



**Elaboración de Tecnosuelos como soporte de  
infraestructura verde en Vitoria-Gasteiz a partir de  
subproductos de plantas municipales de residuos**

**Autor:** Juan Vilela Lozano

**Institución:** Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz

## Resumen

Tras el intenso desarrollo urbanístico de Vitoria-Gasteiz, la crisis inmobiliaria ha complicado la gestión del suelo municipal. Numerosas parcelas urbanizadas permanecen sin edificar y falta suelo vegetal que permita su acondicionamiento. Se han contabilizado 215 parcelas municipales vacantes (1.350.000 m<sup>2</sup>) con riesgo de degradación, lo que supone un considerable coste de mantenimiento.

Paralelamente, las plantas de tratamiento de residuos municipales (urbanos y de construcción) han mejorado su gestión y actualmente permiten reutilizar los subproductos resultantes.

Se inicia un proyecto piloto de creación de suelo artificial o tecnosuelo que a partir de la combinación adecuada de dichos subproductos, permita el acondicionamiento y mejora de los espacios vacantes o degradados.

El emplazamiento elegido es un lugar controlado, el Vertedero Municipal de Gardelegi, donde se ejecutan 22 parcelas experimentales: 18 testando 6 formulaciones distintas de suelo (por triplicado) más 4 parcelas de control de ingredientes. Sobre ellas se analizan periódicamente muestras de suelo bruto, eluatos y lixiviados naturales, contrastando los valores obtenidos con la legislación vigente.

Se estudia asimismo su capacidad para acoger cobertura vegetal, estableciendo sobre cada parcela cuatro tipos: una pradera para crear zona verde, un bosque para promover la biodiversidad, una plantación de sauce para biomasa y un cultivo energético de colza.

El objetivo final es evaluar la viabilidad de los tecnosuelos formulados y comprobar que además de sostener una infraestructura verde, pueden hacerlo sin producir contaminación o riesgo medioambiental sobre el entorno.

**Palabras clave:** tecnosuelos; residuos; reciclaje; recuperación; restauración; contaminación; infraestructura verde; parcelas vacantes; cultivo energético; colza; sauce.

## 1. INTRODUCCIÓN

La intensa urbanización sufrida en los últimos años en el término municipal de Vitoria-Gasteiz, unida al fin del crecimiento económico basado en la edificación, ha complicado gravemente la gestión del suelo municipal. Numerosas parcelas municipales (*Foto 1*) y privadas permanecen sin edificar y corren el riesgo de degradarse por acumulación de escombros o vertidos. En un estudio realizado en 2013 por el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz se contabilizaron 215 parcelas municipales vacantes en riesgo de degradación (aproximadamente 1.350.000 m<sup>2</sup> de superficie), lo que deriva en un considerable coste de mantenimiento.



*Foto 1. Parcela municipal vacante próxima al pueblo de Aríñez (T.M. de Vitoria-Gasteiz).*

*Foto 2. Acopio de material "Tierras de RCD" en la planta de tratamiento municipal.*

Asimismo, el cese de la actividad edificatoria conlleva una escasez de tierra vegetal de préstamos, material requerido como cobertura en obras de restauración y plantaciones. Por otro lado, las plantas municipales de tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU), de construcción y demolición (RCD) y de restos vegetales han mejorado notablemente su gestión en los últimos años, reduciendo en gran medida el volumen de residuos que acaban en vertedero. Esta gestión permite que gran parte de los subproductos resultantes puedan reutilizarse, pero aquellos sobre los que no existe todavía una demanda comercial en la actualidad permanecen acopiados (*Foto 2*) o son llevados a vertedero.

En base a experiencias previas como el proyecto Agrobento en la Cantera de Laminoria (2012) e instrucciones técnicas de residuos como la desarrollada en 2008 en Galicia, se plantea un proyecto piloto de creación de suelo artificial o tecnosuelo que a partir de la combinación adecuada de dichos subproductos, permita el acondicionamiento y mejora de los espacios vacantes o degradados.

Debido al origen de los materiales y al carácter experimental del proyecto se elige como emplazamiento para la obra un lugar apto para acoger residuos no peligrosos. Se propone construir en el Vertedero Municipal de Gardelegi 22 parcelas experimentales: 18 para testar 6 formulaciones distintas de tecnosuelo, que irán por triplicado, más 4 parcelas de control de ingredientes. Sobre ellas se realizarán análisis periódicos de suelo bruto, eluatos y lixiviados para contrastar si cumplen la legislación medioambiental vigente, comprobando de este modo su aptitud para ser empleados en ámbitos urbanos o periurbanos como los de las parcelas vacantes.

Para testar la capacidad de las parcelas de acoger cobertura vegetal, se establecen sobre cada una cuatro tipos de plantación en función del posible uso futuro del tecnosuelo: restauración de zonas degradadas (pradera y bosque) y cultivos energéticos (biomasa y biodiesel).

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo final del proyecto es la obtención de un sustrato, similar a la tierra, que tenga la capacidad de albergar una cobertura vegetal durante un espacio prolongado de tiempo, sin perder su estructura y sin tener incidencias negativas en el medio ambiente o el ser humano.

Como objetivos secundarios se pueden citar los siguientes:

- Dar una solución económicamente viable al problema de gestión de suelo municipal en relación a las numerosas parcelas vacantes de la ciudad.
- Revalorizar y reutilizar materiales que actualmente no tienen salida al mercado, reduciendo así un posible impacto ambiental sobre el medio y mejorando la gestión de las plantas municipales.
- Obtener un tecnosuelo apto para su empleo como sostén de infraestructura verde: ya sea destinado a áreas de restauración medioambiental en suelos degradados o bien para el establecimiento de cultivos energéticos, todo ello en coherencia con la estrategia municipal de lucha contra el cambio climático.

### 3. PROGRAMA DE ACTUACIÓN

El proyecto de investigación se plantea en tres fases consecutivas: ejecución de parcelas de tecnosuelos (Fase I), instalación de plantaciones (Fase II) y seguimiento (Fase III). El cronograma de las actuaciones ejecutadas y previstas se resume en la siguiente tabla:

	2013				2014								2015		
	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	OCT	DIC	JUN	DIC
<b>FASE I - EJECUCIÓN DE PARCELAS DE TECNOSUELOS</b>															
Acopio ingredientes (Ing)	Ing														
Ejecución mezclas (Mez)	Mez														
Maduración		Mez													
Formación celdas															
Relleno celdas (Cel)			Cel												
<b>FASE II – EJECUCIÓN DE SIEMBRAS Y PLANTACIONES</b>															
Plantaciones															
Siembras															
Siegas															
<b>FASE III - SEGUIMIENTO Y CONTROL</b>															
Muestras	Ing	Mez		Cel		Cel	Cel		Cel		Cel	Cel	Cel	Cel	Cel
Lixiviados naturales															
Tratamiento pulgón colza															
Medición cosecha colza															
Medición crecimiento bosque															
Medición biomasa pradera															
Medición crecimiento sauces															
Resalveo sauces															

*Tabla 1. Cronograma de las tres fases del proyecto.*

### 4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

#### FASE I: CELDAS DE TECNOSUELOS

En la primera fase se preparan los tecnosuelos a partir de la mezcla de los siguientes materiales:

- Tierras RCD's: procedentes de la Planta Municipal de Tratamiento de RCD's en Gardelegi.
- Material bioestabilizado: procedente de la Planta de Tratamiento Mecánico Biológico del Municipio de Vitoria-Gasteiz (BIOCOMPOST de Álava) + Poda triturada: procedente del mantenimiento de zonas verdes y obras del municipio
- Bentonitas recicladas: empresa ECOFOND (Agurain), del reciclaje de arenas de fundición.
- Tierras de Vitoria: tierra vegetal representativa de la existente en la capa superior de las parcelas municipales vacantes, procedente de un acopio en el Vivero Municipal.



**Fotos 3-6.** Materiales ingredientes de los tecnosuelos. **Foto 7.** Ejecución de la mezcla.

Siguiendo el cronograma descrito, los materiales o ingredientes se acopian en la zona de obra para su mezclado y posterior maduración. La composición de cada tipo de mezcla se resume en la *Tabla 2*. Se puede observar que las mezclas con subíndice 2 son una variación que contiene un porcentaje doble en volumen de los materiales ricos en materia orgánica (Material bioestabilizado y poda triturada):

COMPOSICIÓN DE TECNOSUELOS					
	Tierras RCDs	Material Bioestabilizado + Poda Triturada	Bentonita	Tierras de Vitoria	TOTAL
<b>M1.1</b>	85%	10% + 5%	0%	0%	100%
<b>M1.2</b>	70%	20% + 10%	0%	0%	100%
<b>M2.1</b>	65%	10% + 5%	0%	20%	100%
<b>M2.2</b>	50%	20% + 10%	0%	20%	100%
<b>M3.1</b>	70%	10% + 5%	15%	0%	100%
<b>M3.2</b>	55%	20% + 10%	15%	0%	100%

**Tabla 2.** Composición de las mezclas en % de volumen de cada ingrediente

La maduración de las mezclas se realiza durante 1 mes, con un volteo intermedio a las dos semanas para su aireado y homogeneización. En paralelo y para alojar las mezclas de tecnosuelos se ejecutan celdas o cubetas. Se construyen 22 celdas sobre el terreno: las 18 primeras acogerán los 6 tipos mezclas formuladas por triplicado y las 4 últimas, a modo de celdas de control, cada uno de los ingredientes empleados: Tierras de Vitoria, Material bioestabilizado con poda triturada, Bentonitas y Tierras de RCD's. Esto permitirá que los datos analíticos obtenidos se puedan tratar estadísticamente (cada mezcla se analizará por triplicado) mientras que las parcelas de control permitirán establecer bases comparativas para los resultados.

La estructura de las celdas (*Figura 1*) se conforma con Tierras de RCD que seguidamente se cubre con una lámina impermeabilizante que facilitará la recogida de lixiviados mediante la instalación de un grifo con acceso desde el exterior. La estructura interna de cada celda consiste en tres capas que se rellenan progresivamente: una capa inferior de 20 cm de balasto (40-80 mm) con función de capa drenante, una capa intermedia (sobre un geotextil para evitar colmataciones) de 40 cm de Tierras de RCD's como base del tecnosuelo y finalmente una capa superior de 40 cm con la mezcla de tecnosuelo correspondiente a cada celda.



**Fotos 8-11.** Construcción de parcelas: estructura, impermeabilización y llenado de las celdas.



**Figura 1.** Construcción de parcelas: lámina impermeable y tubo de drenaje (1), capa drenante (2), capa base (3) y capa superior con la mezcla de tecnosuelo (4).

## FASE II: PLANTACIONES

En la segunda fase del proyecto, una vez instalados los tecnosuelos, se realizan plantaciones y siembras para comprobar su capacidad de sostener cobertura vegetal y determinar cuál es el cultivo que se adapta mejor a cada tipo de mezcla. Para ello, se divide cada parcela en cuatro cuadrantes sobre los que se instalan los cuatro tipos de cobertura vegetal correspondientes a los posibles usos de las parcelas vacantes (ver Figuras 2 y 3):

- a) **PRADERA:** siembra de herbáceas para crear una pradera seminatural, destinada a cubrir parcelas vacantes que requieran una superficie verde multiusos (paseo, juegos, etc.) o a restaurar zonas degradadas que posteriormente permitan la colonización natural. (Dosis 30 gr de semilla/m<sup>2</sup>). La mezcla de especies empleada en la siembra fue la siguiente:

GRAMÍNEAS	PORCENTAJE
<i>Brachypodium phoenicoides</i>	30%
<i>Dactylis glomerata</i>	30%
<i>Festuca rubra</i>	20%
LEGUMINOSAS	
<i>Trifolium repens</i>	10%
<i>Lotus corniculatus</i>	5%
<i>Medicago sativa</i>	5%

- b) BOSQUE: plantación mixta de planta forestal de varios estratos (matas, arbustos, arbolado) destinada a restauraciones que fomenten los valores ecosistémicos de los bosques y busquen la integración en el entorno. En cada cuadrante se plantan 12 árboles, 15 arbustos y 58 matas. La lista de especies, correspondiente a la vegetación potencial del quejigal autóctono, es la siguiente:

ÁRBOLES	UDS/PARCELA
<i>Quercus faginea</i>	2
<i>Quercus ilex</i>	2
<i>Fraxinus excelsior</i>	2
<i>Acer campestre</i>	2
<i>Sorbus aria</i>	2
<i>Salix atrocinerea</i>	2
ARBUSTOS	UDS/PARCELA
<i>Rhamnus alaternus</i>	2
<i>Viburnum lantana</i>	2
<i>Corylus avellana</i>	2
<i>Prunus spinosa</i>	2
<i>Buxus sempervirens</i>	2
<i>Juniperus communis</i>	2
<i>Crataegus monogyna</i>	2
<i>Sambucus nigra</i>	1
MATAS	UDS/PARCELA
<i>Genista scorpius</i>	6
<i>Thymus vulgaris</i>	6
<i>Salvia lavandulifolia</i>	6
<i>Lonicera peryclimenum</i>	6
<i>Lavandula latifolia</i>	6
<i>Origanum vulgare</i>	6
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	6
<i>Lonicera xylosteum</i>	6

- c) BIOMASA: plantaciones de estaquillas de la especie *Salix atrocinerea* procedentes de clones de 4 localizaciones del municipio para testar su producción de biomasa con fines energéticos. Es un género idóneo tanto para descontaminación, por sus cualidades fitorremediadoras, como para la producción de biomasa por su rápido crecimiento y adaptación a turnos de corta de ciclo corto. Se plantan 24 sauces en cuatro filas de 6 ejemplares.

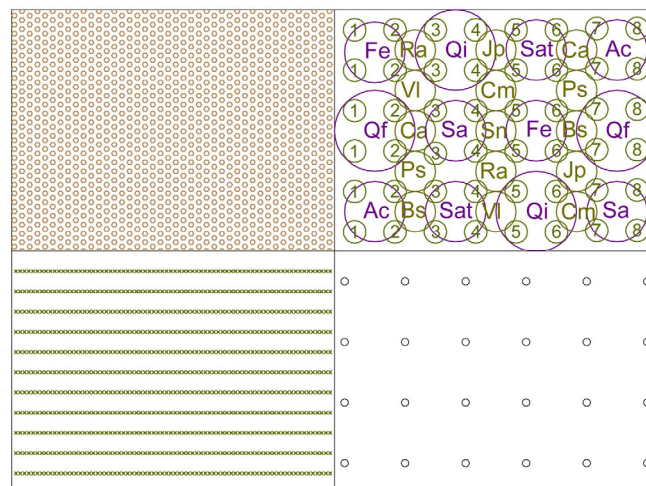


- d) **CULTIVO ENERGÉTICO:** plantación de cultivo agrícola para aprovechamiento energético (biodiesel, biomasa) en parcelas vacantes. Se trata de cultivos de rotación que cambian cada año proponiéndose el siguiente esquema: colza, trigo, girasol y leguminosa. Se escoge para el primer año el cultivo de colza (*Brassica napus spp.*), oleaginosa que entre otros usos produce un aceite apto para biodiesel, realizándose la plantación y seguimiento en colaboración con un proyecto de reducción de emisiones (*Life Seed Capital*) de Neiker-Tecnalia. (Dosis: 300 semillas/m<sup>2</sup>).

### VOCACIÓN DEL SUELO

I. PRADERA Siembra	II. BOSQUE Arboles, arbustos y herbáceas
III. BIODIESEL Colza	IV. BIOMASA Estaquillas de sauce

**Figura 2.** Distribución de los diferentes cultivos.



**Figura 3.** Esquema gráfico de las plantaciones.

Los tratamientos sobre la vegetación se resumen en el cronograma de la *Tabla 1*. No se incluyen abonados para evitar influencias sobre los muestreos de suelo. Durante el mes de mayo y tras una visita de control, se decide dar sobre la plantación de colza un tratamiento antipulgones a la colza para garantizar su viabilidad. El seguimiento de cultivos se comenta en la siguiente fase.

### FASE III: SEGUIMIENTO Y CONTROL

La última fase, que tiene prevista su finalización en diciembre de 2016, consiste en el control analítico y seguimiento del experimento. Por un lado, se realizan una serie de muestreos periódicos sobre el suelo y los lixiviados de las parcelas, que se contrastan con la legislación vigente (*Ley 1/2005, Decreto 49/2009 y Real Decreto 849/1986*, ver bibliografía) comprobando que los tecnosuelos no tengan ningún efecto de contaminación sobre el medioambiente. Por otro, se realizan mediciones dasocráticas y de producción sobre los cuatro tipos de cubierta vegetal para evaluar su capacidad productiva y sus propiedades energéticas.

#### ANALÍTICAS DE SUELOS. PRIMEROS RESULTADOS

El seguimiento analítico de suelos se prevé para tres años, siendo viable realizar un intenso seguimiento gracias a la colaboración del DEMSAC, laboratorio ambiental del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, que aporta al proyecto sus recursos humanos y técnicos.

La primera analítica se realiza sobre muestras de ingredientes (sep. 2013) y un mes más tarde (oct. 2013) se realiza la segunda sobre las seis mezclas de tecnosuelo antes de ser colocadas en las celdas. Ya instaladas las mezclas en sus celdas correspondientes (dic. 2013) se da inicio al primer año de seguimiento que consistirá en 6 muestreos periódicos bimensuales (hasta dic. 2014). El segundo año se realizarán 2 muestreos semestrales y al final de tercer año (dic. 2016) se repetirá una última analítica completa. Se realizan análisis tanto del suelo bruto como de los eluatos (ensayos de lixiviación en laboratorio).

Actualmente se está en el primer año del seguimiento habiéndose obtenido resultados de varios muestreos. Para esta comunicación se incluyen en el siguiente apartado los resultados del primer muestreo (ingredientes) y del segundo (mezclas de tecnosuelos). La selección de parámetros analizados surge de la legislación citada ampliándose con algunos otros valores propios de la caracterización de suelos agronómicos.



**Fotos 12-14.** Muestreo de ingredientes, de mezclas y de celdas de tecnosuelos.

#### LIXIVIADOS NATURALES

Además de los ensayos de lixiviación en laboratorio (eluatos) se recogen muestras del lixiviado natural de los suelos a través de la apertura de los grifos instalados en las parcelas a tal efecto. La recogida de lixiviados naturales se efectuó bien al alcanzarse una precipitación acumulada de 150 mm o bien transcurridos dos meses desde la última recogida.



**Fotos 15-17.** Grifos, recogida y medición de lixiviados naturales de las celdas.

## COBERTURA VEGETAL

Para el control de la vegetación, además de visitas periódicas donde se fotografía regularmente el estado de la cobertura, se mide en campo el porcentaje de arraigo y su crecimiento, así como la producción de biomasa tras la siega o cosecha. Cada tipo de cobertura se mide según un protocolo diferente que se resume a continuación:

Para el control del éxito de los sauces se toma nota de su arraigo en todos los individuos. Sobre aquellas estaquillas que han arraigado (éxito en el establecimiento) se controla el crecimiento anotando el número de brotes por estaquilla así como el diámetro y altura de los tres mayores brotes.

En el caso de la plantación forestal, se controla el éxito mediante el porcentaje de marras (pies no establecidos) en toda la planta instalada. Para evaluar el crecimiento, se miden el diámetro basal y la altura de dos ejemplares para cada especie por parcela.



**Fotos 18-20.** Medición de sauces y de la plantación forestal.

En la pradera, se evalúa el éxito con un seguimiento de visu del porcentaje de cobertura sobre cada parcela. La producción se estima por la biomasa existente en un metro cuadrado de la parcela, recogida mediante siega de un recinto de 1 m<sup>2</sup> de hierba para su secado y pesaje.



**Fotos 21-23.** Siembra de pradera, siega de 1 m<sup>2</sup> y secado para pesaje de biomasa.

El control de la plantación de colza recae en los colaboradores de Neiker-Tecnalia que emplean fichas con estados fenológicos típicos de la planta, anotando el porcentaje de cobertura correspondiente a cada etapa de desarrollo. La producción se mide sobre la cosecha en peso de semilla producida por superficie (Kg/ha). Posteriormente, para el caso de la colza, se caracterizará la calidad el aceite obtenido en prensa.



**Fotos 24-25.** Siega de colza, secado y separación de semillas para su análisis.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### ANALÍTICAS DE INGREDIENTES Y MEZCLAS

Las siguientes dos tablas corresponden a los resultados analíticos de los dos primeros muestreos realizados: sobre los ingredientes de tecnosuelos y sobre las mezclas de los mismos en la composición descrita anteriormente para la formación de los seis tipos de tecnosuelos.

En cuanto al muestreo de ingredientes (ver *Tabla 3*) al comparar los valores obtenidos con los límites de contaminación de la legislación autonómica, destacan algunos valores elevados obtenidos sobre los eluatos (ensayos de lixiviación según Ley 49/2009, coloreados en el cuadro superior de la tabla) que se resumen a continuación:

- En el análisis del ingrediente “Tierras RCD” se observaron valores ligeramente elevados en los metales Sb y Se al superarse el límite establecido para “inertes”. También fue así con los niveles de fluoruros.

- El material bioestabilizado presenta valores ligeramente altos (“no peligroso”) en algunos metales como Cu, Ni, Sb y Zn. Resultó muy elevado el valor de COD (Carbono Orgánico Disuelto) superando el límite de “no peligroso”.
- En el caso de poda triturada un metal sobrepasa el límite de “inerte”, el Sb, y al igual que ocurría con el material bioestabilizado, los niveles de COD son muy elevados.
- La bentonita reciclada sólo presenta valores elevados en el caso de los fluoruros.
- Los valores para Tierras de Vitoria están todos dentro del límite de “inerte”, es decir, los resultados no presentan ningún tipo de contaminación.

En cuanto al muestreo de las mezclas (ver *Tabla 4*), los resultados fueron muy positivos:

- En cuanto a metales pesados los datos están todos dentro del límite admisible por la legislación aplicable (rango de “inertes”) evidenciando que la combinación empleada en la mezcla elimina los niveles de contaminación detectados para los ingredientes.
- Los valores de Carbono Orgánico Disuelto (COD) y Carbono Orgánico Total (COT) continúan siendo elevados, debiéndose al aporte de materia orgánica que se ha recibido del material bioestabilizado y de la poda triturada (mayores valores en parcelas con subíndice 2, con doble porcentaje de estos ingredientes). Dado que los niveles de la legislación aplicada se refieren a depósito en vertedero y ejecución de rellenos, se consulta al órgano ambiental sobre estos parámetros. El órgano ambiental concluye que dichos valores no suponen un inconveniente: el valor del parámetro no es considerado problemático por los técnicos dado que el uso al que se quieren destinar estos tecnosuelos (plantaciones y siembras) requiere que los suelos contengan una concentración suficiente de materia orgánica similar a la aquí obtenida (3-6 %) y que se relaciona directamente con el valor de COD.

Nº REGISTRO				157951	157948	158286	157949	157950
NORMATIVA	LÍMITES			Tierras RCD	Mat. Bioestab	Poda triturada	Bentonita reciclada	Tierras Vitoria
49/2009	Inerte	No peligroso	Peligroso					
<b>Componente (mg/kg de materia seca)</b>								
As	0,5	2	25	0,096	0,2	0	0,1	0,03
Cd	0,04	1	5	0,04	0	0	0,02	0,02
Cr total	0,5	10	70	0,18	0	0	0,04	0,03
Cu	2	50	100	0,47	8,2	0	0	0,08
Mo	0,5	10	30	0,27	0,3	0	0,26	0,04
Ni	0,4	10	40	0,09	0,9	0	0,05	0,02
Pb	0,5	10	50	0	0,3	0	0,05	0,02
Sb	0,06	0,7	5	0,07	0,4	0,1	0,02	0,01
Se	0,1	0,5	7	0,12	0,5	0	0,04	0,03
Zn	4	50	200	0,22	13,2	0	0,36	0,16
Ba	20	100	300	0,52	0	0	0,18	0,84
Fluoruro	10	150	500	44,8	1	1	74,3	6,5
COD	500	800	1000	80,2	10500	6875	155	63,4
<b>Parámetros (mg/kg)</b>								
BTEX	6			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
pH		<6		8,65	8,26	7,11	9,55	8,51
<b>1/2005 - LÍMITE VIE-B</b>								
<b>Metales pesados (ppm)</b>								
Arsénico	30			0,0	0,0	0,0	0,0	3,8
Cadmio	25			1,9	2,0	0,0	1,9	1,9
Cobre	10000			5,8	181,5	5,8	11,3	7,7
Cromo (total)	400			53,8	21,9	3,9	18,9	26,9
Molibdeno	250			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Niquel	500			23,1	21,9	3,9	18,9	13,4
Plomo	450			17,3	39,9	40,7	20,8	26,9
Zinc	10000			192,2	265,2	255,8	94,4	53,8
<b>Otros compuestos inorgánicos (ppm)</b>								
Cianuros	5			0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
<b>Compuestos orgánicos volátiles (ppm)</b>								
Benceno	5			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Etilbenceno	20			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tolueno	40			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Xileno	40			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fenol	25			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (ppm)</b>								
Antraceno	500			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo(a)pireno	2			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fluoranteno	60			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Naftaleno	10			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Pesticidas (ppm)</b>								
a-HCH	1			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
b-HCH	0,1			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
c-HCH	0,1			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Parámetros físicos</b>								
Densidad(g/ml)				1,67	0,7	0,41	1,05	1,36
Humedad				7,46	20,25		20,91	8,46
Conductividad eléctrica(μS/cm)				2100	9200	1100	1150	88
M.O. DEMSAC (%)				4,1	79,2	100	8,7	8,3
N total				510,78	16549,2		2154,06	1107,79
K total				3171,2	5583,3	2325,1	1453,1	4530,6
P total				301	7272,2	1015,5	160	606,1

Tabla 3. Resultados analíticos de los ingredientes para tecnosuelos en Gardelegi.

N° REGISTRO				159183	159184	159185	159186	159187	159188
<b>NORMATIVA</b>	<b>LÍMITES</b>			<b>M 1-1</b>	<b>M 1-2</b>	<b>M 2-1</b>	<b>M 2-2</b>	<b>M 3-1</b>	<b>M 3-2</b>
<b>49/2009</b>	Inerte	No peligroso	Peligroso						
<b>Componente (mq/kg de materia seca)</b>									
As	0,5	2	25	0,08	0,09	0,07	0,1	0,07	0,08
Cd	0,04	1	5	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
Cr total	0,5	10	70	0,03	0,05	0,02	0,04	0,02	0,04
Cu	2	50	100	0,39	0,26	0,15	0,17	0,14	0,13
Mo	0,5	10	30	0,14	0,18	0,13	0,16	0,16	0,21
Ni	0,4	10	40	0,1	0,17	0,1	0,17	0,14	0,22
Sb	0,06	0,7	5	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Se	0,1	0,5	7	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03
Zn	4	50	200	0,14	0,37	0,15	0,4	0,18	0,53
Ba	20	100	300	0,34	0,33	0,61	0,58	0,37	0,3
Fluoruro	10	150	500	2,8	2,2	2,7	2,5	4	4,6
COD	500	800	1000	579	1272	459,8	1108	610,8	1328
<b>Parámetros (mq/kg)</b>									
COT	30000	50000	60000	19000	32700	15300	20000	17900	34800
BTEX	6			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
PCB	1			0,05	0	0	0	0	0
pH		<6		7,8	7,7	7,69	7,72	7,63	7,7
<b>1/2005 LÍMITE VIE-B</b>									
<b>Metales pesados (ppm)</b>									
Arsénico	30			3,6	13,7	1,6	0,0	3,6	0,0
Cadmio	2,5			0,0	2,0	1,6	0,0	1,8	1,5
Cobre	10000			16,3	66,4	20,9	39,8	64,7	74,6
Cromo (total)	400			21,7	21,5	35,4	39,8	46,7	26,8
Molibdeno	250			1,8	3,9	1,6	1,9	3,6	1,5
Niquel	500			10,8	29,3	16,1	18,9	28,8	19,4
Plomo	450			19,9	27,3	16,1	24,6	71,9	38,8
Zinc	10000			75,9	117,2	72,5	134,4	152,8	147,7
<b>Otros compuestos inorgánicos (ppm)</b>									
Cianuros	5			<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
<b>Compuestos orgánicos volátiles (ppm)</b>									
Benceno	5			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Etilbenceno	20			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tolueno	40			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Xileno	40			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (ppm)</b>									
Antraceno	500			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo(a)pireno	2			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fluoranteno	60			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Naftaleno	10			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Pesticidas (ppm)</b>									
a-HCH	1			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
b-HCH	0,1			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
c-HCH	0,1			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Otros compuestos inorgánicos</b>									
PCB	0,8			0,05	0	0	0	0	0
<b>Parámetros físicos</b>									
Arena gruesa (%)				7,49	22,47	41,31	45,66	30,79	27,63
Arena fina (%)				28,32	30,81	19,27	20,72	28,24	29,95
Limo (%)				46,35	34,73	27,19	24,64	29,77	32,31
Arcilla (%)				17,84	11,99	12,23	8,98	11,20	10,11
Densidad(g/ml)				1,45	1,16	1,26	1,20	1,23	1,05
Humedad				8,43	-	9,65	9,56	9,63	11,40
Conductividad eléctrica(µS/cm)				2.350	3.300	2.550	3.200	3.100	3.600
M.O NEIKER (%)				3,27	5,63	2,64	3,44	3,08	5,98
N total				2.021,00	3.628,00	1.587,30	3.204,60	2.380,00	4.162,00
C total				92.800	107.000	87.700	95.100	103.000	115.000
K total				305,40	2.715,40	2.914,70	3.464,60	2.606,50	2.908,30
P total				713,72	1.502,25	839,29	1.601,86	1.489,30	2.444,44

Tabla 4. Resultados analíticos de las mezclas de tecnosuelos.

## ANALÍTICAS DE CELDAS

La serie de muestreos sobre las celdas de tecnosuelos correspondiente al primer año no se ha completado aún pero se puede avanzar algún resultado. Los valores que se están obteniendo son similares a los obtenidos en las mezclas, habiéndose detectado como novedad valores elevados en las primeras analíticas de eluatos (ensayos de lixiviación) para sulfatos y en algunas celdas también fluoruros. Estos valores tienden a descender con el paso del tiempo por el efecto de lavado, entrando todos los valores de cloruros en el rango de “inertes” a partir del tercer mes. Comparando los valores obtenidos con las parcelas de control se concluyó que los cloruros eran debidos en su mayoría al ingrediente “material bioestabilizado y poda triturada” mientras que los sulfatos se asociaron al ingrediente “Tierras de RCD”.

Además de estos datos del ensayo de lixiviación en laboratorio, dado que se habían instalado grifos de recogida de lixiviados naturales en cada una de las celdas, se contrastaron sus valores con los rangos admitidos para vertido a cauce según el Real Decreto de Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986). Todos los valores de sulfatos y cloruros medidos sobre los lixiviados naturales entraron dentro del rango admisible.

## CONTROL DE LA COBERTURA VEGETAL

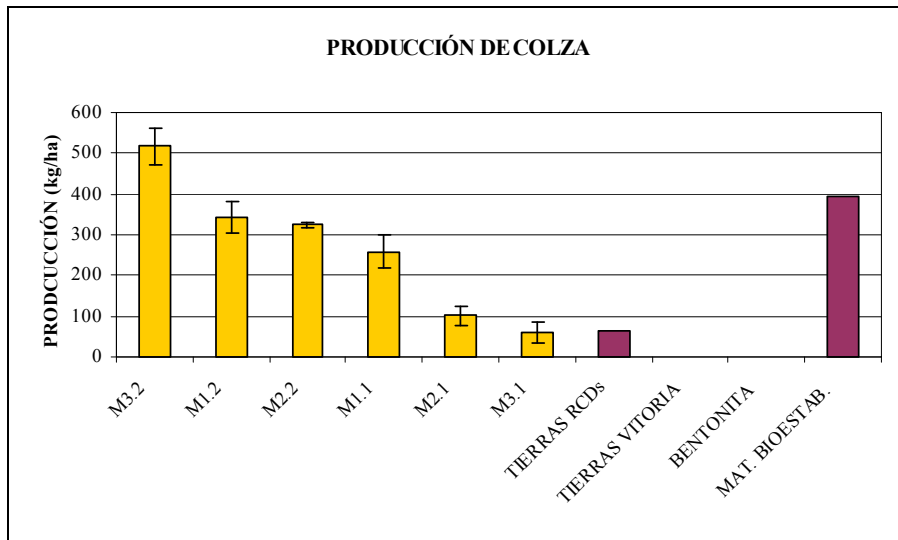
En los controles fotográficos periódicos en campo (control de visu) se comprueba que los cultivos de “Pradera” y “Colza” se desarrollan mejor sobre las mezclas M12, M22 y M32, aquellas con mayor % de ingredientes ricos en materia orgánica. Para los cultivos de “Sauce” y “Plantación Forestal” es el caso contrario, pues tiene mejor arraigo y desarrollo sobre las mezclas M11, M21 y M31 donde la proporción del ingrediente tierras de RCD es mayor. Esta tendencia se evidencia y comprueba también sobre las parcelas de control de ingredientes. Como muestran las fotos siguientes, es mucho mayor el desarrollo de la pradera y colza (izquierda de la foto) sobre la parcela de control 21 (poda triturada y material bioestabilizado) que sobre la parcela de control 24 (tierras de RCD), mientras que para los sauces y la plantación forestal (derecha de la foto) es lo contrario.



**Foto 26-27:** desarrollo muy diferenciado de cultivos sobre las parcelas de control de ingredientes (Izda: Parcela 21, material bio-estabilizado con poda triturada; Dcha: Parcela 24, tierras de RCD's)

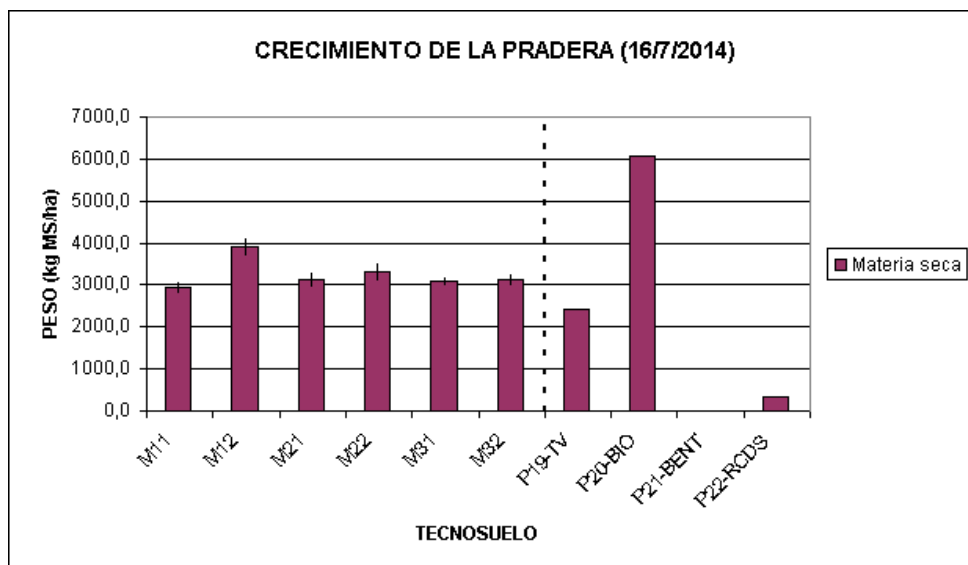


Estos datos son también coherentes con las mediciones obtenidas de producción para cada cultivo. En el caso de la colza, las mezclas con mayor cantidad de materia orgánica producen más kilogramos de semilla por hectárea, especialmente en la que contiene también “bentonitas recicladas” (M32) así como en la parcela de ingredientes correspondiente al material bioestabilizado con poda triturada.



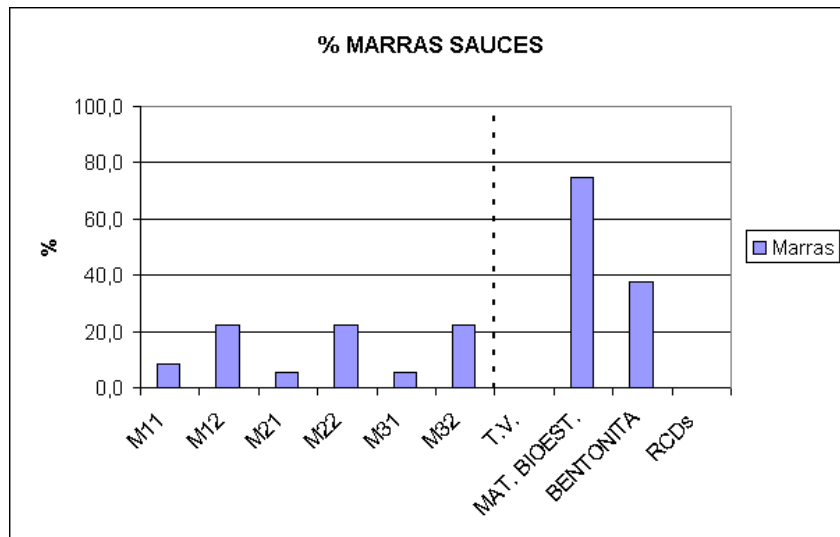
**Figura 4.** Datos de producción de la colza.

La conclusión es extensible al caso de la pradera, donde las mezclas M12, M22 y M32 son también las más productivas, aunque no tan evidente como en la colza. De nuevo, la parcela número 21 correspondiente a los ingredientes ricos en M.O. destaca por su productividad duplicando al resto en producción, en este caso de biomasa seca.



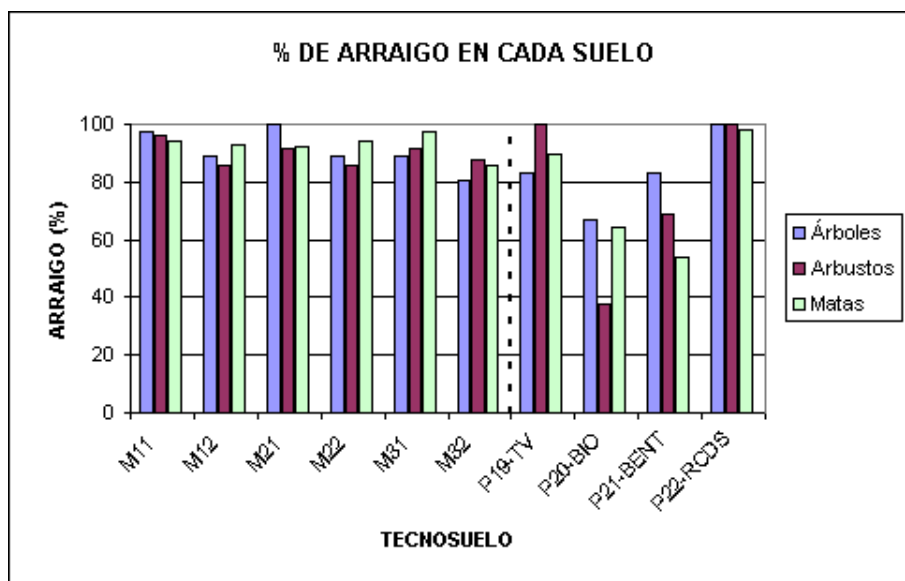
**Figura 4.** Producción de biomasa de la pradera.

Para el caso de los sauces, analizando su arraigo, es el caso contrario a los anteriores, la mayor cantidad de materia orgánica es desfavorable. El mayor porcentaje de marras (planta fallida) se da en las mezclas pares (M12, M22, M32) así como sobre la parcela de control de ingredientes del material bioestabilizado. Sin embargo, se comprueba que los materiales Tierras de Vitoria y Tierras de RCD son idóneos para esta plantación, con un éxito de arraigo que alcanza el 100% de los sauces.



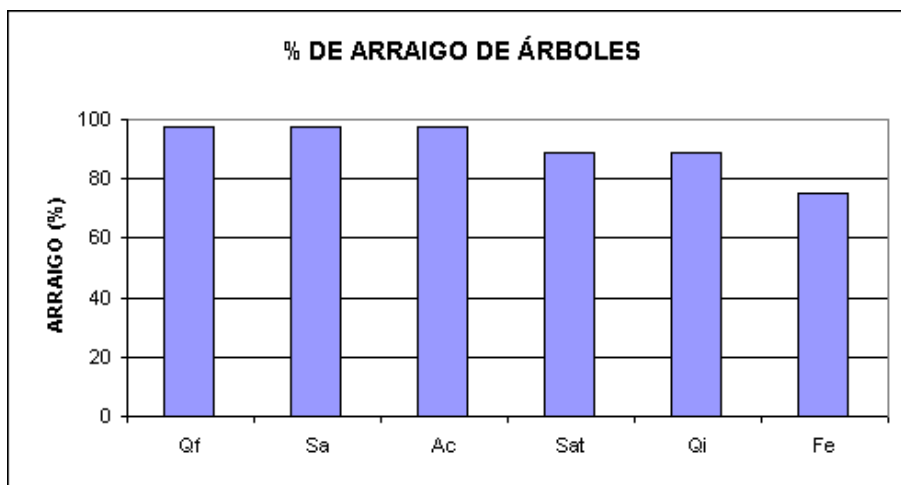
**Figura 5.** Porcentaje de marras de sauces.

Por último, en la plantación de “Bosque” (combinación de árboles, arbustos y matas) las diferencias de arraigo (porcentaje de marras) no son exageradas entre las distintas mezclas, siendo un poco mejores los resultados en aquellas con mayor porcentaje de “Tierras de RCD” (M11, M21, M31). Destaca como buen ingrediente para este tipo de plantación las “Tierras de RCD” con un llamativo 100% de éxito para el bosque en su parcela de control (P22).

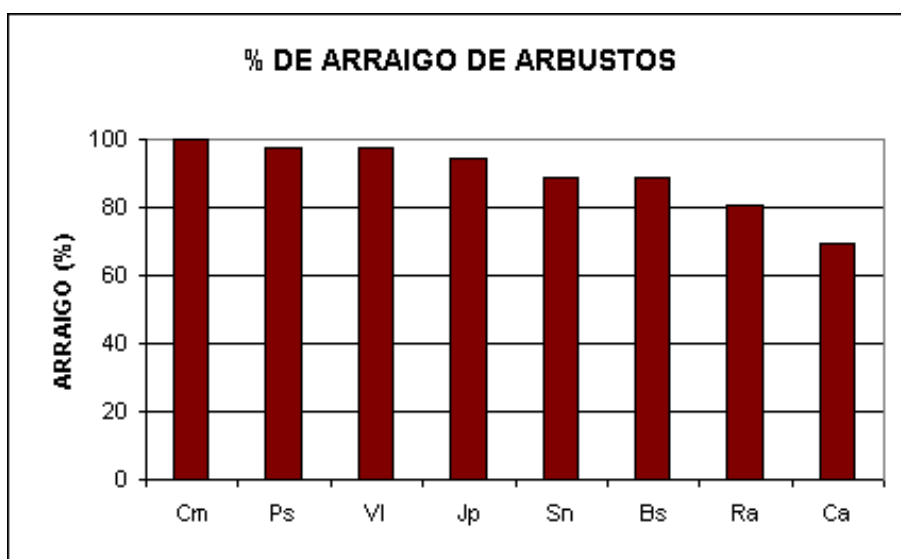


**Figura 6.** Porcentaje de arraigo de árboles, arbustos y matas.

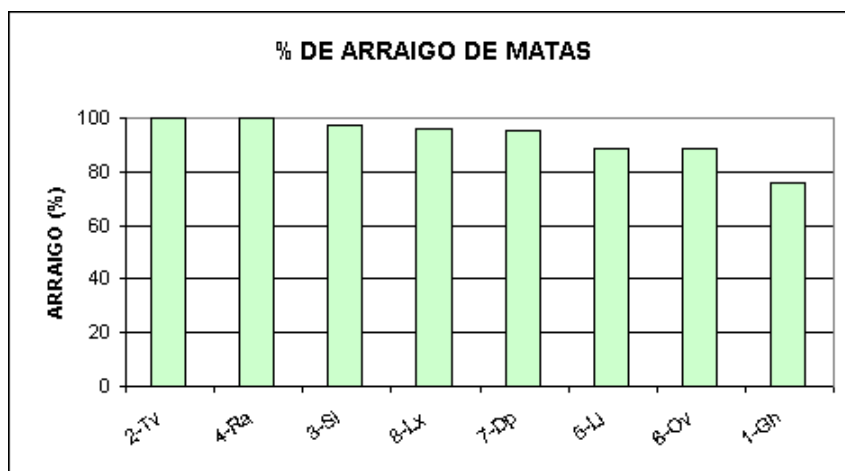
El control del éxito de arraigo de cada especie en el “Bosque” nos permite establecer unas primeras conclusiones sobre qué tipo de plantas son más adecuadas de cara a realizar una restauración empleando el tecnosuelo como sustrato. Serían aquellas especies que presentan un mayor porcentaje de arraigo según los gráficos siguientes:



**Figura 8.** Porcentaje de arraigo de las especies de árboles. (Qf: *Quercus faginea*, Sa: *Sorbus aria*, Ac: *Acer campestre*, Sat: *Salix atrocinerea*, Qi: *Quercus ilex*, Fe: *Fraxinus excelsior*)



**Figura 9.** Porcentaje de arraigo de las especies de arbustos. (Cm: *Crataegus monogyna*, Ps: *Prunus spinosa*, Vl: *Viburnum lantana*, Jp: *Juniperus communis*, Sn: *Sambucus nigra*, Bs: *Buxus sempervirens*, Ra: *Rhamnus alaternus*, Ca: *Corylus avellana*)



**Figura 10.** Porcentaje de arraigo de las especies de matas. (2-Tv: *Thymus vulgaris*, 4-Ra: *Ruscus aculeatus*, 3-Sl: *Salvia lavandulifolia*, 8-Lx: *Lonicera xylosteum*, 7-Dp: *Dorycnium pentaphyllum*, 5-Ll: *Lavandula latifolia*, 6-Ov: *Origanum vulgare*, 1-Gh: *Genista hispanica*)

Siendo este un dato del éxito inicial, serán los datos de crecimiento durante los siguientes años lo que permita discernir la mayor capacidad de desarrollo de cada especie.

## 6. CONCLUSIONES

Las analíticas obtenidas hasta la fecha permiten determinar que la composición de tecnosuelos empleada consigue crear un sustrato admisible por la legislación autonómica vasca para el uso de parque público. Siendo el suelo natural es un recurso limitado, su empleo resulta apropiado en la restauración de parcelas contaminadas, sobre suelos alterados o en parcelas donde el suelo ya no está presente.

Las composiciones de tecnosuelos con mayor porcentaje de ingredientes ricos en materia orgánica (material biestabilizado y poda triturada) resultan más apropiadas para el establecimiento de praderas y para el cultivo energético de colza, pues se obtiene mayor arraigo y producción que en el resto. Para el cultivo energético de sauces así como para la plantación forestal, el mayor porcentaje de arraigo se da sobre las composiciones de con mayor porcentaje del ingrediente "Tierras de RCD's" y menor porcentaje de materia orgánica.

Por ello, los tecnosuelos se presentan como una buena solución para el problema inicial comentado de gestión del suelo municipal vacante así como para el de la falta de suelo apto para plantaciones. No obstante, para poder extraer conclusiones más firmes y a largo plazo, se deberá completar el seguimiento durante los tres años previstos.

Está previsto además ampliar el estudio sobre las celdas de tecnosuelos, en colaboración con la universidad del País Vasco, para analizar en detalle la relación suelo-planta y la diferente evolución de un mismo suelo bajo cada tipo de cultivo.

Al tratarse de un experimento en marcha, se incluye el siguiente enlace del blog creado para seguir los avances del proyecto: <http://tecnosuelosgardelegi.blogspot.com.es/>

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Aronsson, P., Dimitriou, I., 2005. Sauces para energía y fitorremediación en Suecia. *Unasylva* 221, Vol 56, 47-50.
- Camps Arbestain, M., Madinabeitia, Z., Anza Hortalà, M., Macías-García, F., Virgel, S., Macías Vázquez, F., 2008. Extractability and leachability of heavy metals in Technosols prepared from mixtures of unconsolidated wastes. *Waste Manage.* 28, 2653-2666.
- Chapman, H.D., 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. University of California.
- IHOBE. Efecto acondicionador de bentonitas recicladas sobre la fracción de lodos EDAR: Proyecto de rehabilitación de áreas naturales alteradas. IHOBE, Sociedad pública de gestión ambiental; 2013.
- Instrucción técnica de residuos referente a la fabricación de suelos (tecnosoles) derivados de residuos. ITR/01/08 de 8 de enero. Diario Oficial de Galicia, nº18, 25 de enero de 2008.
- Lehmann, A., Stahr, K., 2007. Nature and significance of anthropogenic urban soils. World congress of soil science (WCSS). *J Soils Sediments* 7 (4), 247 – 260.
- Macías Vázquez, F., 2001. Perspectivas de la aplicación de residuos orgánicos al suelo. Aplicación agrícola de residuos orgánicos: 5º Curso de Ingeniería Ambiental, Lleida 23-24-25 de abril de 2001, ISBN 84-8409-093-0, pp. 329 354.
- Macías Vázquez, F., 2004. Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental. *Recursos Rurais*, 1, 49-56.
- Macías Vázquez, F., Bao, M., Macías-García, F., 2007. Valorización biogeoquímica de residuos por medio de la elaboración de Tecnosoles con diferentes aplicaciones ambientales. *Agua Residuos* 5,12–25.
- Macías Vázquez, F., Camps Arbestain, M., 2010. Soil carbon sequestration in a changing global environment. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*. DOI 10.1007/s11027-010-9231-4.
- Macías Vázquez, F., Camps Arbestain, M., Rodríguez-Lado, L., 2005. Alternativas de secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia. *Recursos Rurais* 1, 71-85.
- Morel, J.L. et al, 2008. Soil Construction: a step for ecological reclamation of derelict lands. *J Soils Sediments* 8 (2), 130-136.
- Prevención y corrección de la contaminación del suelo. Ley 1/2005 de 4 de febrero. Boletín Oficial del País Vasco, nº32, 16 de febrero de 2005.
- Quintas, Y., Macías Vázquez, F., 1992. Datos para la recuperación de suelos de minas de Galicia: capacidad natural y alternativas de mejora. *Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe* 17, 97-106.

Reglamento Público Hidráulico. Real Decreto 849/1986 de 11 de abril. Boletín Oficial del Estado, nº103, 30 de abril de 1986.

Regulación de la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la ejecución de los rellenos. Decreto 49/2009 de 24 de febrero. Boletín Oficial del País Vasco, nº 54, 18 de marzo de 2009.

VV.AA. Universidad de Oviedo, 2008. Ensayos de cultivos energéticos en antiguos terrenos de cielo abierto de Hunosa. Universidad de Oviedo, Mieres, España.

Yao, F.X., Macías Vázquez, F., Santesteban, A., Virgel, S., Blanco, F., Jiang, X., Camps Arbestain, M., 2009a. Influence of the acid buffering capacity of different types of Technosols on the chemistry of their leachates. Chemosphere 74, 250-258.