



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-312

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

NUEVAS TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS. PROYECTO PHYTOSUDOE EN VITORIA-GASTEIZ

VILELA, J. ¹, ALBAINA, A. ¹, ZUAZAGOITIA, I. ¹ y VILA, A. ¹

¹ Centro de Estudios Ambientales del Ayuntamiento de Vitoria Gasteiz (CEA).

Resumen

La degradación del suelo es un problema a escala mundial. En España se pierde una media de 26 t/ha/año de suelo fértil, debido principalmente a la erosión. El desarrollo de proyectos de urbanización e infraestructuras favorece los procesos erosivos y se hace necesario aplicar técnicas para la restauración de los suelos. En Vitoria-Gasteiz, Ciudad Verde Europea en 2014, existen terrenos contaminados así como numerosas parcelas públicas abandonadas que por la crisis inmobiliaria permanecerán vacantes durante décadas y en riesgo de degradación. La ciudad apuesta por instalar en ellas usos temporales de infraestructura verde que aporten beneficios ambientales. Para ello, será necesario previamente mejorar la salud del suelo para que pueda albergar vegetación. Diversos proyectos piloto de soluciones basadas en la naturaleza se han aplicado para mejorar la salud del suelo, incluyendo bioestimulación (enmiendas orgánicas) y fitogestión (cultivos de ciclo corto), consiguiendo buenos **resultados** (BARRUTIA et al., 2010). **En julio de 2016 se inicia, en colaboración con 9 socios franceses, portugueses y españoles**, un proyecto de cooperación para establecer una red de emplazamientos degradados y contaminados donde se testarán diferentes técnicas de fitorremediación y fitogestión, con el objetivo de elaborar en base al seguimiento y resultado de tres años, un manual de buenas prácticas que puedan replicarse en otras ciudades. En esta comunicación se presenta un avance de su desarrollo.

Palabras clave

Fitorremediación, descontaminación, fitogestión, suelos contaminados, Interreg SUDOE.

1. Introducción

La contaminación del suelo es un problema generalizado en el sudoeste de Europa que tiene efectos severos para la biodiversidad y la salud humana. Las alternativas de fitogestión para la restauración de suelos son menos invasivas y más rentables que las **técnicas de ingeniería civil** (BARRUTIA et al., 2013). **Con estos ensayos se quiere fomentar que** gestores y propietarios de terrenos contaminados o degradados usen de forma amplia estas técnicas.

Concretamente, en lo referente a la ciudad de Vitoria-Gasteiz, se intervendrá en la periferia del polígono industrial de Jundiz al oeste de Vitoria-Gasteiz (Figura 1). Este polígono ha experimentado una ampliación importante en las últimas décadas y en muchos terrenos públicos del mismo no se ha establecido ningún uso. Debido a su abandono y una serie de vertidos incontrolados se han generado una cantidad de parcelas degradadas y potencialmente contaminadas que influyen negativamente sobre la calidad ambiental y el paisaje de la ciudad. En el marco proyecto de PhytoSUDOE se intervendrá en tres parcelas de propiedad municipal que, aunque originalmente estén planificadas como zonas verdes según el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) vigente, actualmente se encuentran en estado degradado. Se trata de suelos procedentes de rellenos antrópicos variables en variables en tipología y profundidad, consistiendo en su mayoría en tierras y rocas de excavación sobre los que se han depositado posteriormente residuos de construcción y demolición así como residuos domésticos.

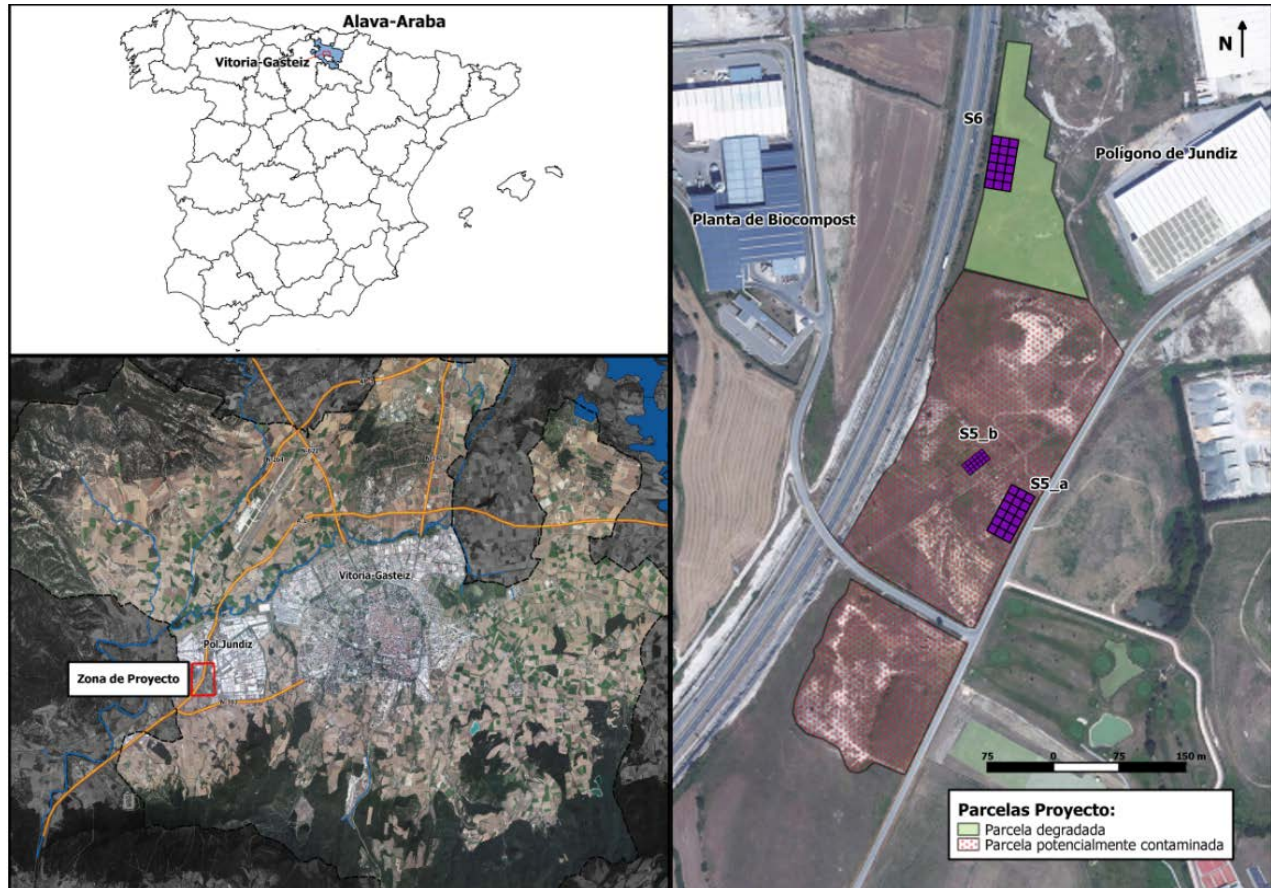


Figura 1. Emplazamiento de las parcelas de ensayo.

2. Objetivos

El objetivo general de PhytoSUDOE es avanzar en la gestión de espacios degradados y su restauración a través de técnicas novedosas de fitorremediación y fitogestión que promuevan la biodiversidad, mejoren la funcionalidad integral de los ecosistemas y permitan el uso sostenible de los **recursos**. El proyecto pretende establecer una serie de parcelas experimentales donde testar diversos modelos de fitogestión (cultivos forestales, cultivos agrícolas y sistemas agroforestales) que a su vez sean capaces de descontaminar el suelo y en algunos casos, puedan incluso tener un aprovechamiento energético (SIXTO et al., 2007; DIMITRIOU & ARONSSON, 2005).

En nuestro caso, se incluyen dos tipologías de terreno: uno degradado y otro potencialmente contaminado. Entre las técnicas de fitogestión se incluyen la rotación de tres cultivos agrícolas (colza, habín y girasol), la siembra de un cultivo que se mantendrá durante todo el proyecto (alfalfa) y la plantación forestal para biomasa del clon comercial de sauce Olof (*Salix schwerinii* x *Salix viminalis*) y los clones experimentales de chopo Baldo y AF18 (*Populus* x *canadensis*). El objetivo para Vitoria-Gasteiz es demostrar a través de los ensayos el potencial de las fitotecnologías para la restauración ecológica de este tipo de emplazamientos.

3. Metodología

El proyecto está compuesto por 10 socios beneficiarios y 8 socios asociados en Portugal, España y Francia, y se actuará en un total de 12 emplazamientos:

Socios Beneficiarios:

- Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IIAG-CSIC). España
- Universidade de Santiago de Compostela (USC). España
- NEIKER-Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, S.A. (NEIKER). España
- Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). France
- Universidade de Coimbra (FCTUC). Portugal
- Centro de Estudios Ambientales (CEA). España
- Universidade Católica Portuguesa (UCP-CRP). Portugal
- Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). España
- Universidade de Aveiro (UAVR). Portugal
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG). Portugal

Emplazamientos:

- S1: St Médard d'Eyrans (Gironde, FR), zona industrial abandonada (INRA).
- S2: Parc aux Angéliques (Gironde, FR), zona industrial abandonada en área urbana (INRA).
- S3: Borralha (Montalegre, PT), área minera (UCP-CRP, LNEG).
- S4: São Domingos (Mértola, PT), escombrera minera (FCTUC, UAVR).
- S5a: Ariñez (Vitoria-Gasteiz, País Vasco, ES), parcela con contaminación en profundidad en área periurbana (UPV/EHU, NEIKER, CEA).
- S5b: Ariñez (Vitoria-Gasteiz, País Vasco, ES), parcela con contaminación en profundidad y superficie en área periurbana (UPV/EHU, NEIKER, CEA).
- S6: Jundiz (Vitoria-Gasteiz, País Vasco, ES), zona abandonada en área periurbana, bajo contenido en materia orgánica (UPV/EHU, NEIKER, CEA).
- S7: Piedrafita (Galicia, ES), escombrera minera (CSIC, USC).
- S8: Touro (Galicia, ES), escombrera minera (CSIC, USC).
- S9: St Sebastien d'Aigrefeuille (Gard, FR), escombrera minera (INRA).
- S10: Penedono (Viseu, PT), escombrera minera (UAVR).
- S11: Marrancos (Vila Verde, PT), escombrera minera (UAVR).

En el caso de Vitoria-Gasteiz se incluyen dos tipologías de emplazamientos: las parcelas denominadas S5a y S5b se ubican en un suelo potencialmente contaminado, originado por rellenos de tierras y áridos sobre los que posteriormente se realizaron diversos vertidos incontrolados. En profundidad (entre 1,5 m y 3 m) se ha detectado presencia de arsénico (As), plomo (Pb), pesticidas clorados (HCH), policlorobifenilos (PCB), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH) y acetona. La parcela denominada S6 corresponde a un terreno degradado procedente de rellenos y con gran escasez de materia orgánica.

El diseño experimental para Vitoria-Gasteiz consiste en realizar sobre cada parcela seis tipos de tratamientos por triplicado, dividiendo cada parcela en 18 subparcelas (3 x 6 tratamientos). S5a y S6 se dividen en subparcelas de 100 m² (10 m x 10 m) generando una superficie de 1.800 m² por parcela. S5b se divide en subparcelas de 25 m² (5 m x 5 m) dando un total de 450 m².

Sobre todas las parcelas se ha aplicado una enmienda orgánica (dosis 75 t/ha) con compost procedente de la planta de Biocompost de Jundiz, es decir, de los residuos orgánicos domésticos de Vitoria-Gasteiz procedente de la recogida selectiva. Con esta enmienda se pretende mejorar las propiedades agronómicas del suelo ya que contiene un 38,2% de materia orgánica y un 1,68% de Nitrógeno total. Con la cantidad de compost aportada, se ha añadido al suelo un total de 226,8 kg de Nitrógeno (N) total a las parcelas S5a y S6, y 56,7 kg de N total a la parcela S5b, estando este nitrógeno en forma orgánica en su mayoría y convirtiéndose así en un nutriente disponible a largo plazo para las plantas.

Sobre cada parcela de ensayo se establecieron siembras y plantaciones para testar por triplicado seis tipos de tratamientos diferentes: ausencia de tratamiento vegetal como control, cultivo agrícola, plantación forestal, plantación forestal inoculada, agroforestal y agroforestal inoculado. Los tratamientos de inoculación son una réplica que incluyen planta micorrizada con hongos para comprobar su influencia sobre la salud del suelo y la vegetación.

En concreto, sobre la parcela S6 se combinaron plantaciones de sauces de clon Olof para biomasa con cultivos agrícolas que se cosecharán (está prevista una rotación anual de colza, girasol y habín. Sobre S5a (Figura 2) y S5b se instalaron plantaciones de chopo clones Baldo y AF18 con un cultivo inicial de alfalfa que se mantendrá durante todo el proyecto. Como muestran los gráficos, se inocularon la mitad de las plantas instaladas.

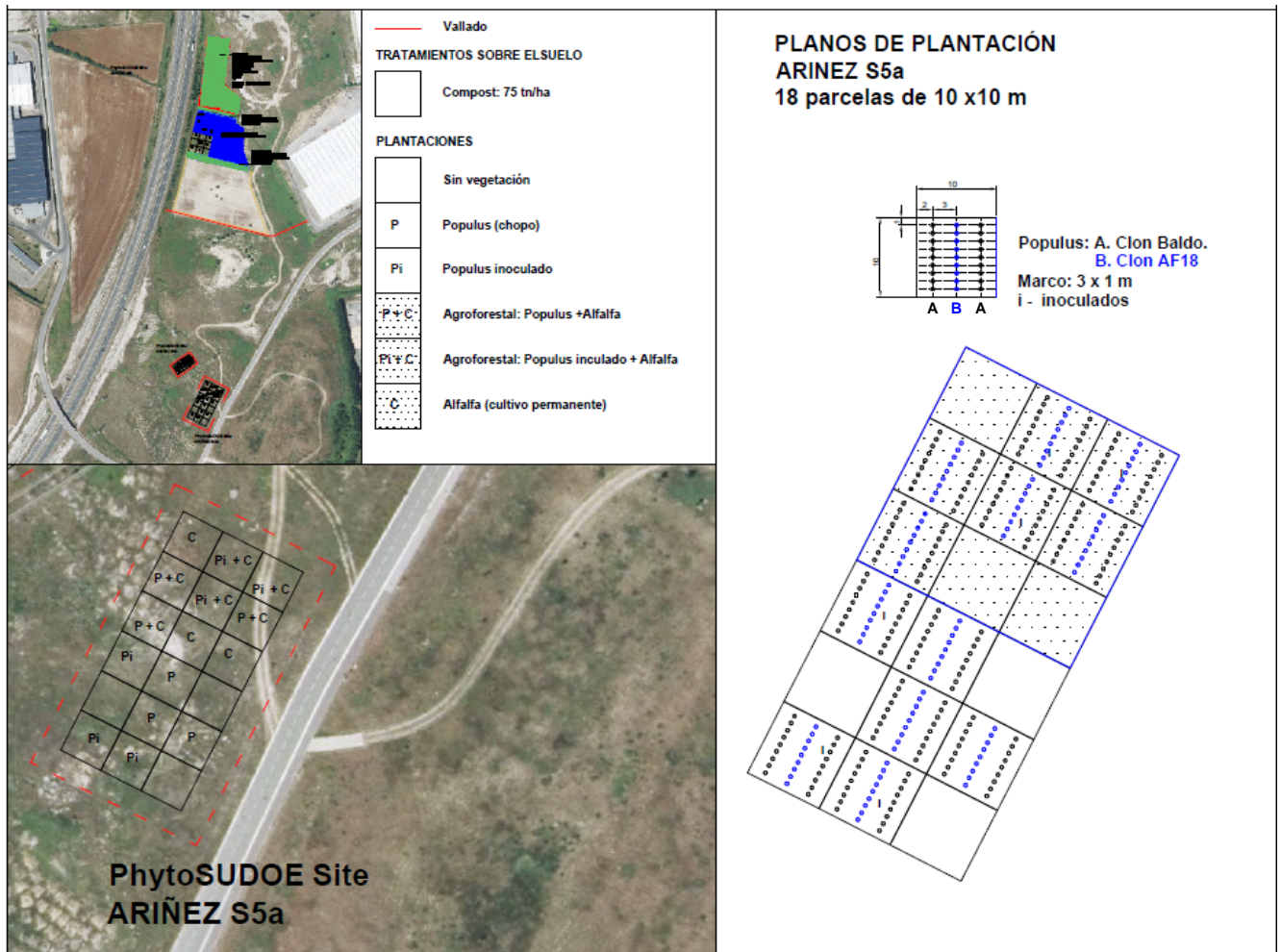


Figura 2. Plantaciones a llevar a cabo en la parcela S5a.

Para la inoculación de las plantas se utilizó un sustrato comercial que contenía tanto ectomicorrizas (*Amanita muscaria*, *Boletus edulis*, *Hebeloma crustuliniforme*, *Laccaria laccata*, *Praxillus involutus*, *Pisolithus tinctorius*, *Thelephora terrestres* y *Xerocomus badius*) como endomicorrizas (*Rhizophagus irregularis*). Se realizó una primera inoculación al instalar las estaquillas sobre alveolo forestal de 400 cc en medio inerte (arena y perlita al 50%). Transcurrido un mes las estaquillas se transplantaron a alveolos de 1 litro completando el sustrato con tierra potencialmente

contaminada procedente de las parcelas de ensayo. Un mes más tarde, al realizar la plantación forestal, se instalaron manualmente las estaquillas y en los tratamientos de planta inoculada se añadió al hoyo una segunda dosis de inoculación. La siembra del cultivo de alfalfa se realizó mediante una sembradora de césped autopropulsada y la de colza mediante tractor agrícola con apero sembrador.

Cuando llegue el momento de la cosecha, se pretende dar un aprovechamiento energético a las siembras y plantaciones realizadas y cerrar de esta manera el circuito con los residuos generados (CASTAÑO et al., 2013). La colza se puede utilizar para conseguir biodiesel (LIFE SEED CAPITAL, 2016), el girasol para producir aceite y las plantaciones de sauce y chopo con un turno de corta de 4 años (CASLIN et al., 2010) se pretenden usar para astillado y alimentación de calderas de biomasa en equipamientos municipales. El habín y la alfalfa funcionarán como cultivo-cobertura y abono natural.

A continuación, se resumen las actuaciones (Figura 3) ejecutadas hasta la fecha (abril de 2017):

Actuaciones realizadas en S6:

- Muestreo previo y analítica de contaminación: se descartó presencia de contaminantes.
- Preparación del terreno: desbroce de la vegetación, perfilado de la superficie con bulldozer y paso del subsolador para airear el suelo.
- Retirada manual de piedra de gran tamaño y pase de máquina despedregadora.
- Aplicación de Biocompost procedente de recogida selectiva (75 t/ha) y volteo para su incorporación en el suelo.
- Replanteo de subparcelas (fijación de estacas).
- Muestreo analítico para la caracterización agronómica del suelo (18 muestras).
- Vallado de las parcelas y colocación de paneles informativos.
- Siembra de colza y plantación de sauces Clon Olof

Actuaciones realizadas en S5a y S5b:

- Muestreo analítico de contaminación previo, detectando contaminación en profundidad para ambas parcelas.
- Preparación del terreno: desbroce de la vegetación y perfilado superficial con bulldozer.
- Separación manual de voluminosos y carga en contenedor.
- Retirada de residuos a gestor autorizado.
- Replanteo de subparcelas.
- Muestreo analítico para la caracterización de la contaminación en superficie (18 muestras por parcela). Se descartó su presencia en el caso de S5a y se confirmó para S5b.
- Aplicación de Biocompost procedente de recogida selectiva (75 t/ha) y volteo.
- Muestreo analítico para la caracterización agronómica del suelo (18 muestras).
- Vallado de las parcelas y colocación de paneles informativos.
- Siembra de alfalfa y plantación de chopos Clones Baldo y AF18

Actuaciones en vivero

- Preparado de sustrato en bandejas forestales con arena y perlita en una relación al 50%.
- Instalación de estaquillas de chopo y sauce en alveolos de 400 cc.
- Inoculación con hongos micorrízicos.
- Trasplante de las estaquillas a alveolos forestales de 1 litro, con terreno propio de las parcelas para su habituación.



Figura 3. Actuaciones realizadas en las parcelas de ensayo.

4. Resultados

Los resultados finales del proyecto se esperan para finales de 2018, pero se puede avanzar un resumen de los primeros resultados analíticos obtenidos sobre la caracterización de la contaminación previa en las parcelas.

Los datos incluidos en la Figura 4 son los datos de caracterización previa, de una investigación de la contaminación del suelo en el emplazamiento. Concretamente a la zona de actuación de las parcelas S5a y S5b le comprenden los puntos de muestreo PDM7 y PDM10, donde se aprecia la presencia de algunos contaminantes. Los valores que aparecen señalados en naranja superan los valores de límite establecidos por la ley de suelos contaminados (Ley 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo), es decir, se considera que hay contaminación cuando superan dichos valores de referencia. Se muestra únicamente aquellos valores que están por encima del límite y que concluyen que en dichos muestreos (entre 0,5 m y 3,5 m de profundidad) el suelo se encuentra contaminado.

PDM	Muestra	Parámetro analítico	Valor de la analítica (mg/kgms)	Valor de la incertidumbre (mg/kgms)	Valor límite de la Ley 4/2015 Otros Usos	Valor límite del RD 9/2005
PDM7	PDM7-S-M1	Benzo(a)pireno	0,03	0,00	0,02	---
		Hidrocarburos totales C10-C40	65	18,20	---	50
PDM10	PDM10-S-M1	Arsénico	52	7,28		
		Plomo	280	33,60	120	---
		Benzo(b)fluoranteno	0,24	0,03	0,2	---
		Benzo(a)pireno	0,14	0,02	0,02	---
		Dibenzo(a,h)antraceno	0,04	0,01	0,03	---
		PCBs	0,27	0,051	0,01	---
		Acetona	4,1	0,82	1	---
	PDM10-S-M2	Benzo(a)pireno	0,04	0,01	0,02	---
		PCB	0,029	0,005	0,01	---
		Acetona	2,5	0,5	1	---
PDM10-S-M3	Benzo(a)pireno	0,03	0,00	0,02	---	

Figura 4. Muestreo analítico de contaminación previo en S5a y S5b.

Posteriormente se realizó un muestreo detallado en superficie, tomando 18 muestras de suelo superficial en cada parcela para determinar la contaminación en dichos niveles (0 cm - 25 cm). Se analizaron metales, compuestos inorgánicos, Compuestos Aromáticos Volátiles, fenoles, PAH,

compuestos organohalogenados volátiles, clorobenzenos, clorofenoles, PCBs, HCH y PAH. Los resultados mostraron que en el caso de las parcelas S5a y S6 no existía contaminación en superficie.

Para la parcela S5b se detectaron varios compuestos por encima de los niveles límites de referencia. En el siguiente cuadro (Figura 5) se recogen únicamente aquellos parámetros que superan los niveles de referencia, destacando los PAH y PCBs.

Los parámetros por encima de los niveles de referencia, una vez realizadas las siembras y plantaciones, quedarán sometidos a seguimiento analítico para determinar la influencia de los tratamientos vegetales en su evolución; siendo el objetivo del proyecto conseguir reducirlos a niveles admisibles, reduciendo así el riesgo de contaminación.

			PARCELAS								
Parámetro	Unidad	VIE-B (otros usos)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
METALES											
plomo	mg/kgms	120	16	10	28	24	24	80	12	12	85
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICICLICOS											
benzo(b)fluoranteno	mg/kgms	0,2	0,04	0,3	0,06	0,09	0,08	0,04	<0,05	0,03	0,14
benzo(a)pireno	mg/kgms	0,02	0,02	0,2	0,04	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,09
dibenzo(a,h) antraceno	mg/kgms	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,04	<0,02	<0,02	<0,03	<0,02	0,02
COMPUESTOS ORGANOHALOGENADOS VOLÁTILES											
1,1-dicloroetano	mg/kgms	0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,3-dicloropropeno	mg/kgms	0,07	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
cloruro de vinilo	mg/kgms	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
POLICLOROBIFENILOS(PCB)											
PCB Totales (7)	µg/kgms	10	<7	<9	15	<17	9	<8,7	<17	<8,5	22
HIDROCARBUROS											
hidrocarburos totales C10-C40	mg/kgms	50	80	90	130	220	85	100	110	90	70
			PARCELAS								
Parámetro	Unidad	VIE-B (otros usos)	10	11	12	13	14	15	16	17	18
METALES											
plomo	mg/kgms	120	34	19	29	21	18	15	190	97	27
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICICLICOS											
benzo(b)fluoranteno	mg/kgms	0,2	0,09	0,05	0,06	0,09	0,02	<0,02	0,14	0,12	0,04
benzo(a)pireno	mg/kgms	0,02	0,06	0,03	0,03	0,06	<0,02	<0,02	0,09	0,07	0,02
dibenzo(a,h) antraceno	mg/kgms	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
COMPUESTOS ORGANOHALOGENADOS VOLÁTILES											
1,1-dicloroetano	mg/kgms	0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,3-dicloropropeno	mg/kgms	0,07	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
cloruro de vinilo	mg/kgms	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
POLICLOROBIFENILOS(PCB)											
PCB Totales (7)	µg/kgms	10	14	<8,4	8,8	<7,0	<7,0	<8,5	44	27	<7,0
HIDROCARBUROS											
hidrocarburos totales C10-C40	mg/kgms	50	45	130	100	45	45	110	25	30	70
Valor superior al VIE-B (otros usos)											
Valor igual al VIE-B (otros usos)											
Limite de detección superior al VIE-B (otros usos)											

Figura 5. Muestreo analítico para caracterización de la contaminación de los 25 cm superficiales para S5b (se muestran sólo aquellos valores que superaron los niveles de referencia).

5. Discusión

Además de estas analíticas mencionadas, se realizarán sobre las parcelas muestreos para la caracterización agronómica del suelo, estudios de su población microbiana y estudios fenológicos y biométricos de la vegetación. Con esta información, y en base a los resultados, se espera poder concluir cual de los tratamientos aplicados resulta más eficaz.

La eficiencia de los tratamientos habrá que discutirla en función de los resultados esperados, pues si bien en este ensayo es prioritaria la acción de descontaminación, no se puede descartar el interés de los productos derivados de la fitogestión como son la obtención de productos energéticos (biomasa, biodiesel,...) o la mejora de la salud del suelo.

6. Conclusiones

El proyecto pretende demostrar la capacidad de descontaminación y regeneración de suelos que tiene la técnica de la aplicación de compost unida a la fitorremediación con cultivos energéticos.

Los resultados esperados son la disminución en la concentración de contaminantes así como el aumento de concentración de parámetros relacionados con la salud del suelo (cantidad de materia orgánica, nitrógeno orgánico, oligoelementos y microfauna asociada entre otros). Como gestores de suelo público degradado, es de gran interés para el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz y otros que siguen el proyecto, determinar el método más eficaz de los seis tratamientos empleados, de cara a su futura aplicación para la restauración de la totalidad del ámbito. Sin embargo, será necesario esperar al avance del proyecto para obtener más resultados que puedan ofrecer conclusiones definitivas.

7. Agradecimientos

El proyecto PhytoSUDOE (SOE1/P5/E0189) está financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (Comisión Europea) a través del V Programa Interreg Sudoeste.

8. Bibliografía

BARRUTIA, O. et al.; 2010. Differences in EDTA-assisted metal phytoextraction between metalicolous and non-metalicolous accessions of *Rumex acetosa* L. *Environmental Pollution* 1-6.

BARRUTIA, O. et al.; 2013. Native Plant Communities in an Abandoned Pb-Zn Mining Area of Northern Spain: Implications for Phytoremediation and Germplasm Preservation. *Internacional Journal of Phytoremediation* 1-17.

CASLIN, B.; FINNAN, J.; McCracken, A.; 2010. *Short rotation coppice willow best practice guidelines* 2-66.

CASTAÑO, M.; CASTAÑO, J.; BARRIO, M.; ÁLVAREZ, P.; AFIF, E.; ROCES, J.V.; GORGOSO, J.J.; CÁMARA, A. 2013. Cultivos energéticos con sauce, chopo y abedul en terrenos ociosos de la minería: Primeros resultados. *Sociedad Española de Ciencias Forestales* 2-11.

DIMITRIOU, I. & ARONSSON P.; 2005. Sauces para energía y fitorremediación en Suecia. *Unasylva* 221, Vol 56, 46-50.

Ley 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo. En Boletín Oficial del Estado (BOE) núm. 176, de 24 de julio de 2015.

LIFE SEED CAPITAL, 2016. Utilización de aceite vegetal mezclado con diesel como combustible en maquinaria agrícola [en línea]. Disponible en: <http://lifeseedcapital.eu/wp-content/uploads/2016/12/use-of-vegetable-oil-blended-with-diesel-as-biofuel-in-farm-machinery-engines-and-vehicles.pdf> [Consulta: 7 de abril de 2017].

SIXTO, H. et al.; 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 1-18.