fluido intersticial del suelo condiciona algunos aspectos del proceso de electrorremediación. Elevados valores de conductividad generan el descenso de la resistencia eléctrica del medio, lo que favorece al aumento de las reacciones de electrólisis en la superficie de los electrodos y disminuyen el flujo electroosmótico al reducirse el espesor de la capa difusa. Por contra, valores bajos de la conductividad del fluido tienden a generar temperaturas altas, debido a la elevada resistencia del medio, lo que favorece la eliminación de determinados contaminantes, sobre todo los volátiles y semivolátiles.
- **pH.** Los frentes ácido y básico modifican el pH inicial del sistema de forma muy importante, generando valores extremos de pHs que influyen en la manera en la que los contaminantes se mueven (frente ácido) o se fijan (frente básico).

A.5 Usos de la técnica de electrorremediación

Los distintos procesos producidos al inducir un campo eléctrico al suelo, durante el tratamiento de electrorremediación, le confiere a la técnica un carácter multifuncional. A continuación se describen los usos que abarca dicho tratamiento:

- Estabilización de suelos y drenaje del nivel freático

Casagrande fue el primer científico en demostrar la utilidad de la técnica de

electrorremediación para la estabilización y drenaje de suelos. Introdujo en un suelo arcilloso una serie de tubos porosos a modo de cátodos e intercalados entre ellos, otros tubos funcionando como ánodos. Observó, cómo al inducir un campo y una corriente eléctrica determinada al sistema, el agua ascendía y se acumulaba en los tubos porosos (cátodos), diferenciándose una dirección del flujo de agua predominante; desde el ánodo hacia el cátodo. A partir del fenómeno de la electroosmosis acumuló el agua en el cátodo y la extrae de manera sencilla mediante su bombeo, consiguiendo un incremento de la resistencia y consolidación del suelo, al disminuir su humedad. Cuanto más salinas son las aguas, mayor volumen de agua podrá ser drenado al ser más efectivo el fenómeno de electroosmosis, al ser mayor la conductividad (Yepes, 2019).

- Remediación de suelos contaminados con metales pesados, nutrientes y especies orgánicas
La movilidad y remoción, como consecuencia de la inducción de un campo eléctrico mediante los distintos mecanismos de transporte (electromigración, electroforesis y electroosmosis) de partículas, moléculas y especies hacia el electrodo de carga opuesta, produce la transformación y degradación de los compuestos contaminantes. La extracción del líquido acumulado en el cátodo conlleva el lavado del suelo, disminuyendo la concentración de los contaminantes (López-Vizcaíno, 2012).
- Secado del suelo para mejorar y facilitar su manejo mecánico
En este Trabajo de Fin de Máster, se pretende utilizar la técnica de electrorremediación principalmente para secar las muestras de lodo de la balsa del vertedero de Sardas disminuyendo, de esta forma, su comportamiento plástico y, por tanto, garantizando un manejo mecánico del lodo contaminado más sencillo y seguro.

A.6 Técnicas de remediación de suelos

Existen numerosos tratamientos de remediación de suelos contaminados. A continuación se describen los tratamientos de remediación, clasificados en función de la naturaleza y objetivo del proceso (Figura A.2) (López-Vizcaíno, 2013):

- **Tratamientos biológicos:** microorganismos eliminan contaminantes biodegradables del suelo.
- **Tratamientos físico-químicos:** para eliminar contaminantes tóxicos persistentes no biodegradables. Transforman los contaminantes en compuestos menos peligrosos y más fáciles de degradar o concentran y aislan los contaminantes con el fin de movilizarlos y

extraerlos.

- **Tratamientos térmicos:** al aumentar la temperatura aumenta la velocidad de volatilización de los contaminantes semivolátiles. Esta técnica puede realizarse *ex situ* mediante hornos de temperatura variable en función del compuesto a eliminar o de la tecnología utilizada; o *in situ* mediante corriente eléctrica, ondas electromagnéticas, fibra óptica, radio frecuencia o inyección de vapor y aire caliente para calentar el subsuelo.

*Tabla A.2. Clasificación de los principales tratamientos de remediación según se realicen *in situ* o *ex situ**

	<i>In situ</i>	<i>Ex situ</i>
Tratamientos biológicos	Bioventeo	Biorreactores
	Biorremediación	Biopila
	Fitorremediación	Compostaje
Tratamientos físico-químicos	Oxidación Química	Extracción química
	Electrorremediación	Oxi-reducción química
	Extracción de vapores	Deshalogenación
	Enjuague de suelos	Lavado de suelos
Tratamientos térmicos	Vitrificación	Descontaminación por gases calientes
	Pirolisis	Incineración
		Pirolisis
		Deserción térmica

La elección del tratamiento de remediación depende principalmente del tipo de contaminante que se desee eliminar además de las características del medio a descontaminar. A continuación, se describen las características físico-químicas del medio que determinan la aplicación de una técnica de remediación u otra (López-Vizcaíno, 2013):

- La **permeabilidad** del suelo, expresada mediante el coeficiente de permeabilidad (*k*). Condiciona las características hidrodinámicas del medio a remediar. Presenta especial importancia para los tratamientos de remediación *in situ*.
- **Estratificación del suelo.** Los medios heterogéneos con capas de diferente permeabilidad y conductividad hidráulica pueden provocar el estancamiento de los contaminantes o, por el contrario, un flujo hidráulico muy elevado. La presencia de suelos estratificados determina la aplicación de técnicas de remediación basadas en el lavado del medio.
- Contenido en **materia orgánica**. Elevadas cantidades de materia orgánica disminuyen la movilidad de los compuestos orgánicos, al quedar retenidos por adsorción.
- Contenido en **humedad**. Una elevada saturación dificulta el flujo de aire en sistemas de extracción por vacío por lo que impide la aplicación de tratamientos térmicos al requerir

altos niveles energéticos que aumenten significativamente el coste del tratamiento. Altos contenidos en humedad favorecen, por tanto, la aplicación de tratamientos de remediación biológica y tratamientos electroquímicos *in situ*.

- **pH.** Los valores extremos de pH dificultan los intercambios iónicos. Un pH alcalino favorece la precipitación de contaminantes inorgánicos y la efectividad de tratamientos biológicos.
- Contenido en **carbón orgánico total** (COT), **demandas biológica de oxígeno** (DBO) y **demandas química de oxígeno** (DQO). La relación entre DQO/DBO indica la viabilidad del tratamiento biológico o de oxidación química.

A.7 Ventajas de la técnica de electrorremediación

A.7.1 Ventajas

Cabe mencionar las siguientes ventajas de la electrorremediación con respecto a otras técnicas de remediación de suelos (López-Vizcaíno, 2013):

- Flexibilidad para utilizar tanto técnicas *in situ* como *ex situ*.
- Capacidad de ser aplicada a distintos tipos de suelos: suelos de baja o alta permeabilidad, heterogéneos u homogéneos, saturados o no saturados.
- Elevada efectividad para diferentes contaminantes: compuestos inorgánicos iónicos, metales pesados, contaminantes orgánicos polares, y radionúclidos
- Técnica de carácter multifuncional: estabilización, drenaje del nivel freático y descontaminación de suelos
- Mejora de la efectividad del tratamiento mediante la aplicación de surfactantes y mediante la combinación con otras técnicas y tratamientos.

A.7.2 Desventajas

También deben de tenerse en cuenta las siguientes desventajas de la técnica de electrorremediación (Yepes, 2019):

- Alto costo energético
- Tratamiento peligroso para los trabajadores
- Escasa utilización de la técnica hasta el momento
- No aplicable para la estabilización de suelos en arenas finas con permeabilidad inferior a $3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
- Dificultad del éxito de la técnica en suelos contaminados por compuestos hidrófobos (López-Vizcaíno, 2012).

Bibliografía del Anexo A

- López-Vizcaíno, R. (2013): *Remediación electrocinética de suelos de baja permeabilidad contaminados con compuestos orgánicos hidrófobos*. Memoria para optar al grado de Doctor, Univ. de Castilla la Mancha, 308 págs.
- Mitchell, J.K. & Soga, K. (2005): *Fundamentals of soil behavior*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 561 págs.
- Probstein, R.F. (2014): *Physicochemical Hydrodynamics An Introduction*. John Wiley & Sons, New York, 406 págs.
- Reddy, K.R. & Cameselle, C. (2009): *Electrochemical remediation technologies for polluted soils, sediments and groundwater*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 757 págs.
- Restrepo, L.E. (2014): *Mejoramiento de suelos finos a partir de la electroósmosis*. Trabajo de Fin de Máster, Univ. Nacional de Colombia, 137 págs.
- Yepes, V. (en línea). Electroósmosis como técnica de drenaje del terreno, 2019. (fecha de consulta: 16/08/2021). Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/06/28/>

Anexo B Descripción de las metodologías de análisis

En este apéndice se describen con más detalle los aparatos y las técnicas usadas en este TFM para caracterizar los lodos de la balsa de lixiviados de Sardas

B.1 Análisis de los compuestos organoclorados en fase sólida, líquida y gaseosa en los lodos

Los compuestos organoclorados de los lodos se han analizado en el laboratorio Pirenarium de Sabiñanigo mediante cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas (GCMS), siguiendo el protocolo descrito en Santos et al. (2018). Se utilizó un cromatógrafo Agilent 6890N acoplado a un detector de espectrometría de masas (Agilent MSD 5975B), que funciona al vacío (Figura B.). Se usó una columna HP-5MS ($30\text{ m} \times 0,25\text{ mm DI} \times 0,25\text{ }\mu\text{m}$) para el análisis de estos compuestos. La columna HP-5MS es de tipo capilar no polar, con una fase estacionaria de (5%-fenil)-metilpolisiloxano. Se utilizó helio como gas portador con un caudal de 1.7 ml/min. La inyección de las muestras líquidas, de 1 ml, se automatizó mediante un inyector CTC combiPAL. La temperatura de inyección del cromatógrafo se fijó en 250°C. El horno del cromatógrafo trabajó a un gradiente de temperatura programado, comenzando a 80°C y aumentando la temperatura a una velocidad de 18°C/min hasta 180°C, y luego manteniéndola constante durante 15 min. Para la identificación de los compuestos se usó la base de datos NIST.

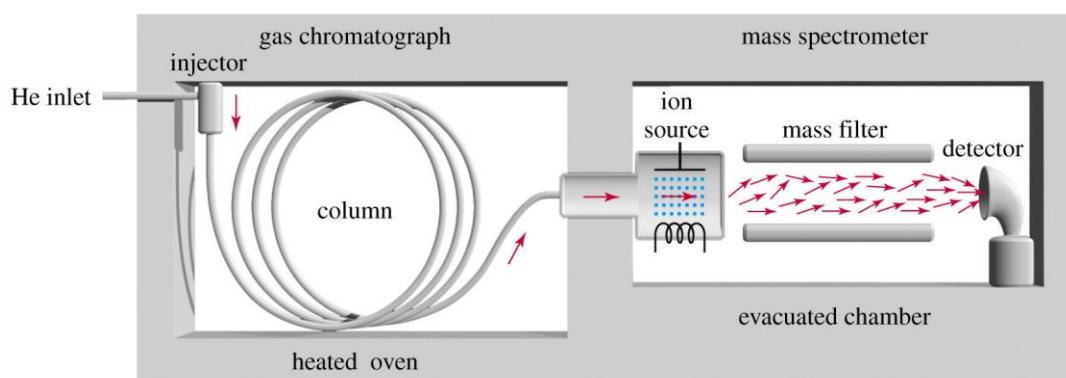


Figura B.1. Esquema del funcionamiento de un cromatógrafo de gases (izquierda) acoplado a un detector de espectrometría de masas (derecha). Las columnas del cromatógrafo se definen por su longitud, diámetro interno (DI) y tamaño de las partículas que la llenan, así como la fase estacionaria que recubre las partículas.

B.2 Medida del pH, la temperatura y la conductividad eléctrica

El **pH** ha sido medido con un peachímetro móvil de la marca Orion y modelo 230 A, calibrado según las directrices del fabricante y utilizando las soluciones patrón de pH 7.00 y 10.01 (dado que los lodos tienen, salvo excepciones, un rango de pH entre neutro y básico). Una vez

calibrado, la medida de pH se ha realizado sumergiendo en el lodo tanto el electrodo medidor del pH (también de la marca Orion, modelo 8175 BMWP) como el electrodo termocompensador, que sirve además para medir la **temperatura** de los lodos.

La **conductividad eléctrica** se ha medido con la propia fuente de alimentación que induce el campo eléctrico entre los electrodos. La fuente dispone de una pantalla que proporciona la lectura de la intensidad de la corriente eléctrica (I , en amperios) y el voltaje (V , en voltios). Como todos los experimentos se han realizado a voltaje constante, a partir de éste y del valor instantáneo de la intensidad se puede calcular la resistencia R (en ohmios, Ω) por medio de la ley de Ohm:

$$R = \frac{V}{I} \quad (B.1)$$

Una vez obtenida la resistencia, se calcula la resistividad del lodo (ρ), en $\Omega \cdot \text{m}$, a partir del espaciado d entre los electrodos, la anchura W de la celda electroquímica y el espesor h del lodo en la celda:

$$\rho = \frac{RWh}{d} \quad (B.2)$$

Finalmente, se calcula la conductividad eléctrica (σ), en S m^{-1} (siemens/metro), como la inversa de la resistividad (ρ):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (B.3)$$

B.3 Medida de las propiedades físicas (geotécnicas) de los lodos

B.3.1 Granulometría

La granulometría de los lodos se ha realizado con dos técnicas diferentes: tamizado (fracción arena) y difracción láser (fracción limo y arcilla).

Fracción arena. Cada muestra de lodo se ha secado a temperatura ambiente durante varios días. A continuación, se ha desagregado con un rodillo de madera y una maza de goma para después tamizar la muestra a través de una luz de malla de 2 mm y eliminar la fracción de tamaño grava o mayor. Se ha pesado una alícuota de 15 gr de la fracción $< 2\text{mm}$, que ha sido atacada con peróxido de hidrógeno en caliente para eliminar la materia orgánica. Luego, se ha añadido a la alícuota una solución de dispersante (polifosfato sódico alcalino) durante 24 horas, trascorridas las cuales se ha separado la fracción arena con un tamiz de luz de malla de 63 micras. La fracción

mayor de 63 micras se ha secado en una estufa a 105° C; una vez seca, se ha tamizado por una columna de tamices de 0.063, 0.125, 0.250, 0.500 y 1 mm. Posteriormente, se ha pesado la muestra retenida en cada tamiz con una báscula de precisión de 0.0001 g. Conocido el peso inicial de la muestra y el peso retenido en cada tamiz, se ha calculado el porcentaje de muestra de cada fracción granulométrica para poder reconstruir la curva granulométrica.

Fracción limo-arcilla. La fracción menor de 63 micras se ha analizado por difracción láser mediante el analizador Mastersizer 3000 de la casa Malvern (Figura B.), que permite medir el tamaño de partículas entre 0.1 micras y 3 mm, aunque en nuestro caso se ha limitado al rango 0.1-63 micras. La muestra se añade con un cuentagotas a la unidad de dispersión (Figura 14b), donde un agitador incorporado permite formar y mantener una suspensión estable y homogénea. Desde la unidad de dispersión la muestra se desplaza a la unidad de medición (Figura 14a) por medio de un circuito cerrado de tubos, propulsada por una bomba centrífuga que evita su sedimentación y garantiza una medida sin sesgos. El haz del láser incide sobre la muestra a través de una ventana circular en la cámara de medición (Figura B.a) y los detectores miden la intensidad de la luz dispersada por las partículas de la muestra, para la longitud de onda de la luz roja y azul en una gran amplitud de ángulos. Finalmente, el *software* del analizador procesa los datos de los ángulos de dispersión y calcula la distribución de tamaño de partícula (Figura B.c).

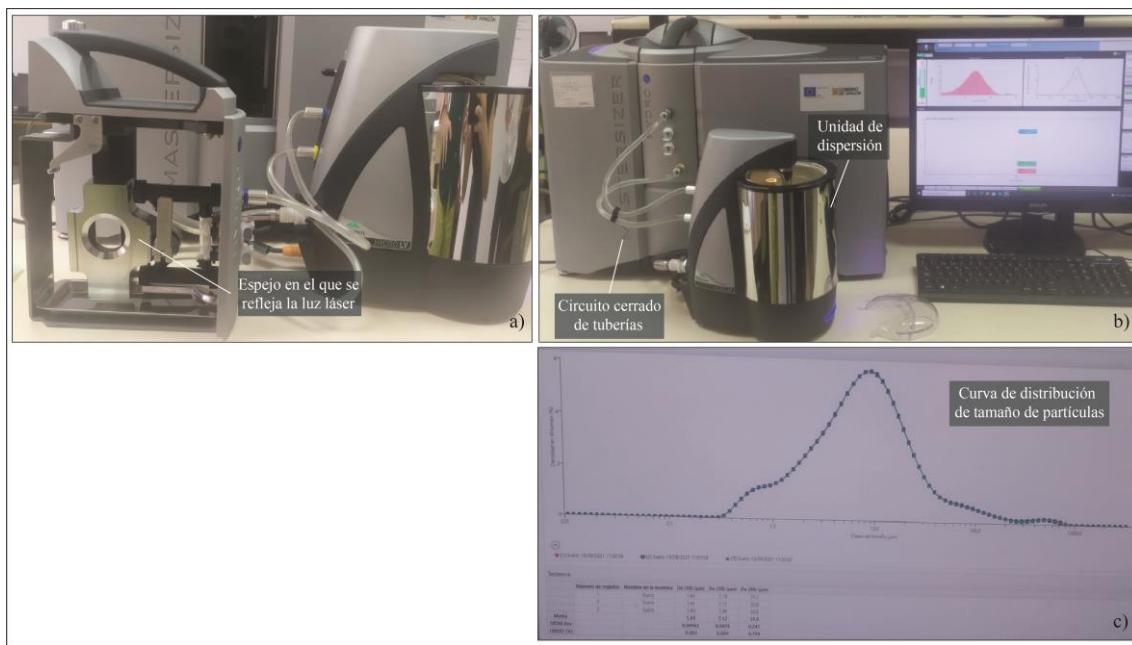


Figura B.2: se muestran los principales componentes del analizador Mastersizer 3000 de la casa Malvern. En la imagen a) se ha fotografiado el espejo que refleja la luz láser roja y azul que atraviesa la muestra. En la imagen b) se observa la unidad de dispersión, rellena de agua destilada, en la que se añade la muestra y el circuito cerrado de tuberías por el que circula para ser atravesada por la luz láser. En la imagen c) se ha fotografiado la curva de distribución de tamaño de partículas construida a partir del software Mastersizer 3000.

B.3.2 Contenido en humedad y materia orgánica

Contenido en humedad. El procedimiento para el cálculo de la humedad de cada muestra de los 6 experimentos de electrorremediación ha sido el siguiente: primero se ha homogeneizado la muestra de lodo y se ha introducido una cantidad en un recipiente hermético previamente pesado en una báscula de precisión de 0.01 g. La muestra en el interior del recipiente también ha sido pesada en la misma báscula de precisión. A continuación, se ha trasvasado a un recipiente de vidrio destapado y se ha colocado en una mufla durante 24 h a una temperatura de 110 °C. Se ha extraído la muestra seca de la mufla, se ha colocado en un desecador y se ha dejado enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Finalmente, se ha introducido de nuevo en el recipiente hermético para pesarla en la báscula de precisión. A partir de las masas obtenidas, se ha calculado el porcentaje en humedad (%W) de las muestras de lodo del vertedero de Sardas mediante la siguiente fórmula (Zagal y Sadzawka, 2007):

$$\%w = \frac{a - b}{a - c} \cdot 100$$

- *a*: masa (g) de la muestra de lodo a temperatura ambiente
- *b*: masa (g) de la muestra de lodo secada a 110°C
- *c*: masa (g) del recipiente hermético

Contenido en materia orgánica. Para obtener el contenido en materia orgánica de las muestras de lodo de cada experimento realizado se ha eliminado en primer lugar, la fracción carbonatada, ya que el análisis de DRX ha puesto de manifiesto que las muestras contienen hasta un 40% en peso de carbonatos. Para ello, se han calentado las muestras homogeneizadas colocadas en recipientes de vidrios destapados, de peso conocido, a 40°C en una mufla durante 5 días. La masa de muestra seca (+recipiente) se ha pesado en una balanza de precisión 0.01 g. Posteriormente, se han molido y tamizado las muestras a través de una malla de luz <2mm. A continuación, se han atacado 20 g de muestra tamizada con sucesivas adiciones de ácido clorhídrico 0.3N hasta conseguir el cese de la reacción $\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{Ca}^{2+} + \text{Cl}^-$ y, por tanto, la eliminación completa del carbonato. Una vez terminado este paso, la muestra resultante se ha colocado en un recipiente de vidrio destapado y se ha introducido en la mufla durante 2 h a una temperatura de 110°C para luego, elevar lentamente la temperatura hasta alcanzar los 550°C, temperatura que se ha mantenido durante 2 h; posteriormente se ha disminuido hasta alcanzar una temperatura inferior a 200°C. Por último, se ha extraído la muestra, se ha colocado en el desecador y se ha dejado enfriar hasta la temperatura ambiente. Una vez enfriada, se ha pesado la muestra con el recipiente. El contenido en materia orgánica (%MO) de las muestras de lodos con carbonatos se ha calculado a partir de la siguiente fórmula

(Zagal y Sadzawka, 2007):

$$\%MO = \frac{a - b}{a - c} \cdot 100 \cdot Fh_{lodo}$$

- *a*: masa (g) de lodo seco a 40°C + recipiente (muestra con carbonato)
- *b*: masa (g) de la muestra final + recipiente (muestra sin carbonatos)
- *c*: masa (g) del recipiente
- *Fh_{lodo}*: Factor de corrección por humedad

$$Fh_{lodo} = \frac{100 + \%w_{40}}{100}$$

- $\%w_{40}$: porcentaje de agua de la muestra seca a 40°C.

B.3.3 Permeabilidad

Para estimar la permeabilidad de los lodos de la balsa de lixiviados de Sardas se ha diseñado un permeámetro de carga variable (Figura B.3). El diseño del experimento consiste en una pipeta milimetrada, de radio (*r*) $1.65 \cdot 10^{-3}$ m, enrasada con agua destilada, conectada a un tapón de caucho unido a una jeringuilla, de radio (*R*) $1.325 \cdot 10^{-2} \pm 10^{-4}$ m, también enrasada con agua, en cuyo extremo inferior se ha situado la muestra de lodo del vertedero de Sardas (M_s), sellado con algodón, a modo de barrera “semi-impermeable” en la parte inferior. Se ha estimado un diámetro de muestra de $2.65 \times 10^{-2} \pm 2.5 \times 10^{-4}$ m. La masa en seco de la muestra es de $9.91 \times 10^{-3} \pm 10^{-5}$ kg y muestra una densidad en seco, estimada mediante el análisis de difracción de rayos X de 2720 ± 40 kg/m³.

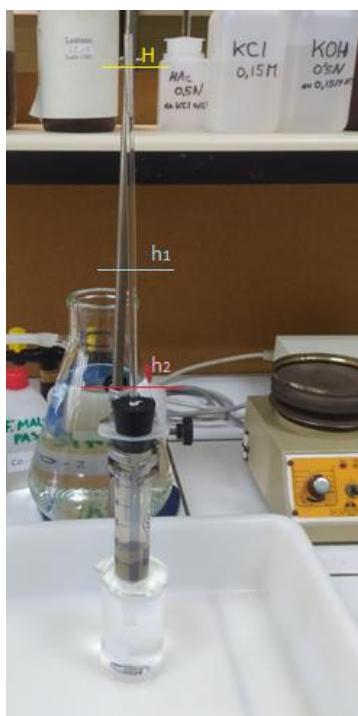


Figura B.3. Permeámetro de carga variable construido para estimar la permeabilidad de los lodos de la balsa de lixiviados de Sardas.

El extremo inferior de la jeringuilla está en contacto con un depósito de agua a nivel constante para conseguir que el potencial hidráulico de salida también sea constante.

Para estimar la permeabilidad, se marcan en el piezómetro tres alturas: la altura inicial del agua, H , la altura final, h_2 , y una altura intermedia h_1 en el punto $h_1 = \sqrt{H/h_2}$. Una vez marcado el piezómetro, se destapa la entrada de aire del piezómetro y el agua comienza a pasar por el permeámetro, saliendo por la parte inferior de la jeringa. Mediante la ayuda de un cronómetro, se ha contabilizado el tiempo que tarda en descender el agua cada cm en el piezómetro. Para tener la seguridad de que el sistema ha alcanzado el estado estacionario, se comprueba que el tiempo que tarda el agua en descender de H a h_2 es el mismo que de h_2 a h_1 .

Con los datos registrados del tiempo que tarda en descender el agua cada cm y mediante un ajuste necesario para hacer que la altura del agua sea cero para tiempos muy largos, se ha realizado una gráfica en la que se representa el tiempo frente a la altura del agua en el piezómetro (Figura B.4). En la gráfica de la figura se ha añadido el ajuste a una función exponencial decreciente de la forma $y = \alpha e^{R_0 x}$, donde la altura se corresponde con la variable y y del ajuste y el tiempo con la variable x . El parámetro R_0 es el que nos va a permitir estimar la **conductividad hidráulica, K** .

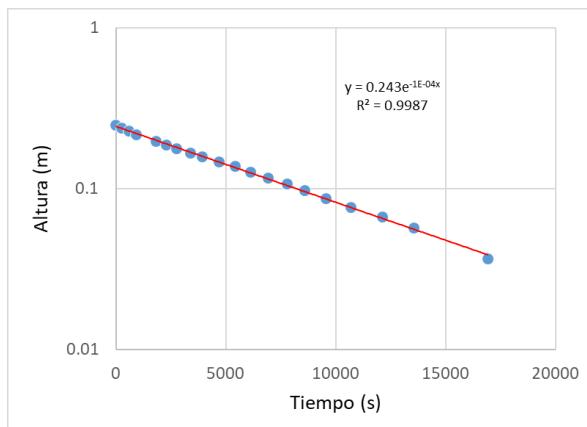


Figura B.4: gráfica exponencial que representa el tiempo frente a la altura del agua.

Esta se calcula mediante el área de la sección transversal de la jeringuilla (A) y del piezómetro (a), la longitud del sistema (L) y el parámetro de ajuste (R_0) de la siguiente forma:

$$K = \frac{R_0 a L}{A} \quad (B.4)$$

$$K = 2.91 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

- $R_0 = 1.07 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$
- $a = 8.55 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

- $L = 0.0175 \text{ m}$
- $A = 5.52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Para obtener la **permeabilidad (k)**, además del valor de conductividad hidráulica obtenido en la ecuación 9, se ha utilizado el valor de la densidad del agua, de la gravedad y de la viscosidad del agua:

$$k = \frac{K\mu_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}}g} \quad (B.5)$$

$$k = 2.65 \times 10^{-15} \text{ m}^2$$

- $K: 2.91 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$
- $\mu_{\text{agua}}: 8.9 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- $\rho_{\text{agua}}: 997.2 \text{ kg/m}^3$
- $g: 9.8 \text{ m/s}^2$

Finalmente, se ha podido calcular la **porosidad (ϕ)** del lodo junto con su densidad a partir del volumen total de la muestra (V_T), de la masa de la muestra seca al aire (M_s) y de la densidad del armazón sólido (ρ_s):

- Volumen total (V_T):

$$V_T = \pi R^2 L = 9.65 \times 10^{-6} \pm 4.58 \times 10^{-7} \text{ kg}$$

- Densidad aparente en seco (ρ_{aparente}):

$$\rho_{\text{aparente}} = \frac{M_s}{V_{\text{total}}} = \frac{9.91 \times 10^{-3}}{9.65 \times 10^{-6}} = 1026.7 \text{ kg/m}^3$$

- Porosidad (ϕ):

$$\phi = \frac{V_p}{V_T}$$

$$- V_p = V_T - V_s$$

$$- V_s = \frac{M_s}{\rho_s}$$

$$\phi = \left(V_T - \frac{M_s}{\rho_s} \right) / V_T = 1 - \frac{M_s}{\rho_s V_T}$$

$$\begin{aligned} \phi &= 1 - \frac{9.91 \times 10^{-5} \pm 10^{-3}}{(2720 \pm 40)} = 1 - \frac{9.91 \times 10^{-3} \pm 10^{-5}}{2.62 \times 10^{-2} \pm 16 \times 10^{-3}} = 1 - (0.378 \pm 0.023) \\ &= 0.622 \pm 0.023 \rightarrow 60\% < \phi < 64.5\% \end{aligned}$$

- Volumen de poros (V_p):

$$V_p = \phi V_T = 0.62 \times 9.65 \times 10^{-6} = 5.98 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

- Masa de agua ($M_{\text{H}_2\text{O}}$):

$$M_{H2O} = \rho_{H2O} V_p = 997.2 \times 5.95 \cdot 10^{-6} = 5.97 \times 10^{-3} \text{ kg}_{H2O}$$

- Masa total (M_T):

$$M_T = M_s + M_{H2O} = 9.91 \times 10^{-3} + 5.97 \times 10^{-3} = 0.0159 \text{ kg}$$

- Densidad lodo saturado (ρ_{sat}):

$$\rho_{sat} = \frac{M_T}{V_T} = \frac{0.0159}{9.65 \times 10^{-6}} = 1645 \text{ kg/m}^3$$

- Densidad total (ρ_T):

$$\rho_T = \frac{M_s}{V_T} + \phi \rho_{H2O} = \frac{9.91 \times 10^{-3} \pm 10^{-5}}{9.65 \times 10^{-6} \pm 4.58 \times 10^{-7}} + (0.622 \pm 0.023) \times (997.2 \pm 0.4)$$

$$= (1026.9 \pm 49.8) + (620.26 \pm 23.2) = 1647.2 \pm 73 \text{ kg/m}^3$$

B.3.4 Plasticidad

La plasticidad de los lodos de la balsa de lixiviados de Sardas se ha estimado con el método de Pfefferkorn (Pfefferkorn, 1924), más preciso y fiable que el método de la cuchara de Casagrande, aunque mucho más laborioso (Ginés et al., 1997). El método de Pfefferkorn define el índice de plasticidad como el contenido en humedad al cual una probeta de muestra con forma cilíndrica sufre una deformación axial del 70%.

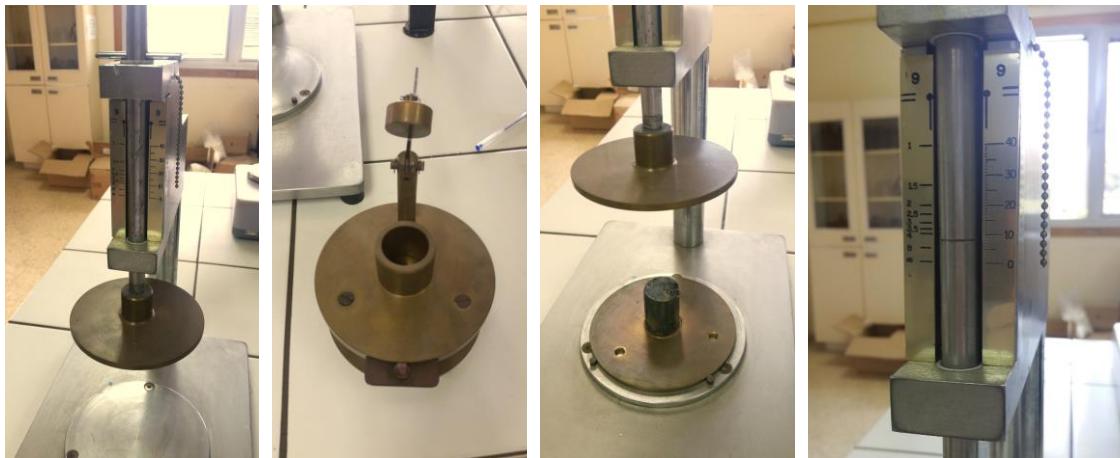


Figura B.5. Aparato de Pfefferkorn para la estimación de la plasticidad de un suelo. De izquierda a derecha: vista general del aparato; cilindro para moldear la probeta; aparato con la probeta moldeada y listo para dejar caer el disco sobre la muestra; escala de deformación usada en el test de Pfefferkorn (izquierda).

El ensayo de Pfefferkorn consiste en dejar caer un peso sobre una probeta cilíndrica de la muestra y medir la deformación axial resultante (Figura B.5). La probeta tiene una altura estándar de 40 mm y un diámetro de 33 mm y se moldea con ayuda de un cilindro metálico que es parte del aparato de Pfefferkorn. A continuación, se hace caer un disco metálico con una masa de 1.192 kg desde una altura estándar de 186 mm que producirá la deformación axial de la muestra (Querol, 1983; Andrade *et al.*, 2011). El experimento se repite al menos cuatro veces

usando submuestras con un contenido en humedad diferente. Por último, el índice de plasticidad de Pfefferkorn se calcula ajustando una recta a los puntos de las submuestras en un gráfico con el contenido en humedad en el eje horizontal y la deformación axial en el vertical, e interpolando el contenido de humedad necesario para alcanzar una deformación axial del 70%. La deformación en el aparato de Pfefferkorn se expresa como el cociente entre la altura inicial de la probeta H_0 y la altura final H (escala izquierda en la última fotografía de la Figura B.5). Esta deformación está relacionada con la deformación axial ε usada en Geología: $H_0/H = 1/(1 - \varepsilon)$, por lo que una deformación axial $\varepsilon = 0.7$ (70%) se corresponde con $H_0/H = 3.3$ en la escala de Pfefferkorn. El contenido en humedad que produce una deformación de 3.3 es el que define el índice de plasticidad de Pfefferkorn.

La Tabla B.1 muestra los valores de la longitud final de la probeta (H_f) en cada uno de los cinco ensayos. La deformación de Pfefferkorn, H_0/H_f (donde H_0 es la longitud inicial de la probeta), que también se muestra en la tabla, se ha calculado a partir de la longitud final de la probeta.

Tabla B.1: Deformación de las cinco submuestras de lodo. La longitud final de la muestra, H_f es lo que se ha medido durante el test; la deformación de Pfefferkorn se calcula luego a partir de su definición.

Submuestra	H_f (mm)	Def. de Pfefferkorn
1	17.5	2.28
2	16	2.5
3	17	2.35
4	7	5.7
5	8.5	4.7

Una vez terminado el test de Pfefferkorn se procede a estimar el contenido en humedad, $\%w$, de cada submuestra a partir del peso de la muestra húmeda, P_m , y el peso de la muestra tras un secado de 24 h a 110°C (P_s), $\%w = 100 \times \left(\frac{P_m - P_s}{P_m} \right)$. Los valores del porcentaje de humedad se muestran en la Tabla B.2.

Tabla B.2: Contenido en humedad (%w) de cada submuestra..

Submuestra	%w
1	27.96
2	28.55
3	28.57
4	32.04
5	31.51

Con el valor de la deformación y el contenido en humedad ya se puede construir la curva humedad-deformación y estimar el índice de plasticidad de Pfefferkorn.

B.3.5 Mineralogía

La composición mineralógica semicuantitativa de la muestra total y de los filosilicatos de los

lodos de Sardas se ha determinado mediante difracción de rayos X por el método del polvo cristalino. Para conocer la mineralogía de los filosilicatos se ha empleado la técnica de los agregados orientados. El análisis se ha llevado a cabo en una muestra de lodo sin tratar y en las muestras de lodos electrorremediadas más cercanas a ambos electrodos (ánodo y cátodo) de la capa A (la capa más superficial) de cada experimento de electrorremediación. Las determinaciones se han realizado con el difractómetro PW1729 del área de Cristalografía del Departamento de Ciencias de la Tierra, equipado con rendija automática, monocromador de grafito y radiación CuK α a 40 Kv y 20 nA.

Para la **técnica del polvo cristalino**, las muestras se han secado previamente en una mufla a 100°C durante 3 días y se han triturarlas con un mortero de ágata. A continuación, se ha homogeneizado y cuarteador cada muestra para separar aproximadamente 5 gramos. Esta cantidad de muestra se ha hecho pasar por un tamiz de malla de 53 μ . Una vez tamizadas, se volvieron a homogeneizar y se cuartearon para lograr conseguir un análisis representativo. Las muestras desorientadas en polvo se colocaron en un portamuestras metálico sellado por dos placas de vidrio. Una vez preparadas las muestras, se introducen en el difractómetro y se procesan mediante el *software* XPowderX. A partir de éstos difractogramas, se ha podido interpretar la composición mineralógica semicuantitativa de cada muestra, determinándose todos los minerales presentes, a excepción de los diferentes filosilicatos, que se han identificado con la técnica de los agregados orientados.

Para realizar el análisis de DRX de **agregados orientados** se han eliminado previamente los carbonatos de la muestra mediante lavados sucesivos con HCl 0.3 N, hasta el fin de la reacción. Tras el ataque, la muestra se ha lavado con agua destilada hasta eliminar los cloruros. También se ha procedido a oxidar la materia orgánica por tratamiento en caliente con H₂O₂ a 20 volúmenes, para después extraer las distintas fracciones por sedimentación (proceso que se rige por la ley de Stokes). La fracción inferior a 20 μ se obtuvo extrayendo los primeros 10 cm de la columna de agua, tras dejarla sedimentar durante aproximadamente 5 minutos. A partir de esta fracción, se separó la fracción menor de 2 μ por centrifugación a 3400 r.p.m. durante 3 minutos. Una vez centrifugada la muestra, se trajeron los 10 primeros cm de la columna de agua. Finalmente, se deposita sobre un portamuestras de vidrio una cantidad suficiente de muestra para cubrir toda la superficie del portamuestras. Para diferenciar entre filosilicatos expandibles y no expandibles una submuestra se deja secar al aire y otra se solvata con etilenglicol a 60°C durante 48 h (Mayayo, 2001).

Bibliografía del Anexo B

- Andrade, F.A., Al-Qureshi, H.A., Hotza, D. (2011). Measuring the plasticity of clays: A review. *Applied Clay Science*, 51: 1–7 págs.
- Ginés, F., Feliu, C., García-Ten, J. & Sanz, V. (1997): Análisis de los métodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 36(1): 25-30.
- Mayayo, M.J. (2001): *Mineralogía y geoquímica del yacimiento de sepiolita de Mara (Zaragoza)*. Tesis doctoral, Univ. de Zaragoza, 191 págs.
- Pfefferkorn, K. (1924). Ein Beitrag zur Bestimmung der Plastizität in Tonen und Kaolinen. *Sprechsaal* 57 (25), 297–299 págs.
- Querol, A.M. (1983): Aplicación del método de Pfefferkorn al control de la plasticidad en pastas de extrusión. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 22(2), 285-325 págs.
- Santos, A., Fernández, J., Guadano, J., Lorenzo, D., Romero, A. (2018). Chlorinated organic compounds in liquid wastes (DNAPL) from lindane production dumped in landfills in Sabiñánigo (Spain). *Environmental Pollution*, 242: 1616:1624.
- Zagal, E. y Sadzawka, A. (2007): *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos*. Univ. de Concepción de Chile. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y el Gobierno de Chile. 103 págs.

Anexo C Propiedades de los compuestos organoclorados

Las propiedades que se incluyen en la tabla son las siguientes:

- Nombre completo del compuesto
- Abreviatura
- Fórmula química
- Fórmula estructural
- Peso molecular (PM)
- Presión de vapor (P_v)
- Densidad (en el estado que es estable a 25 grados y 1 atm)
- Solubilidad (en mg/l)
- Constante de la ley de Henry, K_H (en Pa m⁻³mol⁻¹ a 25 grados)
- Constante adimensional de la ley de Henry, K_H' (a 25 grados)
- Coeficiente de reparto octanol-agua en forma de logaritmo, log K_{ow}
- Factor de bioconcentración, en forma de logaritmo, log BCF
- Coeficiente de reparto carbono orgánico-agua, en forma de logaritmo, log K_{oc}
- Constante de disociación ácida, pK_a

Los valores mostrados en la tabla han sido recopilados a partir de tres bases de datos online de propiedades físicas y químicas:

- PubChem: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>.
- ChemSpider: <http://www.chemspider.com>.
- Chemicalize: <https://pass.chemaxon.com>. Esta base de datos requiere de una cuenta personal para poder usarse.

En muchos casos, los valores proporcionados por cada base de datos eran diferentes, por lo que en la tabla hemos reflejado el rango de valores en vez de un solo valor. Para algunos compuestos no se ha podido localizar el valor de alguna propiedad en ninguna base de datos (ni en otras fuentes bibliográficas consultadas), por lo que la casilla correspondiente aparece en blanco en la tabla.

El valor de la presión de vapor de los heptaclorociclohexanos, en rojo en la tabla, se ha extrapolado a partir de la presión de vapor de otros hexacloros y pentacloros.

Nombre	Abreviatura	Fórmula	Estructura	PM	PV	Densidad	Solubilidad	K _H	K' _H	log K _{ow}	log BCF	log K _{oc}	pKa
				Pa	g/cm3	mg/L	Pa m3/mol st 25°C	0.0244					
Clorobenceno	CB	C ₆ H ₅ Cl		112.556	1410	1.11	200-508	277.2-460	6.76368	2.18-3.05	1.08-3.23	1.73-2.6	
1,3-Diclorobenceno	1,3-DCB	C ₆ H ₄ Cl ₂		146.998	222.65	1.28	110-133	267-472	6.5148	3.44-3.95	1.82-3.86	2.14-4.5	
1,4-Diclorobenceno	1,4-DCB	C ₆ H ₄ Cl ₂		146.998	166.6	1.24	30.9-175	240-438	5.856	3.37-3.85	1.7-5.6	2.43-5	
1,2-Diclorobenceno	1,2-DCB	C ₆ H ₄ Cl ₂		146.998	160	1.3	92.3-169	193-375	4.7092	3.19-3.71	1.6-4.46	2.04-4.6	
1,3,5-Triclorobenceno	1,3,5-TCB	C ₆ H ₃ Cl ₃		181.44	74.4	1.38	2.4-25.03	192	4.6848	4.02-4.44	2.88-4.67	2.85-5.1	
1,2,4-Triclorobenceno	1,2,4-TCB	C ₆ H ₃ Cl ₃		181.44	39.9	1.45	19.4-52	101-375.2	2.4644	3.93-4.26	2.26-4.9	2.8-4.8	
1,2,3-Triclorobenceno	1,2,3-TCB	C ₆ H ₃ Cl ₃		181.44	34.7	1.45	16.3-25.1	72-147	1.7568	3.96-4.27	2.9-4.9	2.73-4.1	
Fenol	FENOL	C ₆ H ₅ OH		94.113	47	1.07	84000	0.03-0.15	0.000732	1.46	1	2.26	10.02
2-Clorofenol	2-CFENOL	C ₆ H ₅ ClOH		128.555	215	1.25	11300-28000	1.1-2.3	0.02684	2.15	1.48	2.5	7.97
3-Clorofenol	3-CFENOL	C ₆ H ₅ ClOH		128.555	13	1.245	2600-26000			2.47-2.52		8.79	
4-Clorofenol	4-CFENOL	C ₆ H ₅ ClOH		128.555	8.6	1.3	3200-24000			2.39		8.96	
2,6-Diclorofenol	2,6-DCFENOL	C ₆ H ₄ Cl ₂ OH		162.997	3.7	1.5	1130-1900			2.61	1.92	2.4-2.9	6.48
2,4-Diclorofenol	2,4-DCFENOL	C ₆ H ₄ Cl ₂ OH		162.997	10.4	1.4	614-4500			3.17		7.44	
2,4,6-Triclorofenol	2,4,6-TCFENOL	C ₆ H ₃ Cl ₃ OH		197.439	0.485	1.5-1.7	800			3.58		5.99	
2,3,5,6-Tetraclorofenol	2,3,5,6-TetraCFENOL	C ₆ HCl ₄ OH		231.881	0.095	1.6	55-193			3-3.9		5.25	
2,3,4,6-Tetraclorofenol	2,3,4,6-TetraCFENOL	C ₆ HCl ₄ OH		231.881	0.075	1.8	18-23			4.45		5.49	
2,3,4,5-Tetraclorofenol	2,3,4,5-TetraCFENOL	C ₆ HCl ₄ OH		231.881	0.02		29					6.33	
Tetraclorobenceno-A	TetraCBs_A	C ₆ H ₂ Cl ₄		215.882	0.71	1.86	3.5-5.9	77	1.8788	4.23	3.1	3.77	
Tetraclorobenceno-B	TetraCBs_B	C ₆ H ₂ Cl ₄		215.882	0.71	1.86	3.5-5.9	77	1.8788	4.23	3.1	3.77	
Pentaclorofenol	PCFENOL	C ₆ Cl ₅ OH		266.323	0.0165	1.98	0.014	2.50E-02	0.00061	5.12			4.98
Pentaclorobenceno	PCB	C ₆ HCl ₅		250.324	0.826	1.83	0.18-3.46	71.9	1.75436	4.94-5.78	3.48-5.93	4.11-6.2	
Pentaclorociclohexano-a	PentaCXa	C ₆ H ₁₁ Cl ₅		256.372	0.8								
Pentaclorociclohexano-b	PentaCXb	C ₆ H ₁₁ Cl ₅		256.372	0.8	1.5	6.5-29	6-73		4.18-4.62	2.9	3.6	
Pentaclorociclohexano-c	PentaCXc	C ₆ H ₁₁ Cl ₅		256.372	0.8	1.5	6.5-29	6-73		4.18-4.62	2.9	3.6	
Pentaclorociclohexano-d	PentaCXd	C ₆ H ₁₁ Cl ₅		256.372	0.8	1.5	6.5-29	6-73		4.18-4.62	2.9	3.6	
Pentaclorociclohexano-e	PentaCXe	C ₆ H ₁₁ Cl ₅		256.372	0.8	1.5	6.5-29	6-73		4.18-4.62	2.9	3.6	
Hexaclorociclohexeno-a	HexaCXa	C ₆ H ₁₀ Cl ₆		288.798	2.56	1.7	1.26	95-380		4.7	3.38	3.96	
Hexaclorociclohexeno-b	HexaCXb	C ₆ H ₁₀ Cl ₆		288.798	2.56	1.7	1.26	95-380		4.7	3.38	3.96	
Hexaclorociclohexeno-c	HexaCXc	C ₆ H ₁₀ Cl ₆		288.798	2.56	1.7	1.26	95-380		4.7	3.38	3.96	
Hexaclorociclohexeno-d	HexaCXd	C ₆ H ₁₀ Cl ₆		288.798	2.56	1.7	1.26	95-380		4.7	3.38	3.96	
Heptaclorociclohexano-1	HeptaCH1	C ₆ H ₉ Cl ₇		325.256	0.005								
Heptaclorociclohexano-2	HeptaCH2	C ₆ H ₉ Cl ₇		325.256	0.005								
Heptaclorociclohexano-3	HeptaCH3	C ₆ H ₉ Cl ₇		325.256	0.005								
Hexaclorociclohexano- α	alpha-HCH	C ₆ H ₁₀ Cl ₆		290.814	6.00E-03	1.9	10	0.87	0.021228	3.8	1.3	3	
Hexaclorociclohexano- β	betaHCH	C ₆ H ₁₀ Cl ₆		290.814	4.80E-05	1.9	5	0.12	0.002928	3.8	2.7	3.57	
Hexaclorociclohexano- γ	gamma HCH	C ₆ H ₁₀ Cl ₆		290.814	5.60E-03	1.9	7.3	0.13	0.003172	3.65	1.3	3.57	
Hexaclorociclohexano- δ	delta-HCH	C ₆ H ₁₀ Cl ₆		290.814	4.70E-03		10	0.073	0.0017812	4.14	0.9	3.8	
Hexaclorociclohexano- ϵ	epsilon-HCH	C ₆ H ₁₀ Cl ₆		290.814	0.03585	1.6	0.24-10	0.5-4.8		3.72-4.14	2.7	3.46	

Bibliografía del Anexo C

Chemcalize (en línea). Calculate properties instantly, search chemical data, and draw molecules online (fecha de consulta: 20/11/2021). Disponible en: <https://chemicalize.com>. (se necesita crear una cuenta).

ChemSpider (en línea). Search and share chemistry, Royal Society of Chemistry, 2021 (fecha de consulta: 20/11/2021). Disponible en: <http://www.chemspider.com>

García-Sansegundo (en línea). Riglos, Sierra Exteriores, Prepirineos aragoneses (Zaragoza, España), 2010 (fecha de consulta: 14/07/2021). Disponible en: <http://j-g-sansegundo.over-blog.es/article-riglos-sierra-exteriores-prepirineos-aragoneses-zaragoza-espa-a-49557481.html>.

PubChem (en línea). National Library of Medicine, National Center for Biotechnology Information, 2004 (fecha de consulta: 26/11/2021). Disponible en: <https://pubchemdocs.ncbi.nlm.nih.gov/about>

Anexo D Tablas de datos

D.1 Plasticidad de Pfefferkorn

Tabla D.1: Datos de plasticidad de Pfefferkorn de diferentes arcillas y lodos (Schenider et al., 2012):

Tipo de material	Plasticidad (%w)	% arcilla	Mineralogía
Arcilla F	31	58	Qtz= 36.5%, Kln= 31%, III= 27% (Feld<2%)
Arcilla P	24.3	77.7	Qtz= 19.3%, Kln= 71%, III= 6.7%
Argilita R	24.5	32.5	Qtz=41%, Kln= 7.5%, III= 25% (Feld= 18%)
Argilita E	25	13	Qtz=41%, Kln= 13%, III<2% (Feld= 37%)
CC	23.5	28.4	50% GCC + 50% YCC
CFC	22.6	37	Qtz=41.1%, Kln=6.7%, III=24.2%, Smc=6.1%, Feld=9.9%.
A1	47.1	57.9	Qtz=35.9, Kln=57.9%
A2	37.9	63.5	Qtz=32.0, Kln=63.5%
A3	53	84.6	Qtz=13.0, Kln=84.6%
Clay 1	36		
Clay 2	29.5		
Clay 3	20		
Kaolin 1	41		
Kaolin 2	38		
KO1	39.3	95	Qtz=5%, Kln= 89%, III= 6%
MK2	36	92.5	Qtz=7.7%, Kln= 69.9%, III= 19.5%, Verm=3%
BOJ	39.1	93.4	Qtz=6.7%, Kln= 83%, III= 10.4%
U-III	40.2	88.6	Qtz=11.4%, Kln= 77.5%, III= 8.6%, Verm=2.5%
U-II	32.1	74.4	Qtz=25.7%, Kln= 57.4%, III= 4.8%, Verm=12.2%
CARO	38.6	73.5	Qtz=25.5%, Kln= 51.4%, III= 20.1%, Verm=2.0%
ESV3	36	84.6	Qtz=15.5%, Kln= 63.6%, III= 0%, Verm=21%
Ghaziabad-1	21		No hay información mineralógica. Arcillas con alto contenido en SiO ₂
Derabassi-1	23		
Derabassi-2	19		
Ludhiana-1	21		
Ludhiana-2	20		
Jalandhar-1	28		
Jalandhar-2	19		
AV1	15.7		Qtz= 55-83%, Kln= 3-12%, III= 7-20%
AV2	26.3		Qtz= 55-83%, Kln= 3-12%, III= 7-20%
AM1	23.5		Qtz= 55-83%, Kln= 3-12%, III= 7-20%
AM2	21.8		Qtz= 55-83%, Kln= 3-12%, III= 7-20%
TA1	19.5		Qtz= 55-83%, Kln= 3-12%, III= 7-20%
TA2	16.6		Qtz= 55-83%, Kln= 3-12%, III= 7-20%
Boom Clay	44.5	50	Qtz=35.2%, Kln=5%, III= 12%, Smc=33%, Feld=13.3%
Residual clay F	31	58	Qtz=36.6, Kln=31%, III=27%
Residual clay P	24.3	77.7	Qtz=19.3, Kln=71%, III=6.7%
Sedimentary clay R	24.5	32.5	Qtz=41, Kln=7.5%, III=25%, Feld=18%
Sedimentary clay E	25	13	Qtz=41, Kln=13%, III<2%, Feld=37%

D.2 Monitorización periódica de los experimentos de electrorremediación

Tabla D.2: Recopilación de datos medidos durante el tratamiento de electrorremediación en el experimento P20-am-100.

Fecha	Amperaje	P20-gm-100								V (mL)	
		Temperatura °C				pH					
		ánodo		cátodo		ánodo		cátodo			
11-3-21	2.01	16.6	16.3	16.3	16.1	5.81	6.64	10.2	12.41	86	
12-3-21	0.216	21.1	20.9	20.9	21.2	7.34	7.6	10.02	12.46	164	
13-3-21	0.195	20.8	20.9	20.4	20.1	6.24	8.15	11.49	13.56	112	
14-3-21	0.174	19.1	18.8	18.1	18.2	4.05	6.2	10.17	12.46	20	
15-3-21	0.175	19	19.3	18.4	17.9	6.71	6.57	12.43	12.78	20	
16-3-21	0.155	20	19.7	19.2	19.4	7.78	7.1	10.36	12.24	52	
17-3-21	0.146	21.2	21.3	20.2	19.9	7.16	8.03	12.98	13.26	6	
18-3-21	0.16	22.8	22	20.9	19.8					0	
19-3-21	0.125	19.2	18.7	17.4	17.3	6.74	9.58	10.78	12.36	10	
20-3-21	0.105	20	19.4	18.4	18.1	3.5	8.5	10.89	11.05	15	
21-3-21	0.074	14.4	14.2	13.3	12.8	3.93	8.32	8.63	11.52	13	
22-3-21	0.113	17.2	17	16.7	16.3	4.65	6.72	10.04	12.06	24	
23-3-21	0.084	20.4	19.6	19.3	19.1	2.95	5.62	11.98	11.52	2	
24-3-21	0.101	17.3	16.6	15.9	15.9	1.53	1.65	8.24	8.37	0	
25-3-21	0.129	22.4	21.6	21.4	21.1	0.94	3.98	6.67	8.04	0	

Tabla D.3: Recopilación de datos medidos durante el tratamiento de electrorremediación en el experimento P20-gm-100.

Fecha	Amperaje	P20-am-20								V (mL)	
		Temperatura °C				pH					
		ánodo		cátodo		ánodo		cátodo			
11-3-21	0.299	19.6	19.7	19.3	18.8	10.72	10.18	11.66	13.19	67	
12-3-21	0.268	23.7	24	23.5	22.2	12.59	12.98	12.99	13.32	183	
13-3-21	0.202	22	21.7	21.1	20	12.88	12.71	13.6	14.09	75	
14-3-21	0.177	19.8	19.5	19.5	18.5	13	12.7	12.9	13.57	20	
15-3-21	0.144	18.8	18.7	18.4	17.8	11.68	12.53	13.25	13.72	66	
16-3-21	0.126	19.3	19.2	19.1	19	11.29	11.25	12.88	13.45	20	
17-3-21	0.107	21.3	21.1	20.06	19	8.01	11.67	12.91	13.91	25	
18-3-21	0.099	21.3	21	20.7	20.1					13	
19-3-21	0.099	18.8	18.8	18.4	18.3	10.88	11.66	12.57	13.05	7	
20-3-21	0.096	17.3	18.7	18.9	17.9	8.48	9.58	11.7	12.08	38	
21-3-21	0.076	14.6	14.9	14.7	14.2	8.08	8.2	11.92	12.05	27	
22-3-21	0.077	17	16.4	16.5	16.6	8.36	7.95	10.94	12.85	20	
23-3-21	0.067	19	19	19	18.8	7.57	7.83	10.47	12.64	20	
24-3-21	0.063	16.9	16.9	16.4	16.2	5.99	6.06	8.34	10.95	20	
25-3-21	0.069	21.2	21.1	21	20.9	7.82	7.96	7.55	9.86	17	

Tabla D.4: Recopilación de datos medidos en el experimento sin electrorremediar P20.

P20									
Fecha	Temperatura ºC				pH				V (mL)
	ánodo		cátodo		ánodo		cátodo		
11-3-21	14	13.9	14	14.5	7.15	7.22	7.67	7.72	0
12-3-21	16.8	17	15.8	16.3	8.31	8.45	8.72	8.31	0
13-3-21	16.9	16.3	16.4	16.8	8.23	8.47	8.83	8.6	7
14-3-21	15.5	15	14.9	15.4	7.09	7.22	7.07	6.91	0
15-3-21	16	15.6	15.9	16	7.03	7.66	7.53	7.41	20
16-3-21	18	17.3	17.6	18.8	7.15	7.14	7.07	7.08	10
17-3-21	18	17.9	18.5	17.8	8	7.72	7.83	8.1	12
18-3-21									0
19-3-21	15.4	15.6	15.9	16.5	7.35	7.34	7.15	7.52	20
20-3-21	17.3	17.1	17.3	17.3	7.3	6.87	7.06	6.27	10
21-3-21	11.9	11.8	11.8	12	6.41	6.72	6.77	6.51	0
22-3-21	15.6	15.6	16	16.2	7.03	6.93	7.03	7.33	8
23-3-21	18.1	18	18.2	18	7.13	7.21	7.22	7.15	3
24-3-21	15.3	14.4	14.9	15.9	6.07	6.06	5.96	6.02	0
25-3-21	20	20.3	20	20.01	5.35	5.59	5.49	5.42	5

Tabla D.5: Recopilación de datos medidos durante el tratamiento de electrorremediación en el experimento G25-gm-200.

*Tabla D.6: Recopilación de datos medidos durante el tratamiento de electrorremediación en el experimento G18-gh-75. *: volumen extraído del ánodo durante el cambio de polaridad. **: volumen extraído del ánodo el día de finalización del experimento.*

G18-gh-75																
Fecha	Amperaje	Temperatura						pH						V extraído del cátodo (mL)	V restante (mL) del cátodo	Relleno ánodo (ml)
		ánodo			cátodo			ánodo			cátodo					
24-5-21	0.421	26.6	27	26.9	27.2	26.9	5.84	10.39	10.43	11.2	9.42	698		129.6	15	
26-5-21	0.22	24.5	24.4	24.5	24.4	23.9	3.55	9.89	10.6	11.78	12.17	90		137.4		
28-5-21	0.252	31.1	31.5	31.1	31.5	32.5	5.96	7.23	10.17	10.91	10.99	50	110*		104	
		Temperatura						pH								
		cátodo			ánodo			cátodo			ánodo					
1-6-21	0.006	23.9	23.7	23.6	23.6	23.6	10.49	7.94	8.82	9.03	6.79	65		166.9	160	
4-6-21	0.259	26.1	26	25.9	25.8	25.4	11.75	10.13	7.7	8.74	4.33	49		127.6	10	
7-6-21	0.256	21	21	21	21	20.8	11.46	8.84	8.11	8.3	6.01	20		147.3	30	
9-6-21	0.256	32.7	32.2	31.6	31.8	32.2	10.8	10.26	7.76	8.28	0.89	40		106.0	20	
11-6-21	0.204	28.8	28.8	28.6	28	27.9	12.5	10.51	7.56	8.71	1.36	93	45**			
14-6-21	0.161	23.8	23.8	29.4	29.2	28.9	12.39	9.93	9.31	8.19	1.06	84				
18-6-21	0.18	27.8	27.9	28.1	28	27.9	12.57	10.65	9.08	9.42	0.26	75				
Tras dejar secar 2 días																
21-6-21		18.9	18.8	19.1	19.2	19.7	10.93	9.85	9.08	9.1	6.46					

Nota: La recopilación de la extracción de líquido en el experimento G18-gh-75 difiere del resto de experimentos. Se extrae líquido del cátodo sin llegar a vaciarlo por completo y se añade disolución de sulfato de sodio en el ánodo. Tras 9 días de electrorremediación se ha procedido a cambiar la polaridad de los electrodos. El ánodo pasa a funcionar como cátodo y viceversa. El día en el que se realizó el cambio de polaridad, 28-5-21 (Tabla 28) se extrajo todo el líquido acumulado en ambos electrodos. Tras 9 días más de tratamiento de electrorremediación se finaliza el tratamiento, extrayendo de nuevo todo el líquido acumulado en ambos electrodos. La fuente de alimentación se apagó una semana después de la extracción del líquido. Tras apagar el campo eléctrico, se dejó secar el lodo de la celda electroquímica durante dos días.

D.3 Concentración en fase líquida de los compuestos organoclorados

TANDA 2:

Tabla D.7: Concentración en la fase líquida ($\mu\text{g/l}$) de los compuestos organoclorados analizados en el experimento G25-gm-100 de la Tanda 2.

	G25-gm-100					
	01-jun	04-jun	07-jun	09-jun	11-jun	14-jun
CB	138.65	94.67	412.16	363.88	37.14	18.29
1,3-DCB	5.31	2.93	53.59	30.09	6.02	13.73
1,4-DCB	39.25	22.00	317.16	322.75	35.51	48.32
1,2-DCB	80.36	44.33	380.95	401.23	40.71	49.75
1,3,5-TCB	0.18	0.00	3.94	3.28	0.65	3.11
1,2,4-TCB	107.07	15.99	429.33	639.05	249.85	2816.42
1,2,3-TCB	23.45	6.41	207.05	211.52	45.94	315.90
PCB	0.12	0.10	22.01	3.03	4.95	59.57
a-HCH	1.02	0.09	1.15	34.54	57.53	1163.03
b-HCH	76.86	72.12	84.63	99.51	69.44	220.48
g-HCH	0.65	0.00	1.30	75.29	49.97	2278.80
d-HCH	0.00	0.00	0.00	0.00	3.64	956.02
e-HCH	1.70	1.67	1.37	3.95	13.84	351.48

Tabla D.8: Concentración en la fase líquida ($\mu\text{g/l}$) de los compuestos organoclorados analizados en el experimento G25-gm-200 de la Tanda 2.

	G25-gm-200				
	01-jun	04-jun	07-jun	09-jun	11-jun
CB	263.06	140.68	40.65	48.72	12.17
1,3-DCB	31.86	11.92	6.56	5.15	1.69
1,4-DCB	355.56	100.94	73.55	56.45	20.21
1,2-DCB	367.22	109.69	79.83	55.01	17.64
1,3,5-TCB	3.26	0.77	0.37	1.38	0.46
1,2,4-TCB	806.71	159.83	48.85	129.54	40.92
1,2,3-TCB	173.99	40.56	15.87	37.08	12.37
PCB	2.25	0.52	0.28	27.86	
a-HCH	56.91	9.68	145.52	751.81	9.05
b-HCH	116.25	91.61	91.90	147.35	21.37
g-HCH	89.39	7.24	358.50	2398.83	30.87
d-HCH	<0,02	<0,02	209.00	2056.49	53.39
e-HCH	8.38	2.44	91.84	649.35	14.52

Tabla D.9: Concentración en la fase líquida ($\mu\text{g/l}$) de los compuestos organoclorados analizados en el experimento G18-gh-75 de la Tanda 2.

	G18-gh-75							
	01-jun	04-jun	07-jun	09-jun	11-jun nuevo cátodo	11-jun nuevo ánodo	14-jun	17-jun
CB	28.32	51.80	66.36	42.46	59.25	53.04	38.29	204.67
1,3-DCB	1.34	1.15	3.40	1.19	3.57	2.62	1.18	15.34
1,4-DCB	6.90	8.33	25.44	6.25	38.23	42.70	6.96	124.03
1,2-DCB	14.27	17.39	34.05	13.09	22.37	23.96	12.77	142.58
1,3,5-TCB	0.12	<0,1	0.31	<0,1	0.34	0.13	<0,1	2.02
1,2,4-TCB	12.07	11.30	32.92	13.80	39.00	14.15	15.90	237.57
1,2,3-TCB	3.08	2.58	9.30	2.04	8.07	7.06	2.49	64.69
PCB	0.53	0.14	0.65	0.11	0.65	0.9	0.10	2.61
a-HCH	0.06	0.02	0.02	0.05	0.16	56.67	0.08	0.11
b-HCH	19.45	19.31	21.52	23.96	31.84	37.82	44.84	70.05
g-HCH	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	148.60	<0,02	<0,02
d-HCH	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	167.20	<0,02	<0,02
e-HCH	0.70	0.43	0.27	0.42	3.82	68.06	0.74	0.76

TANDA 1:

Tabla 10: Concentración en la fase líquida ($\mu\text{g/l}$) de los compuestos organoclorados analizados en el experimento no electrorremediado P20 en los días en los que se ha podido extraer líquido.

	P20							
	13-mar	15-mar	16-mar	17-mar	19-mar	20-mar	22-mar	25-mar
CB	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
1,3-DCB	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
1,4-DCB	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	91.64
1,2-DCB	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
1,3,5-TCB	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
1,2,4-TCB	<79,2	273.27	247.77	210.50	322.58	279.06	288.67	<79,2
1,2,3-TCB	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
Fenol	83.80	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	110.97	---
2-Clorofenol	191.18	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	---
3-Clorofenol	891.43	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	---
4-Clorofenol	143.21	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	---
2,6-Diclorofenol	15.06	4.83	4.75	4.59	5.88	4.95	4.62	---
2,4-Diclorofenol	324.83	80.68	58.07	37.44	117.08	33.69	27.96	---
2,4,6-Triclorofenol	269.98	300.62	357.99	291.54	331.76	358.36	306.14	---
2,3,5,6-Tetraclorofenol	9.53	9.54	9.75	9.50	9.65	9.59	9.41	---
2,3,4,6-Tetraclorofenol	31.03	29.73	35.37	25.61	26.64	28.78	21.23	---
2,3,4,5-Tetraclorofenol	15.49	21.39	28.32	17.71	21.25	23.27	18.11	---
TetraCBs_A	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	128.02
TetraCBs_B	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	156.86
Pentaclorofenol	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	---
PCB	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
PentaCXa	<79,2	141.93	147.71	115.50	124.64	134.87	104.83	121.30
PentaCXb	182.84	222.28	230.21	179.44	265.34	243.06	224.78	327.86
PentaCXc	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
PentaCXd	<79,2	117.88	93.46	85.73	114.33	121.52	95.38	178.52
PentaCXe	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HexaCXa	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HexaCXb	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HexaCXc	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HexaCXd	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HeptaCH1	<79,2	558.17	765.31	497.11	470.56	789.27	562.98	1506.13
HeptaCH2	<79,2	352.20	573.64	267.26	296.39	397.56	278.07	644.14
HeptaCH3	154.51	450.38	615.69	424.56	458.47	582.94	504.20	783.64
a-HCH	382.62	1133.45	1124.51	987.61	1183.30	1335.44	1108.91	2017.88
b-HCH	<79,2	89.41	100.13	86.17	100.07	106.63	98.22	131.26
g-HCH	2179.69	3807.35	4224.65	3214.58	4219.02	4652.74	4098.20	7062.78
d-HCH	4776.03	5809.83	6847.65	5439.78	6579.12	7004.70	6548.29	8932.82
e-HCH	1644.73	1936.17	2139.66	1966.43	2215.53	2327.19	2253.14	2698.35

Tabla 11: Concentración en la fase líquida ($\mu\text{g/l}$) de los compuestos organoclorados analizados en el experimento P20-gm-100 para los días en los que se han extraído líquido.

	P20-gm-100												
	11-mar	12-mar	13-mar	14-mar	15-mar	16-mar	17-mar	19-mar	20-mar	21-mar	22-mar	23-mar	
CB	502.95	402.47	371.88	710.22	229.01	401.63	<79,2	474.15	253.77	678.91	865.70	<79,2	
1,3-DCB	174.02	<79,2	<79,2	360.06	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	
1,4-DCB	650.98	174.30	151.46	1228.39	163.52	157.60	137.38	445.30	280.92	472.15	512.86	105.45	
1,2-DCB	210.53	187.71	167.33	493.60	198.51	161.12	172.84	518.30	323.06	511.97	600.29	135.60	
1,3,5-TCB	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	
1,2,4-TCB	<79,18	<79,2	<79,2	147.57	122.03	<79,2	161.71	386.84	207.77	270.97	389.82	89.13	
1,2,3-TCB	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	213.98	101.53	155.08	197.96	<79,2	
Fenol	75.47	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	280.83	341.35	338.75	290.33	520.44	385.87	---	
2-Clorofenol	17.28	<0,1	<0,1	<0,1	27.92	48.48	113.52	108.53	69.29	137.92	90.18	---	
3-Clorofenol	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	136.62	905.13	536.33	764.25	486.46	939.65	674.38	---	
4-Clorofenol	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	119.21	107.05	179.02	106.38	234.60	152.78	---	
2,6-Diclorofenol	11.25	4.94	4.58	6.47	19.75	10.82	16.62	22.85	10.04	20.80	16.78	---	
2,4-Diclorofenol	26.50	18.13	13.74	20.15	143.51	138.82	188.28	228.82	71.29	308.68	175.05	---	
2,4,6-Triclorofenol	<0,1	3.83	6.88	4.47	177.60	251.54	127.07	263.74	133.97	687.33	270.37	---	
2,3,5,6-Tetraclorofenol	8.31	8.58	8.31	8.68	11.67	12.57	9.30	9.43	8.67	10.18	9.45	---	
2,3,4,6-Tetraclorofenol	0.96	1.63	1.97	1.57	55.94	82.99	34.99	51.43	16.84	71.80	46.10	---	
2,3,4,5-Tetraclorofenol	27.53	20.27	19.82	16.18	39.10	47.79	76.31	54.04	13.38	10.78	34.47	---	
TetraCBs_A	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	102.45	207.27	114.63	123.89	205.28	<79,2	
TetraCBs_B	<79,18	<79,2	<79,2	91.02	147.45	<79,2	127.82	239.44	141.15	128.33	290.40	<79,2	
Pentaclorofenol	371.23	231.07	91.30	39.10	207.61	2.25	167.73	123.85	37.83	<0,1	107.28	---	
PCB	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	
PentaCXa	395.90	82.88	<79,2	155.14	233.09	86.11	223.07	454.79	151.96	209.14	498.55	<79,2	
PentaCXb	147.99	185.65	143.31	140.32	398.72	151.31	331.94	789.19	212.87	185.43	766.67	<79,2	
PentaCXc	<79,18	136.26	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	
PentaCXd	<79,18	87.91	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	
PentaCXe	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	
HexaCXa	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	142.42	<79,2	<79,2	101.92	<79,2	<79,2	212.32	<79,2	
HexaCXb	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	
HexaCXc	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	93.82	<79,2	138.36	88.14	<79,2	<79,2	109.67	<79,2	
HexaCXd	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	
HeptaCH1	167.37	269.20	390.21	107.93	314.25	585.62	759.76	352.06	115.03	<79,2	363.41	<79,2	
HeptaCH2	134.49	241.81	397.68	87.29	248.59	438.42	541.86	274.28	100.63	<79,2	329.38	<79,2	
HeptaCH3	195.50	329.82	392.15	81.04	229.63	383.26	359.58	197.14	<79,2	<79,2	238.80	<79,2	
a-HCH	812.73	1014.54	968.44	657.23	1294.56	1012.96	1196.91	1346.23	771.11	702.10	1550.02	565.88	
b-HCH	83.19	94.74	83.52	<79,2	87.79	86.23	105.04	122.40	82.60	107.37	144.29	133.40	
g-HCH	3,218.60	4087.87	3909.30	2190.92	4275.37	3778.99	4125.75	4089.34	2260.59	1865.99	4626.04	2904.60	
d-HCH	5,079.62	5684.54	4141.64	1501.51	3295.69	3842.43	2845.48	2146.64	1124.01	234.42	2504.24	459.39	
e-HCH	1,399.73	1564.27	1169.29	583.21	984.80	1014.11	924.35	831.45	540.42	359.34	888.54	583.08	

Tabla 12: Concentración en la fase líquida ($\mu\text{g/l}$) de los compuestos organoclorados analizados en el experimento P20-am-100 para los días en los que se han extraído líquido.

	P20-am-100														
	11-mar	12-mar	13-mar	14-mar	15-mar	16-mar	17-mar	18-mar	19-mar	20-mar	21-mar	22-mar	23-mar	24-mar	25-mar
CB	<79,18	<79,2	373.23	462.35	274.62	377.46	660.14	723.13	<79,2	337.76	742.79	1171.57	788.22	423.14	460.22
1,3-DCB	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	116.62	120.85	<79,2	<79,2	93.38	207.73	83.03	<79,2	<79,2	
1,4-DCB	<79,18	<79,2	<79,2	279.07	160.36	276.82	500.49	602.28	166.70	192.84	404.38	1030.86	464.24	323.33	402.71
1,2-DCB	131.13	142.54	160.06	472.71	279.31	463.26	889.07	903.39	285.52	364.59	823.49	1421.96	714.72	538.10	593.33
1,3,5-TCB	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
1,2,4-TCB	266.19	90.95	<79,2	346.18	371.11	862.78	2178.93	1794.55	554.38	478.61	1407.00	1714.18	689.74	566.53	604.92
1,2,3-TCB	<79,18	<79,2	<79,2	147.03	111.08	272.14	551.07	480.76	192.71	126.87	391.11	550.86	313.12	272.88	292.35
Fenol	305.25	378.57	661.57	445.07	569.26	601.46	662.09	765.82	1041.03	429.03	423.19	409.97	598.14	543.02	604.77
2-Clorofenol	258.44	248.15	274.18	132.33	182.76	251.60	287.01	378.37	379.04	186.37	205.46	208.15	212.63	338.30	309.98
3-Clorofenol	1528.60	1591.61	2332.74	1128.32	1748.04	1844.43	1532.25	2357.57	1721.24	928.05	1022.77	948.18	799.53	768.67	634.77
4-Clorofenol	292.51	371.99	473.67	284.75	396.74	440.15	385.93	487.50	472.15	190.79	273.90	229.46	216.77	178.50	158.52
2,6-Diclorofenol	57.68	35.80	36.69	22.42	32.25	38.20	35.75	43.33	37.98	22.76	30.87	34.11	27.42	30.80	23.95
2,4-Diclorofenol	1552.99	1591.36	1277.03	366.80	699.43	779.20	761.81	995.20	601.95	384.70	431.97	530.61	311.89	420.04	252.88
2,4,6-Triclorofenol	475.67	820.82	1522.85	1163.97	1899.21	2488.01	1551.85	1532.29	702.51	890.28	781.28	916.25	623.93	656.61	415.74
2,3,5,6-Tetraclorofenol	9.99	10.62	10.55	9.51	10.76	11.61	10.34	10.64	9.47	9.55	9.77	9.75	9.33	9.60	1.51
2,3,4,6-Tetraclorofenol	52.89	117.00	140.27	99.15	166.78	201.94	140.33	112.37	47.18	93.39	79.85	87.61	63.06	70.73	49.41
2,3,4,5-Tetraclorofenol	23.82	36.74	28.45	11.03	18.16	18.10	14.66	15.77	11.50	11.66	11.00	12.30	10.34	15.27	9.44
TetraCBs_A	<79,18	<79,2	<79,2	96.37	<79,2	262.94	309.52	320.76	472.31	86.75	311.18	310.60	235.15	270.90	260.50
TetraCBs_B	<79,18	<79,2	<79,2	103.28	88.66	281.55	322.82	319.04	504.26	85.33	295.02	308.75	247.82	285.43	268.88
Pentaclorofenol	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
PCB	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
PentaCXa	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	114.55	276.42	846.89	345.24	719.12	115.24	629.75	562.30	325.31
PentaCXb	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	732.89	101.17	227.83	<79,2	420.18	609.55	288.03
PentaCXc	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
PentaCXd	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
PentaCXe	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HexaCXa	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HexaCXb	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HexaCXc	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HexaCXd	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HeptaCH1	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HeptaCH2	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
HeptaCH3	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2
a-HCH	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	894.92	96.85	187.70	<79,2	628.71	1366.3
b-HCH	104.69	133.42	156.93	101.87	154.90	143.23	163.35	164.00	182.69	182.94	165.04	137.08	147.95	197.10	124.66
g-HCH	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	209.23	3294.40	218.20	658.50	<79,2	1924.48	3153.87
d-HCH	<79,18	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	232.93	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	163.05	<79,2
e-HCH	198.05	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	<79,2	362.78	90.57	<79,2	<79,2	215.04	398.98	220.92

D.4 Concentración en fase sólida (lodos) y gaseosa (carbón activo) de los compuestos organoclorados

Tabla 13: Concentración (mg/kg) de cada compuesto (en amarillo claro o los 14 primeros corresponden a compuestos volátiles, los 5 siguientes compuestos en color amarillo intermedio son semivolátiles y los 19 últimos compuestos en amarillo más oscuro corresponden a compuestos no volátiles) analizados mediante cromatografía de gases en cada rodaja extraída de la capa superior A y la capa inferior B y en los dos tramos (inferior y superior) del depósito de carbón activo del experimento P20-am-100

P20-am-100	Concentración (mg/kg) de los compuestos organoclorados														Depósitos de Carbón		
	Inicial							CAPA A				CAPA B				Cátodo	
	Fe1-0	Fe1-A3*	Fe1-A4	Fe1-A5	Fe1-A6	Fe1-A7	Fe1-B1	Fe1-B2	Fe1-B3	Fe1-B4	Fe1-B5	Fe1-B6	Fe1-B7	CA-inf	CA-sup		
CB	85.832	102.890	119.635	152.796	118.390	90.322	60.626	90.403	67.996	70.717	108.240	153.364	64.719	11.666	1.960		
1,3-DCB	31.322	31.742	47.322	41.020	56.020	55.054	21.178	27.519	22.109	18.057	26.401	45.851	27.598	<0,342	0.162		
1,4-DCB	204.268	206.296	271.104	259.810	305.868	254.954	150.778	187.384	131.181	116.193	191.751	304.428	151.584	1.175	<0,162		
1,2-DCB	143.872	146.779	240.915	193.441	227.187	237.144	100.673	111.035	78.829	74.687	132.711	211.440	124.778	0.996	0.312		
1,3,5-TCB	17.064	14.767	21.270	20.145	26.574	38.302	11.314	14.174	15.101	10.690	13.869	18.809	13.120	<0,342	<0,162		
1,2,4-TCB	10.163	595.391	1023.347	746.314	899.471	1329.994	398.903	451.673	322.472	275.261	416.545	701.124	531.830	0.425	<0,162		
1,2,3-TCB	127.399	149.104	332.771	295.634	258.466	373.038	74.848	83.049	67.035	64.243	159.096	205.535	163.418	<0,342	<0,162		
FENOL	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	<0,0002	
2-CFENOL	0.987	3.776	3.386	2.430	2.960	<0,0003	1.603	1.867	1.877	1.916	2.067	2.825	1.848	<0,0004	<0,0002		
3-CFENOL	0.822	11.637	10.104	10.034	8.387	5.542	3.797	4.164	4.134	4.390	9.267	6.181	5.107	<0,0004	<0,0002		
4-CFENOL	0.903	2.353	1.227	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0002	0.669	0.761	<0,0002	1.387	<0,0002	0.954	<0,0004	<0,0002		
2,6-DCFENOL	0.471	1.800	1.938	2.348	2.116	2.902	1.231	1.226	0.896	0.917	0.948	1.731	1.126	0.353	0.157		
2,4-DCFENOL	2.143	9.703	10.253	11.031	11.306	13.659	5.868	6.035	5.212	5.728	6.279	8.291	6.631	0.455	0.229		
2,4,6-TCFENOL	0.304	1.829	1.084	4.305	3.676	5.523	2.015	2.126	2.270	3.701	2.170	3.130	2.813	0.108	0.049		
2,3,5,6-TetraCFENOL	0.107	0.091	0.147	0.185	0.131	0.134	0.072	0.060	0.072	0.068	0.073	0.065	0.006	<0,0004	<0,0002		
2,3,4,6-TetraCFENOL	0.018	0.583	0.391	1.062	1.068	1.357	0.448	0.471	0.623	0.632	0.543	0.606	0.327	<0,0004	<0,0002		
2,3,4,5-TetraCFENOL	1.215	3.544	4.384	3.848	0.643	0.694	1.208	1.345	1.610	1.956	2.524	<0,0002	0.336	<0,0004	<0,0002		
TetraCBs A	357.142	373.470	589.729	489.842	470.536	773.301	205.584	225.289	176.015	136.848	254.438	335.629	343.990	0.734	<0,162		
TetraCBs B	586.337	584.768	790.521	666.776	600.890	973.445	345.801	371.773	270.788	227.590	375.142	431.790	459.988	0.669	<0,162		
PCFENOL	3.535	14.665	6.302	9.083	<0,0003	<0,0003	18.955	14.323	13.380	11.442	7.404	<0,0002	<0,0002	<0,0004	<0,0002		
PCB	55.831	52.599	53.872	51.899	52.641	53.864	37.106	34.762	28.259	21.860	38.720	35.449	28.055	<0,342	<0,162		
PentaCXa	8.602	10.912	30.163	21.658	25.241	1.128	2.900	3.790	2.510	1.618	3.416	2.559	71.491	<0,342	<0,162		
PentaCXb	9.581	13.343	30.366	33.185	10.739	3.321	10.107	9.301	4.452	5.022	8.051	0.714	12.172	<0,342	<0,162		
PentaCXc	3.952	2.575	1.647	<0,250	<0,267	1.767	7.406	5.249	2.515	1.992	0.933	<0,123	0.417	<0,342	<0,162		
PentaCXd	4.974	3.855	3.954	6.089	<0,267	0.415	6.286	5.497	2.507	2.499	2.070	<0,123	2.037	<0,342	<0,162		
PentaCXe	1.277	1.175	1.487	<0,250	<0,267	<0,278	0.794	0.615	<0,178	<0,144	<0,127	<0,123	0.214	<0,342	<0,162		
HexaCXa	3.218	5.406	12.281	6.333	<0,267	0.618	0.669	0.956	0.699	0.574	0.829	0.743	0.254	<0,342	<0,162		
HexaCXb	1.160	1.043	0.954	<0,250	<0,267	1.643	<0,128	0.911	0.902	<0,144	0.323	0.249	0.323	<0,342	<0,162		
HexaCXc	3.761	10.793	9.402	<0,250	<0,267	0.565	1.616	3.196	3.411	2.899	0.637	0.366	0.383	<0,342	<0,162		
HexaCXd	0.312	<0,175	0.211	<0,250	<0,267	1.820	<0,128	<0,139	<0,178	0.144	<0,127	<0,123	1.103	<0,342	<0,162		
HeptaCH1	107.308	63.121	20.369	<0,250	<0,267	<0,278	51.903	46.909	28.385	15.029	1.801	0.436	<0,137	<0,342	<0,162		
HeptaCH2	44.394	31.415	20.357	3.022	<0,267	<0,278	20.851	18.426	10.049	6.898	2.396	<0,123	<0,137	<0,342	<0,162		
HeptaCH3	35.796	19.318	10.145	3.462	2.018	0.489	19.125	16.381	9.820	7.870	4.676	<0,123	<0,137	<0,342	<0,162		
alpha-HCH	1682.216	800.910	715.610	543.713	58.934	0.687	480.521	563.988	365.305	282.952	331.858	4.338	17.344	<0,342	<0,162		
betaHCH	163.986	58.609	57.253	44.853	29.362	31.557	24.996	33.192	25.170	17.028	25.851	26.989	21.239	<0,342	<0,162		
gamma HCH	1782.587	1181.010	1347.184	1024.823	256.851	0.670	938.501	1002.709	575.257	528.842	679.118	19.554	80.137	<0,342	<0,162		
delta-HCH	852.443	623.690	310.542	183.084	<0,267	0.526	603.547	542.803	391.238	308.297	186.123	<0,123	0.451	<0,342	<0,162		
epsilon-HCH	23.011	18.889	15.684	14.152	4.870	1.356	16.120	14.026	10.419	9.098	10.238	0.798	10.427	<0,342	<0,162		

Tabla 14: Concentración (mg/kg) de cada compuesto (en amarillo claro o los 14 primeros corresponden a compuestos volátiles, los 5 siguientes compuestos en color amarillo intermedio son semivolátiles y los 19 últimos compuestos en amarillo más oscuro corresponden a compuestos no volátiles) analizados mediante cromatografía de gases en cada rodaja extraída de la capa superior A y la capa inferior B y en los dos tramos (inferior y superior) del depósito de carbón activo del experimento P20-gm-100

P20-gm-100	CAPA A												CAPA B					Depósitos de Carbón	
	Inicial						Cátodo			Ánodo			Cátodo			Cád.			
	C1-0	C1-A1	C1-A2	C1-A3	C1-A4	C1-A5	C1-A6	C1-A7	C1-B1	C1-B2	C1-B3	C1-B4	C1-B5	C1-B6	C1-B7	CA-C1	CA-C2		
CB	64.620	16.614	20.713	34.461	23.782	13.257	27.868	19.242	31.455	48.494	30.254	65.654	58.460	46.079	68.928	3.385	2.041		
1,3-DCB	27.068	12.898	10.249	23.031	11.971	8.031	10.880	10.826	15.779	33.397	37.006	34.891	26.833	23.275	37.814	0.251	0.214		
1,4-DCB	197.496	58.806	65.753	123.437	81.856	58.495	98.712	80.113	110.180	331.687	203.066	203.164	171.774	139.716	240.333	<0,251	<0,214		
1,2-DCB	129.236	41.289	52.567	114.124	70.799	43.125	76.225	58.807	78.777	233.692	162.656	174.176	140.865	138.064	204.534	<0,251	0.381		
1,3,5-TCB	13.505	12.596	5.942	15.771	5.491	3.654	5.276	4.601	12.000	16.309	20.518	19.933	16.191	19.631	38.901	<0,251	<0,214		
1,2,4-TCB	426.591	228.96	202.910	460.508	245.947	149.267	229.376	192.410	367.905	847.865	802.616	849.860	648.938	824.901	1258.100	<0,251	<0,214		
1,2,3-TCB	63.985	44.019	76.894	114.614	74.842	65.122	95.696	82.791	87.335	320.898	194.012	245.734	189.708	206.614	331.036	<0,251	<0,214		
FENOL	< 0,0002	<0,0005	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0005	<0,0004	<0,0002	<0,0004	<0,0003	<0,0003		
2-CFENOL	1.418	4.129	2.615	2.611	4.509	3.044	3.227	2.182	5.990	2.845	2.595	8.815	7.344	3.148	<0,0004	<0,0003	<0,0003		
3-CFENOL	0.740	7.679	4.087	5.256	3.836	3.679	4.567	4.153	14.061	15.007	8.261	7.406	9.490	13.334	8.802	<0,0003	<0,0003		
4-CFENOL	< 0,0002	1.762	1.675	3.890	2.468	1.695	2.063	2.184	2.427	2.299	1.493	5.686	4.437	3.835	<0,0004	<0,0003	<0,0003		
2,6-DCFENOL	0.465	1.697	0.768	1.246	0.898	0.999	0.898	0.876	1.794	1.277	1.194	2.422	1.915	1.525	2.187	0.257	0.209		
2,4-DCFENOL	1.904	9.361	4.252	7.451	5.331	4.581	4.594	4.262	9.325	8.848	6.736	11.436	9.904	10.642	11.723	0.316	0.268		
2,4,6-TCFENOL	0.239	6.855	1.384	2.513	2.826	1.509	1.931	1.547	6.593	3.434	2.918	5.357	5.419	4.500	4.983	0.079	0.064		
2,3,5,6-TetraCFENOL	0.111	0.240	0.075	<0,0002	0.089	0.088	0.087	0.075	0.141	0.126	0.096	0.194	0.160	0.094	0.113	<0,0003	<0,0003		
2,3,4,6-TetraCFENOL	0.019	2.248	0.675	0.820	0.784	0.822	0.671	0.644	1.415	0.737	0.765	1.530	0.762	0.897	1.270	<0,0003	<0,0003		
2,3,4,5-TetraCFENOL	0.913	5.664	8.222	0.625	0.445	0.969	1.223	0.460	11.136	4.002	0.421	0.871	0.848	0.469	0.786	<0,0003	<0,0003		
TetraCBs_A	279.533	188.789	140.544	240.394	219.751	176.168	190.115	188.535	213.864	701.685	445.117	654.271	532.882	551.530	777.315	<0,251	<0,214		
TetraCBs_B	346.225	324.304	234.606	359.355	270.396	213.781	266.627	214.535	359.893	887.424	582.780	687.934	586.426	664.969	780.204	<0,251	<0,214		
PCFENOL	3.585	23.046	10.727	2.151	<0,0002	1.638	4.832	0.434	20.921	11.996	0.467	<0,0005	<0,0004	<0,0002	<0,0004	<0,0003	<0,0003		
PCB	38.418	52.565	28.811	29.004	22.806	21.532	27.283	18.757	49.470	72.263	56.771	56.136	47.787	37.683	58.146	<0,251	<0,214		
PentaCXa	59.514	6.729	6.199	12.915	52.533	15.821	9.438	20.399	9.690	37.205	29.800	194.983	127.363	111.649	38.733	<0,251	<0,214		
PentaCXb	37.411	6.317	7.386	12.278	31.651	16.952	14.034	25.176	9.064	56.335	15.933	62.581	75.027	19.460	6.163	<0,251	<0,214		
PentaCXc	22.006	<0,429	0.790	1.261	0.642	1.154	0.779	0.987	2.254	0.954	2.392	1.076	1.639	0.605	0.813	<0,251	<0,214		
PentaCXd	30.778	1.985	2.118	0.825	6.567	8.740	2.442	8.886	3.883	6.029	1.779	12.537	16.373	1.426	0.724	<0,251	<0,214		
PentaCXe	10.234	<0,429	<0,164	<0,193	<0,178	<0,210	<0,158	<0,177	3.558	0.900	<0,169	0.468	0.467	0.238	0.384	<0,251	<0,214		
HexaCXa	20.878	4.623	5.038	<0,193	1.678	6.565	1.023	4.335	5.990	12.388	1.221	1.403	2.151	0.401	0.953	<0,251	<0,214		
HexaCXb	7.956	1.540	0.907	<0,193	0.313	0.361	<0,158	0.176	2.406	0.611	0.626	<0,363	0.706	0.419	1.035	<0,251	<0,214		
HexaCXc	57.358	4.289	8.247	<0,193	0.495	1.985	<0,158	0.489	15.058	0.976	0.659	0.879	0.391	0.467	0.764	<0,251	<0,214		
HexaCXd	1.506	<0,429	<0,164	<0,193	0.332	0.926	<0,158	0.829	<0,351	<0,161	<0,169	2.402	0.362	1.215	0.978	<0,251	<0,214		
HeptaCH1	589.598	80.050	17.648	<0,193	0.253	3.156	<0,158	0.255	58.948	1.476	1.466	<0,363	<0,349	<0,188	<0,350	<0,251	<0,214		
HeptaCH2	251.719	37.073	14.165	<0,193	0.624	7.201	<0,158	2.313	31.456	5.680	<0,169	<0,363	0.463	<0,188	<0,350	<0,251	<0,214		
HeptaCH3	145.234	19.790	9.275	<0,193	1.180	7.317	0.710	4.079	18.796	5.024	3.183	<0,363	1.370	0.310	<0,350	<0,251	<0,214		
alpha-HCH	413.050	898.894	329.611	61.563	66.018	134.813	227.036	102.179	523.902	594.781	88.260	104.573	142.039	9.692	0.629	<0,251	<0,214		
betaHCH	25.733	89.241	23.078	24.938	16.995	17.180	17.995	15.346	46.627	43.122	37.080	37.161	34.351	27.429	33.187	<0,251	<0,214		
gamma HCH	778.772	830.588	872.519	194.417	177.111	213.281	514.452	205.748	1010.187	1440.278	316.717	304.073	308.929	73.982	9.414	<0,251	<0,214		
delta-HCH	558.579	565.142	304.403	11.089	12.901	42.082	64.861	34.964	553.946	334.170	5.942	3.911	19.844	1.251	<0,350	<0,251	<0,214		
epsilon-HCH	83.509	17.478	10.330	6.090	17.791	17.541	6.030	18.317	14.536	19.512	5.863	31.643	36.426	14.497	5.087	<0,251	<0,214		

Tabla 15: Concentración (mg/kg) de cada compuesto (en amarillo claro o los 14 primeros corresponden a compuestos volátiles, los 5 siguientes compuestos en color amarillo intermedio son semivolátiles y los 19 últimos compuestos en amarillo más oscuro corresponden a compuestos no volátiles) analizados mediante cromatografía de gases en las 5 rodajas extraídas del experimento no electrorremediado P20.

P20	Rodaja 1	Rodaja 2	Rodaja 3	Rodaja 4	Rodaja 5
CB	49.851	45.383	102.841	30.376	31.737
1,3-DCB	36.915	13.916	17.600	0.334	7.443
1,4-DCB	214.653	103.534	246.047	74.006	77.391
1,2-DCB	132.232	62.371	162.746	40.132	46.113
1,3,5-TCB	19.628	7.709	8.364	<0,334	6.556
1,2,4-TCB	369.127	166.504	432.467	119.952	106.366
1,2,3-TCB	59.054	32.468	68.876	35.606	24.412
FENOL	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	<0,0002
2-CFENOL	1.178	<0,0002	3.489	1.338	1.563
3-CFENOL	<0,0002	4.996	5.076	5.702	5.264
4-CFENOL	<0,0002	1.611	2.954	2.261	1.536
2,6-DCFENOL	0.759	1.054	1.515	0.882	0.739
2,4-DCFENOL	2.809	3.838	6.196	4.270	3.508
2,4,6-TCFENOL	0.365	1.416	1.610	1.704	1.548
2,3,5,6-TetraCFENOL	0.245	0.086	0.089	0.096	0.081
2,3,4,6-TetraCFENOL	0.042	0.568	0.527	0.922	0.584
2,3,4,5-TetraCFENOL	1.723	2.613	5.802	4.098	2.838
TetraCBs_A	246.583	77.321	172.847	93.506	72.041
TetraCBs_B	306.092	143.921	311.679	160.894	139.416
PCFENOL	3.531	15.635	23.088	9.084	8.835
PCB	37.636	14.886	31.017	<0,334	20.351
PentaCx a	47.409	<0,166	8.724	<0,334	<0,182
PentaCx b	29.122	5.733	20.997	4.868	5.255
PentaCx c	12.058	2.968	9.388	<0,334	2.550
PentaCx d	21.328	2.838	11.577	<0,334	2.486
PentaCx e	7.373	<0,166	2.741	<0,334	<0,182
HexaCx a	21.858	<0,166	2.937	<0,334	<0,182
HexaCx b	6.825	<0,166	1.080	<0,334	<0,182
HexaCx c	72.714	2.286	9.986	<0,334	1.977
HexaCx d	1.203	<0,166	<0,174	<0,334	<0,182
HeptaCH1	490.756	7.782	57.050	6.524	5.686
HeptaCH2	229.051	3.259	29.792	<0,334	3.161
HeptaCH3	132.717	6.397	21.627	4.341	6.868
alpha-HCH	328.506	213.795	536.026	311.729	246.953
betaHCH	24.157	16.302	28.837	<0,334	31.651
gamma HCH	621.694	359.560	1151.854	362.705	342.225
delta-HCH	497.397	270.363	728.961	208.930	230.314
epsilon-HCH	78.012	8.878	18.106	6.474	7.547

Tabla 16: Concentración (mg/kg) de cada compuesto (en amarillo claro o los 14 primeros corresponden a compuestos volátiles, los 5 siguientes compuestos en color amarillo intermedio son semivolátiles y los 19 últimos compuestos en amarillo más oscuro corresponden a compuestos no volátiles) analizados mediante cromatografía de gases en cada rodaja extraída de la capa superior A y la capa inferior B y en los dos tramos (inferior y superior) del depósito de carbón activo del experimento G18-gh-75.

G18-gh-75	Muestra inicial	CAPA A					CAPA B					Depósitos de carbón	
		JA-A1	JA-A2	JA-A3	JA-A4	JA-A5	JA-B1	JA-B2	JA-B3	JA-B4	JA-B5	Superior	Inferior
CB	290.14	46.84	62.12	37.11	58.54	27.89	75.91	56.97	30.18	77.62	43.92	<0,3	10.61
1,3-DCB	69.54	27.93	33.50	21.49	28.41	29.86	26.34	27.64	19.15	26.90	14.75	<0,3	<0,4
1,4-DCB	579.24	201.50	264.80	185.67	241.37	235.74	189.19	297.25	148.48	279.97	195.22	<0,3	<0,4
1,2-DCB	333.81	120.69	139.98	92.95	132.42	134.65	109.43	134.60	81.15	133.09	115.03	<0,3	<0,4
1,3,5-TCB	41.57	<0,8	23.35	13.72	15.04	10.55	10.43	9.11	8.37	10.90	6.77	<0,3	<0,4
1,2,4-TCB	1381.20	982.82	692.67	406.41	533.83	461.46	362.07	418.74	291.78	407.99	370.79	<0,3	<0,4
1,2,3-TCB	234.62	178.38	130.55	86.54	159.41	164.74	98.85	109.15	63.37	99.26	139.88	<0,3	<0,4
FENOL	3.56	2.27	3.04	0.46	2.41	1.07	1.27	2.19	3.41	3.84	1.02	<0,001	<0,001
2-CFENOL	6.52	1.89	0.90	1.08	2.66	0.41	1.42	1.22	3.68	1.73	<0,001	<0,001	3.64
3-CFENOL	114.09	20.24	5.45	18.95	23.79	10.73	14.07	16.69	30.25	8.26	<0,001	<0,001	41.68
4-CFENOL	10.28	3.69	1.15	3.22	3.96	1.96	2.96	2.96	4.72	1.80	<0,001	<0,001	7.58
2,6-DCFENOL	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2,4-DCFENOL	19.65	7.66	3.92	3.68	18.06	3.13	3.76	3.18	8.97	7.14	<0,001	<0,001	21.22
2,4,6-TCFENOL	15.59	14.99	9.42	7.56	46.48	7.81	10.45	4.59	13.50	29.04	<0,001	<0,001	39.50
2,3,5,6-TetraCFENOL	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2,3,4,6-TetraCFENOL	1.06	1.42	1.20	0.95	4.39	1.16	0.95	0.47	1.50	2.91	<0,001	<0,001	2.54
2,3,4,5-TetraCFENOL	0.31	0.12	0.15	0.11	0.22	0.06	0.07	0.08	0.17	0.16	<0,001	<0,001	0.27
TetraCBs_A	1038.89	325.53	352.25	263.85	360.35	309.26	217.07	237.68	226.95	239.08	339.46	<0,3	<0,4
TetraCBs_B	1279.44	418.86	500.56	373.42	465.64	392.66	293.43	330.52	299.76	301.05	439.88	<0,3	<0,4
PCFENOL	0.01	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.03	0.04	<0,001	<0,001	0.02
PCB	128.57	53.64	64.59	48.02	54.19	61.95	37.77	40.69	44.12	37.76	60.10	<0,3	<0,4
PentaCXa	520.99	133.86	394.83	124.88	184.15	72.56	46.15	61.98	117.14	101.12	78.30	<0,3	<0,4
PentaCXb	575.06	14.30	44.28	44.53	47.47	34.60	1.69	8.51	74.39	58.28	47.04	<0,3	<0,4
PentaCXc	38.44	<0,8	0.82	1.03	2.80	<0,6	<0,6	1.23	2.13	2.42	4.62	<0,3	<0,4
PentaCXd	135.25	92.97	24.82	16.65	19.69	20.70	8.44	9.24	21.33	18.37	25.40	<0,3	<0,4
PentaCXe	14.38	<0,8	1.72	4.23	2.60	3.51	<0,6	2.95	2.82	2.30	4.13	<0,3	<0,4
HexaCXa	78.27	<0,8	2.85	2.55	11.67	11.17	<0,6	0.78	10.87	7.58	14.34	<0,3	<0,4
HexaCXb	4.00	<0,8	1.07	<0,6	<0,7	1.18	<0,6	0.44	<0,6	<0,6	1.18	<0,3	<0,4
HexaCXc	68.43	<0,8	1.84	2.22	2.33	2.79	0.77	1.06	3.29	3.46	10.00	<0,3	<0,4
HexaCXd	<0,6	<0,8	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	0.44	<0,6	<0,6	<0,5	<0,3	<0,4
HeptaCH1	272.14	<0,8	<0,7	3.39	6.87	7.56	3.33	2.07	6.99	10.94	48.33	<0,3	<0,4
HeptaCH2	94.22	<0,8	<0,7	<0,6	6.09	5.58	<0,6	0.44	5.67	5.76	18.77	<0,3	<0,4
HeptaCH3	54.16	<0,8	<0,7	1.07	2.64	3.45	<0,6	0.44	2.66	<0,6	13.10	<0,3	<0,4
alpha-HCH	655.28	373.27	95.40	76.49	88.51	108.88	4.65	40.91	106.35	99.67	210.46	0.45	0.55
betaHCH	0.84	<0,8	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	0.44	<0,6	<0,6	<0,5	<0,3	<0,4
gamma HCH	1001.91	50.95	232.33	83.99	161.18	135.51	12.51	53.64	152.45	125.19	224.29	0.87	1.07
delta-HCH	200.05	2.89	3.62	5.61	7.63	13.17	1.50	1.39	16.52	16.70	35.73	<0,3	<0,4
epsilon-HCH	119.43	3.23	9.21	9.63	17.78	15.72	0.49	5.05	22.93	16.10	26.79	<0,3	<0,4

Tabla 17: Concentración (mg/kg) de cada compuesto (en amarillo claro o los 14 primeros corresponden a compuestos volátiles, los 5 siguientes compuestos en color amarillo intermedio son semivolátiles y los 19 últimos compuestos en amarillo más oscuro corresponden a compuestos no volátiles) analizados mediante cromatografía de gases en cada rodaja extraída de la capa superior A y la capa inferior B y en los dos tramos (inferior y superior) del depósito de carbón activo del experimento G25-gm-100

G25-gm-100	Muestra inicial	CAPA A							CAPA B							Depósitos de carbón	
		Ánodo				Cátodo			Ánodo				Cátodo				
		JV-A1	JV-A2	JV-A3	JV-A4	JV-A5	JV-A6	JV-A7	JV-B1	JV-B2	JV-B3	JV-B4	JV-B5	JV-B6	JV-B7	Inferior	Superior
CB	143.89	7.40	59.63	49.00	75.56	151.67	84.36	98.60	124.33	97.41	116.20	82.82	68.58	91.96	103.25	1.26	1.24
1,3-DCB	55.24	26.16	27.12	16.51	41.63	44.10	43.36	60.30	43.68	51.32	61.52	44.65	37.27	58.48	72.84	<0,2	<0,1
1,4-DCB	301.61	151.50	221.24	232.82	319.62	337.31	288.55	407.23	313.17	401.32	512.74	327.93	243.85	361.21	489.31	<0,2	<0,1
1,2-DCB	207.68	115.00	126.75	156.06	181.25	193.46	179.68	251.54	194.54	231.93	302.26	186.24	150.68	216.48	306.53	<0,2	<0,1
1,3,5-TCB	22.82	10.19	11.52	12.58	15.11	13.60	14.63	5.33	12.95	16.80	21.94	12.39	16.75	22.71	41.42	<0,2	<0,1
1,2,4-TCB	828.55	446.17	453.96	550.26	677.87	582.82	679.74	1143.71	724.62	796.51	1051.75	691.56	537.57	886.16	1399.86	<0,2	<0,1
1,2,3-TCB	185.37	105.75	126.98	140.19	248.30	175.81	261.34	353.30	156.76	158.59	316.93	219.08	171.31	349.95	495.29	<0,2	<0,1
FENOL	5.18	2.60	9.75	5.38	2.55	2.90	1.96	3.83	10.33	14.07	10.85	2.64	3.61	4.19	6.08	0.01	<0,001
2-CFENOL	1.65	9.86	3.25	1.50	3.00	1.01	2.09	10.81	12.76	3.87	0.65	0.57	<0,001	<0,001	0.01	<0,001	0.50
3-CFENOL	28.81	120.01	39.73	34.69	79.85	12.36	14.82	111.31	152.94	91.78	14.20	21.17	18.70	10.36	<0,001	<0,001	3.52
4-CFENOL	2.47	18.85	6.42	4.52	9.48	1.78	5.06	21.39	22.59	12.92	2.60	3.84	3.52	3.02	<0,001	<0,001	1.16
2,6-DCFENOL	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0.39	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2,4-DCFENOL	5.24	34.72	11.46	5.12	10.67	2.82	9.56	27.67	34.24	16.32	2.51	2.70	3.10	4.46	<0,001	<0,001	1.37
2,4,6-TCFENOL	5.08	43.37	12.11	6.72	11.17	3.74	11.33	48.45	57.45	26.89	5.61	<0,001	7.59	7.38	<0,001	<0,001	0.82
2,3,5,6-TetraCFENOL	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0.77	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2,3,4,6-TetraCFENOL	0.41	2.75	0.92	0.60	0.90	0.40	0.98	2.29	2.57	1.80	0.99	0.65	0.68	0.66	<0,001	<0,001	0.13
2,3,4,5-TetraCFENOL	0.11	0.33	0.24	0.09	0.17	0.05	0.10	0.28	0.24	0.36	0.10	0.08	0.08	0.06	<0,001	<0,001	0.03
TetraCBs_A	813.42	435.27	404.98	460.97	552.00	416.92	571.62	645.14	499.56	512.93	830.56	420.85	388.48	649.17	892.30	<0,2	<0,1
TetraCBs_B	1022.86	629.12	589.00	602.26	692.28	577.23	707.94	878.57	779.04	706.90	1061.86	550.53	521.74	844.68	986.75	<0,2	<0,1
PCFENOL	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	<0,001	<0,001	0.01
PCB	108.81	97.93	92.00	94.02	86.83	77.63	80.34	102.94	114.13	113.06	153.11	68.34	68.41	93.04	114.09	<0,2	<0,1
PentaCx _a	363.80	161.81	118.96	195.80	188.10	240.32	154.25	42.91	198.11	184.94	366.74	106.49	819.62	186.67	1.17	<0,2	<0,1
PentaCx _b	397.57	210.88	181.96	215.91	97.25	146.25	28.70	4.30	206.35	271.09	319.47	10.06	23.46	14.48	5.25	<0,2	<0,1
PentaCx _c	25.14	17.87	15.09	12.39	2.97	5.32	1.58	0.79	30.42	26.24	20.53	1.34	1.12	2.62	<0,8	<0,2	<0,1
PentaCx _d	104.66	62.50	49.23	54.60	45.42	71.34	19.13	12.69	70.05	66.74	81.89	17.60	20.44	30.17	<0,8	<0,2	<0,1
PentaCx _e	18.99	16.77	10.19	14.23	5.16	6.33	6.41	<0,7	22.44	16.37	21.35	1.16	<0,7	<0,6	<0,8	<0,2	<0,1
HexaCx _a	99.18	54.12	35.29	69.92	33.70	25.09	1.88	1.19	60.74	49.97	109.63	2.57	1.29	<0,6	<0,8	<0,2	<0,1
HexaCx _b	6.12	7.89	3.88	4.34	0.89	1.73	0.75	1.12	11.48	7.45	1.07	0.79	0.72	<0,6	<0,8	<0,2	<0,1
HexaCx _c	105.52	118.53	51.54	90.00	11.40	12.22	1.88	1.47	120.15	99.44	105.02	1.80	2.18	<0,6	0.87	<0,2	<0,1
HexaCx _d	<0,3	<0,8	<0,8	1.22	<0,6	0.47	<0,6	1.53	1.14	<0,8	<0,8	<0,6	<0,7	<0,6	<0,8	<0,2	<0,1
HeptaCH ₁	429.58	809.11	254.54	295.40	21.03	22.63	5.09	1.65	1008.37	796.27	294.55	2.65	3.54	1.91	<0,8	<0,2	<0,1
HeptaCH ₂	173.61	263.67	81.67	140.74	27.69	21.38	1.11	403.18	204.76	145.91	1.23	1.54	1.58	7.92	<0,8	<0,2	<0,1
HeptaCH ₃	93.28	195.45	79.95	73.07	13.59	20.24	1.05	0.97	269.12	182.88	96.19	0.87	0.99	0.74	<0,8	<0,2	<0,1
alpha-HCH	602.84	747.56	488.07	461.74	280.86	541.72	80.35	1.56	871.04	753.86	679.07	82.12	80.83	48.90	2.38	0.21	0.16
betaHCH	0.85	1.14	0.83	<0,7	0.75	1.36	<0,6	0.92	1.39	1.12	1.17	0.92	0.90	0.98	<0,8	<0,2	<0,1
gamma HCH	1028.18	1283.30	869.47	885.12	479.73	817.58	146.21	8.13	1624.01	1423.57	1444.00	74.04	1214.48	148.42	<0,8	0.40	0.31
delta-HCH	209.54	516.89	270.09	237.36	45.19	95.47	3.29	1.53	723.48	566.22	289.86	1.67	2.94	1.48	<0,8	0.33	<0,1
epsilon-HCH	128.50	183.59	111.52	106.34	43.43	65.66	11.00	2.51	241.76	200.40	144.52	4.72	10.92	6.33	<0,8	<0,2	<0,1

Tabla 18: Concentración de cada compuesto (en amarillo claro o los 14 primeros corresponden a compuestos volátiles, los 5 siguientes compuestos en color amarillo intermedio son semivolátiles y los 19 últimos compuestos en amarillo más oscuro corresponden a compuestos no volátiles) analizados mediante cromatografía de gases en cada rodaja extraída de la capa superior A y la capa inferior B y en los dos tramos (inferior y superior) del depósito de carbón activo del experimento G25-gm-200.

G25-gm-200	Muestra inicial	CAPA A							CAPA B								
		Ánodo							Cátodo								
		JR-A1	JR-A2	JR-A3	JR-A4	JR-A5	JR-A6	JR-A7	JR-B1	JR-B2	JR-B3	JR-B4	JR-B5	JR-B6	JR-B7	Superior	Inferior
CB	127.31	15.62	7.77	36.65	33.72	55.39	46.92	42.26	19.65	19.55	25.30	20.39	67.17	19.66	44.40	1.35	1.51
1,3-DCB	58.68	22.77	10.37	18.90	17.60	29.84	33.15	27.13	12.44	14.49	18.00	13.25	25.45	12.17	19.91	<0,1	1.27
1,4-DCB	320.88	141.97	72.96	136.43	125.92	171.98	204.22	185.48	102.51	121.15	139.46	110.90	194.40	95.60	139.79	<0,1	<0,1
1,2-DCB	210.06	77.77	42.63	73.23	70.26	99.76	122.90	109.44	51.01	64.38	74.79	61.54	104.00	54.66	81.02	<0,1	<0,1
1,3,5-TCB	16.72	13.65	5.60	6.08	5.56	8.59	10.22	10.17	3.52	4.63	4.46	5.25	12.41	4.20	9.76	<0,1	<0,1
1,2,4-TCB	740.42	495.89	162.66	231.65	251.64	392.26	493.14	437.38	136.20	197.12	207.40	187.28	335.35	147.90	283.34	<0,1	<0,1
1,2,3-TCB	139.38	103.06	42.17	70.68	59.79	102.24	139.34	122.83	35.20	52.93	53.13	51.51	90.59	50.76	83.68	<0,1	<0,1
FENOL	2.75	2.07	1.87	1.94	0.75	1.18	1.47	0.47	1.31	2.29	1.43	0.62	0.47	0.62	0.64	0.01	0.01
2-CFENOL	1.14	1.85	2.18	0.53	1.38	2.26	0.50	2.37	3.39	0.92	0.28	0.24	0.40	0.64	<0,001	<0,001	0.00
3-CFENOL	12.15	19.66	18.07	3.27		16.14	1.60	12.49	23.08	13.17	1.73	0.82	1.51	2.25	<0,001	<0,001	<0,001
4-CFENOL	2.14	4.90	3.50	0.92	2.37	4.18	0.57	2.89	4.56	3.04	0.70	0.46	0.66	0.96	<0,001	<0,001	<0,001
2,6-DCFENOL	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2,4-DCFENOL	3.63	5.45	4.66	1.39	3.67	7.00	1.29	6.85	6.70	2.16	0.63	0.83	1.00	1.95	<0,001	<0,001	<0,001
2,4,6-TCFENOL	8.18	3.77	2.82	1.68	4.34	7.31	1.59	3.72	9.83	1.43	0.95	1.04	1.30	2.10	<0,001	<0,001	<0,001
2,3,5,6-TetraCFENOL	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2,3,4,6-TetraCFENOL	1.28	0.62	0.36	0.25	0.47	0.87	0.20	0.27	0.81	0.23	0.16	0.16	0.18	0.26	<0,001	<0,001	<0,001
2,3,4,5-TetraCFENOL	0.01	0.17	0.10	0.05	0.09	0.15	0.03	0.33	0.08	0.07	0.03	0.02	0.02	0.03	<0,001	<0,001	<0,001
TetraCBs_A	520.99	360.00	176.86	188.16	192.35	312.48	397.39	295.08	171.65	169.55	154.20	118.69	211.00	119.90	208.87	<0,1	<0,1
TetraCBs_B	664.90	493.83	233.38	268.73	280.26	440.25	521.01	404.74	255.30	265.25	220.02	184.70	308.25	167.06	284.06	<0,1	<0,1
PCFENOL	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	<0,001	<0,001	<0,001
PCB	86.41	70.59	52.04	41.21	55.93	63.79	68.26	53.43	42.59	37.25	38.67	29.11	46.81	27.68	40.85	<0,1	<0,1
PentaCx _a	208.46	269.65	74.31	53.27	72.41	73.47	127.38	63.63	17.79	17.53	39.14	0.97	0.99	<0,6	<0,4	<0,1	<0,1
PentaCx _b	274.62	69.61	61.33	19.69	40.85	52.87	74.18	15.64	29.51	3.15	20.88	0.78	2.07	<0,6	<0,4	<0,1	<0,1
PentaCx _c	20.88	5.29	5.49	1.76	2.57	2.54	3.39	4.61	2.30	0.54	1.98	<0,5	<0,6	<0,6	<0,4	<0,1	<0,1
PentaCx _d	94.34	34.52	22.55	11.76	16.12	33.07	32.25	4.28	3.23	1.10	8.37	<0,5	<0,6	<0,6	<0,4	<0,1	<0,1
PentaCx _e	12.09	5.11	5.17	0.52	3.33	2.66	3.75	0.90	2.42	<0,4	1.43	0.60	<0,6	<0,6	<0,4	<0,1	<0,1
HexaCx _a	51.32	13.06	13.26	0.61	5.39	10.09	17.05	<0,7	5.12	<0,4	1.41	<0,5	<0,6	<0,6	<0,4	<0,1	<0,1
HexaCx _b	4.75	1.40	1.62	<0,5	1.03	<0,6	0.88	<0,7	<0,7	<0,4	0.73	<0,5	0.81	0.80	1.10	<0,1	<0,1
HexaCx _c	71.29	6.61	5.92	0.95	3.42	1.42	2.02	1.40	2.84	1.06	2.05	<0,5	1.04	0.70	0.79	<0,1	<0,1
HexaCx _d	<0,5	<0,7	<0,7	<0,5	<0,8	<0,6	<0,5	<0,7	<0,7	<0,4	<0,5	<0,5	<0,6	<0,6	<0,4	<0,1	<0,1
HeptaCH ₁	370.20	13.64	11.80	<0,5	5.58	3.20	3.63	2.26	3.77	1.49	2.03	1.45	1.99	1.73	1.49	<0,1	<0,1
HeptaCH ₂	126.83	9.88	1.12	<0,5	7.47	12.99	0.81	2.17	1.07	1.13	0.73	0.67	0.86	0.94	<0,4	<0,1	<0,1
HeptaCH ₃	81.03	9.04	8.40	<0,5	1.05	5.62	8.48	0.75	2.16	0.58	0.90	<0,5	0.69	<0,6	0.50	<0,1	<0,1
alpha-HCH	681.50	204.10	125.79	26.67	68.22	204.95	205.88	18.87	58.08	4.01	33.09	0.62	1.30	1.12	1.08	<0,1	<0,1
betaHCH	1.25	0.87	<0,7	<0,5	<0,8	0.97	0.87	<0,7	<0,7	<0,4	<0,5	<0,5	0.92	<0,6	<0,4	<0,1	<0,1
gamma HCH	789.83	514.25	184.99	65.10	176.08	183.33	485.31	41.65	63.72	8.54	53.00	1.34	1.71	1.51	1.24	0.33	0.30
delta-HCH	234.84	29.67	31.52	3.04	11.05	27.18	40.08	1.75	19.81	1.00	2.94	0.98	1.31	1.21	0.97	<0,1	<0,1
epsilon-HCH	113.12	24.50	27.05	5.81	14.23	22.16	35.88	4.73	18.27	1.30	9.83	<0,5	<0,6	<0,4	<0,1	<0,1	<0,1

