

# PROCESOS DE REGENERACIÓN DE SUELOS Y SISTEMAS FORESTALES EN PARAMERAS CALIZAS. ENSAYOS EN EL PÁRAMO DE MASA (BURGOS)

Macías, F.<sup>1</sup>; Bao, M.<sup>2</sup>; Rodríguez, L.<sup>3</sup>; Castresana, J.M.<sup>4</sup>; Allué, C.<sup>5</sup> & García-López, J.M.<sup>6</sup>

(1) Laboratorio de Tecnología Ambiental. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Campus Sur. 15706 Santiago de Compostela. Felipe Macías. [edfmac@usc.es](mailto:edfmac@usc.es)

(2) Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Santiago. [eqbao@usc.es](mailto:eqbao@usc.es)

(3) Laboratorio de Tecnología Ambiental. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Campus Sur. 15706 Santiago de Compostela.

(4) Unión Española de Explosivos S.A. C/ Zuazo s/n. 48960 Galdácano (Vizcaya). [jcastres@uee.es](mailto:jcastres@uee.es)

(5) Junta de Castilla y León. Servicio Territorial de Medio Ambiente. Área de Medio Natural. Juan de Padilla s/n. 09071 Burgos. [garlopjv@jcy1.es](mailto:garlopjv@jcy1.es)

(6) Junta de Castilla y León. Servicio Territorial de Medio Ambiente. Área de Medio Natural. Juan de Padilla s/n. 09071 Burgos. [allcamca@jcy1.es](mailto:allcamca@jcy1.es)

## Resumen

En el Páramo de Masa (Burgos), la casi totalidad de los suelos actuales son "suelos lépticos" (Leptosoles calcáreos, rendsicos o líticos) con contacto lítico sobre roca calcárea dura a menos de 25-30 cm de la superficie, apareciendo algunas evidencias residuales de los suelos más evolucionados que deberían presentarse en estas formaciones en sistemas fisurales (Luvisoles crómicos o calcáreos) así como pequeñas zonas de Regosoles y Fluvisoles calcáricos asociados a las vertientes de mayor espesor. El pH, y prácticamente todas las propiedades químicas, está controlado por la presencia de caliza activa, que limita la disponibilidad del fósforo, origina desequilibrios importantes en las relaciones Ca/K y Ca/Mg y reduce la solubilidad de los oligoelementos metálicos. El escaso espesor efectivo limita el crecimiento vegetal y, por tanto la actividad biológica, siendo suelos con un escaso contenido de N y C que, además, tiende a mineralizarse rápidamente por la baja relación C/N existente. La recuperación de estos suelos es obligada si se desea instalar una cobertura vegetal estable, para lo cual tienen que realizarse actuaciones que faciliten la aceleración de los procesos de edafogénesis, la corrección de los limitantes físico-químicos y, sobre todo, el incremento del espesor y de la actividad biológica del suelo. En el presente trabajo se exponen los principios básicos de técnicas de recuperación de los suelos de las parameras burgalesas para conseguir sistemas silvícolas productivos e integrados en el paisaje, utilizando y valorizando materiales residuales adecuados como correctores de las limitaciones actualmente existentes.

**Palabras clave:** recuperación, suelos, residuos, biomasa, páramos.

## INTRODUCCION

Tal como se indica en la "Carta Europea del Suelo" y en el documento "Bases Científicas para la Protección del Suelo en la Comunidad Europea" (BARTH & L'HERMITE, 1987) *"el suelo es un recurso no renovable a escala humana que es preciso proteger, ya que de su perfecto funcionamiento se derivan importantes consecuencias para el mantenimiento de la calidad de la hidrosfera y la biosfera"*. A pesar de esto, lo cierto es que los suelos, especialmente en áreas o condiciones próximas a las del predominio de la resistaxia o morfogénesis sobre la edafogénesis o biostaxia, han sido y son sometidos a procesos degradativos o contaminantes que han restringido o eliminado la eficiencia de las principales funciones del suelo: la producción de alimentos y fibras, la capacidad de filtrar, retener y en ciertos casos transformar o destruir contaminantes, la depuración y control hidrológico de las aguas superficiales y el ser un medio de vida diverso y de elevada actividad.

La erosión, favorecida por razones climáticas, pero acelerada la mayor parte de la veces por actuaciones humanas, es uno de los principales problemas que afectan a los suelos de condiciones mediterráneas en las que si el suelo llega a ser de muy escaso espesor (Leptosoles y otros suelos con contacto lítico cerca de la superficie) la vegetación debe adaptarse a soportar largos períodos de sequía, con la consiguiente desaparición del estrato arbóreo y su sustitución por un matorral esclerófilo y/o un pastizal escasamente productivo. La capacidad de retención de agua por el suelo es, en estas condiciones, un factor decisivo del tipo de cobertura vegetal que puede mantenerse de forma sostenible. Este es el caso de muchas de las parameras calizas de la meseta castellana en las que la eliminación histórica de la cobertura vegetal por el sobrepastoreo, el fuego y el cultivo, unidas a regímenes hídricos de carácter xérico (USDA, 1999), tras los que son frecuentes lluvias de cierta intensidad, conducen a la progresiva disminución del espesor de suelo que, en muchas ocasiones, queda reducido a una capa de menos de 25-30 cm de espesor sobre un material calcáreo o silíceo, duro y consolidado, que no permite la penetración radicular ni el almacenamiento de agua útil para los períodos de sequía. Dentro del suelo, la mayor eliminación de los horizontes superficiales

por erosión, la disminución de los aportes vegetales de hojas, ramas y raíces y la menor actividad biológica consiguiente producen un fuerte descenso del contenido de carbono orgánico, por lo que la capacidad de sumidero de Carbono de la biomasa y del suelo desciende considerablemente respecto a los valores potenciales para las condiciones climáticas existentes. Además, gran parte del C residual en los suelos es prácticamente inactivo, ya que los incendios además de eliminar una gran parte del C como CO<sub>2</sub> origina la aparición de un mayor porcentaje de moléculas orgánicas recalcitantes tanto frente a los procesos oxidativos como al metabolismo microbiano (KNICKER, ET AL., 2005). Es un problema del “clima del suelo” y no del “clima general” el que cambia el papel de “sumidero” de Carbono de los suelos y la biomasa en “fuente” hacia la atmósfera, al tiempo que el descenso del contenido de C orgánico y del espesor del suelo incrementan los efectos más indeseables para el ambiente al disminuir la capacidad de retención de agua, la capacidad de cambio de iones, la fijación de metales pesados y compuestos orgánicos alóctonos, la actividad biológica y la capacidad productiva. El suelo y todo lo que depende de él, agua y biota, pasan a ser cada vez más sensibles a cualquier tipo de estrés climático o de contaminación.

Es posible invertir el proceso, pero para ello es necesario conseguir formar suelos con el espesor, contenido de C orgánico y nutrientes suficientes para que se inicie una nueva fase de biostaxia, en la que el frente de alteración profundice en el material de partida y los horizontes superficiales, donde se localiza la mayor parte de la actividad biológica, tiendan hacia condiciones de equilibrio en espesor, contenido y naturaleza de materia orgánica. La atenuación natural es, cuando las condiciones climáticas o edáficas existentes no son favorables, excesivamente lenta por lo que el éxito de la recuperación dependerá de las ayudas o aportes externos que corrijan las limitaciones existentes tal como se ha comprobado en diferentes procesos de recuperación de suelos en las minas de As Pontes, Aznalcóllar, Minas de la Faja pirítica, (GIL ET AL., 1990; MONTERROSO ET AL, 1998; CALVO DE ANTA ET AL., 2000;...). Estas ideas son las que se han aplicado en el proyecto de regeneración de suelos y sistemas forestales en el Páramo de Masa, promovido por Unión Española de Explosivos (UEE) en colaboración con la Universidad de Santiago de Compostela (USC) y el Servicio Territorial de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, con el objetivo de desarrollar métodos de regeneración de suelos y cobertura forestal potencialmente aplicables a las más de 100.000 ha de parameras improductivas existentes en esta Comunidad Autónoma.

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PÁRAMO DE MASA.**

Las instalaciones de UEE se localizan en el páramo de Masa ocupando una superficie de 2560 ha entre los municipios de Quintanilla Sobresierra, Hontomín y Masa en la provincia de Burgos. Se trata de una meseta, a unos 1000 metros de altura, en un área de clima continental extremado de carácter mediterráneo, con bajas temperaturas de invierno (t<sup>m</sup> de Enero: 2°C con mínimas de hasta -20°C), fuertes nevadas y heladas y veranos calurosos (18-20°C en julio) y secos. La precipitación, de distribución típicamente mediterránea, oscila en torno a los 600 mm.

El sustrato litológico está constituido por Calizas de los Páramos puras y duras, aunque con abundantes huecos de disolución que favorecen la rápida infiltración de las aguas superficiales dando un modelo clásico de circulación de tipo kárstico, en el que apenas hay corrientes superficiales permanentes. Algunos enclaves margosos se presentan localmente.

Los suelos del Páramo de Masa son, en su mayor parte, suelos esqueléticos, de escaso espesor, con contacto lítico próximo a la superficie y pedregosidad variable, pero generalmente elevada. Presentan un delgado horizonte A ócrico (raras veces A móllico) que descansa directamente sobre la roca dura excepto en zonas puntuales de disolución preferencial en las que pueden encontrarse un delgado horizonte B cálcico (a veces B árgico con fuerte coloración rojiza) o un horizonte Ck que, en ocasiones presenta características margosas). Se trata fundamentalmente de Leptosoles líticos, réndricos o calcáricos, con contacto lítico a menos de 25-30 cm de la superficie, apareciendo algunas evidencias residuales en sistemas fisurales de los suelos que deberían dominar en estas formaciones si no hubiesen sido erosionados (Luvisoles crómicos o calcáricos y Calcisoles calcáricos), así como pequeñas zonas de Regosoles y Fluvisoles calcáricos en los pies de las laderas, áreas margosas y fondo de valles. Una cartografía de los principales tipos de suelos ha sido elaborada realizando un muestreo exhaustivo para la determinación de sus propiedades físico-químicas y composición mineralógica de la fracción fina. Sus principales limitaciones para el sostenimiento de una cobertura forestal son: Escaso espesor efectivo, que limita la profundidad de enraizamiento y la capacidad de retención de agua; bajo nivel de N disponible; bajo nivel de C y, sobre todo, de C metabolizable; bajo nivel de P disponible; bajo nivel de K disponible; exceso de caliza activa que controla el pH del suelo, satura el complejo de cambio en Ca<sup>+2</sup>, causa desequilibrios Mg/Ca y K/Ca en la disolución del suelo y reduce la

solubilidad de los fosfatos y de los oligoelementos metálicos.

La vegetación dominante está constituida por una cobertura de gramíneas con aulaga (*Genista scorpius*), espliego (*Lavandula pedunculata*) y ericáceas (*Arctostaphylos uva-urs*, *Erica terminalis*) de bajo porte, a las que acompañan pies rastreros de enebros (*Juniperus communis*). Puntualmente aparecen pinos (*Pinus sylvestris* y *P. nigra*) procedentes de restos de repoblaciones previas, asociados a matorrales o arbolillos de bajo porte de encina (*Quercus ilex*), rebollo (*Quercus toza*), quejigo (*Quercus faginea* y *Quercus lusitánica*) y algunos chopos (*Populus sp*).

### **CONCEPTOS BASICOS DEL PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE SUELOS Y COBERTURA FORESTAL DEL PÁRAMO DE MASA.**

Las experiencias de recuperación de suelos y vegetación en áreas degradadas y/o contaminadas han confirmado que cuando la actividad vegetativa está muy limitada por condiciones climáticas o edáficas negativas no es posible lograr un proceso de recuperación, en plazos cortos a medios, si se mantiene la cobertura vegetal de la zona, sino que es necesario realizar una mejora sustancial de las condiciones de fertilidad y modificar la cobertura vegetal con especies pioneras, frugales y de elevada producción de biomasa. Además, en lo posible, deben cumplir con las condiciones de tener una buena y rápida respuesta a la mejora de la fertilidad, no tener carácter invasor, incorporar grandes cantidades de materia orgánica en forma de restos superficiales y de raíces y ser fácilmente sustituibles por las especies propias de la sucesión ecológica deseada una vez alcanzados los objetivos de calidad del suelo. Sin duda, la fase inicial de la recuperación puede causar algunas perturbaciones pero éstas deben ser temporales, fácilmente subsanables y con impacto inferior a la situación precedente.

Para la mejora de los suelos del Páramo de Masa se ha considerado necesario la incorporación de materiales alóctonos, con la composición y propiedades físicas adecuadas al mantenimiento de una cobertura forestal autosostenible, que pueda cumplir adecuadamente las principales funciones del suelo y que funcione como un sumidero de carbono. El tipo de cubierta forestal deseado se establece en función de las condiciones ecológicas existentes, así como de la observación de las plantas existentes en la zona. Se considera que, al menos en la primera fase, sobre suelos incipientemente desarrollados son adecuadas plantas como *P. nigra*, *P. sylvestris* y algunas *Piceas* y *Populus* en los lugares adecuados, debiendo introducirse más tarde especies como *Quercus faginea*, *Fagus*, etc. Para facilitar el crecimiento de las especies deseadas se pretende conseguir un suelo fértil, utilizando exclusivamente diferentes combinaciones de residuos no tóxicos ni peligrosos del entorno próximo. Con este sistema se producen dos acciones ambientalmente positivas: la eliminación y valorización de los residuos a través de un sistema de gestión adecuado con incorporación de elementos nutritivos y materia orgánica exógena a suelos antropogeomórficos (Regosoles garbi-antrópicos, FAO,IUSS-ISRIC 1998) que evolucionan hacia un nuevo equilibrio y permitan el secuestro de Carbono y el crecimiento de una cobertura forestal adaptada a las condiciones climáticas existentes (Macías, 2004).

Los residuos producidos en Páramo de Masa derivan directamente de los procesos de fabricación de explosivos, iniciados hacia 1970 con la instalación de dos líneas, una de interés militar (EDB) con fabricación de carga de proyectiles de artillería y municionamiento general y, otra, de explosivos civiles en la que se producen fundamentalmente: nitroglicol, TNT, dinamitas, hexógeno, pentrita, trilita y propulsantes. Como residuo se obtienen dos corrientes de aguas residuales muy ricas en nitratos (en torno a 50.000 ppm), una de coloración rojiza, hiperácida pH (<1) e hiperoxidante (Eh>800 mvol.) y, otra, amarilla y de pH alcalino (>8.0) y Eh oxidante (en torno a 400 mvol). La composición de estas corrientes se encuentra en la tabla 1. Como puede deducirse lo más importante es la recuperación de los nitratos que, en lo posible, deberían ser incorporados a la biomasa y suelo, minimizando su drenaje y acumulación en los freáticos. Asimismo, son interesantes las incorporaciones de sulfatos, Ca, Mg, K y algunos oligoelementos (Fe y Zn) presentes en forma soluble y, por tanto, directamente asimilables.

Los principales riesgos se deben a los valores extremos de pH y, sobre todo, a la posible eutrofización y pérdida de calidad de las aguas superficiales y freáticas por un exceso de nitrato soluble. Es por ello, que deben incentivarse todos los procesos que faciliten la fijación de los nitratos en formas estables o bien su desnitrificación. El desequilibrio de pH puede corregirse mediante mezclas de las dos corrientes, diluyendo con las aguas residuales del vertido final y con agua de captación de los pozos del complejo hasta conseguir concentraciones de nitratos entre 25000 y 35000 mg/l. Se considera que el pH óptimo para el agua de riego con las aguas residuales es entre 5.0 y 6.0, porque en esas condiciones las aguas no perjudicarían a la biomasa microbiana y tendrían efectos positivos como son: la solubilización lenta de materiales calcáreos, liberando su fracción insoluble, es decir acelerando la formación de suelo, y haciendo disminuir el pH

excesivamente alto de los suelos. Además, el descenso del pH es favorable puesto que incrementa la carga variable positiva de los oxihidróxidos de Fe III formados por la alteración del material carbonatado y del Fe liberado de los aditivos, contribuyendo este ascenso a la fijación de nitratos y mejorando la estructura del suelo al establecerse más enlaces de los compuestos de Fe con coloides electronegativos (arcillas y compuestos orgánicos naturales o exógenos). El descenso del pH favorece también la mejor asimilación de fosfatos y oligoelementos al tiempo que permite tender a condiciones más próximas a las de inestabilidad de los nitratos. El estudio de las mezclas adecuadas y de posibles mejoras por adición de otros materiales como vinazas líquidas ha sido realizado en los laboratorios de la Universidad de Santiago (Calvo, 2002).

La incorporación de las aguas de proceso a los suelos se efectúa mediante riegos con pH controlado (5.0-6.0), aplicados en los períodos de sequía previo establecimiento del balance de agua del suelo y de las dosis máximas de nitratos a añadir que, por precaución, se han limitado en las primeras fases de escasa cobertura vegetal, a los valores máximos autorizados por la Directiva de Nitratos tomando para este caso el valor máximo de 210 kg N/ha/año. De todas formas, debe tenerse en cuenta que no se trata de un actuación agrícola en el que las adiciones tienen por objetivo la incorporación de elementos que van a ser extraídos por las cosechas, sino de un proceso de recuperación de suelos degradados cuyos objetivos mínimos se han fijado en la obtención de un suelo de permeabilidad buena a moderada, espesor efectivo superior a 40 cm, capacidad de retención de agua superior a 100 mm, contenido de materia orgánica entre 6 y 10%, pH en el entorno de 6.0, capacidad de intercambio de cationes superior a 10 cmol (+)/kg y niveles adecuados de P, Mg y K disponibles. Por acuerdo se adoptó no añadir más de 100 t/ha/año hasta que los datos obtenidos en los controles sobre la evolución de los suelos y aguas freáticas permitan aumentar estas cantidades.

Para facilitar la formación de los suelos deseados es imprescindible la adición de otros residuos sólidos procedentes de actividades agrícolas, industriales o urbanas, que no sean ni tóxicos ni peligrosos y que puedan mejorar las condiciones edáficas. Se considera que mezclas de diferentes residuos son más adecuadas por cuanto incorporan diferentes elementos fertilizantes y/o comunican propiedades enmendantes o mejorantes para el desarrollo de la vegetación y de la actividad biológica. Los residuos ricos en materia orgánica biodegradable son especialmente útiles porque suministran un material asimilable por los microorganismos que, de esta forma, pueden asimilar mayores cantidades de nitratos. En este sentido es importante que los residuos aportados tengan una alta relación C/N, tales como la paja o las vinazas, de modo que sea éste último elemento el limitante del desarrollo microbiano, lo que sólo puede conseguirse suministrando altos niveles de los otros elementos necesarios como P, K y Mg. Dosis añadidas de algunos de estos materiales oscilaron en torno a 5 t/ha/año de paja de cereal y cantidades similares de vinazas de alcoholera, siendo otros residuos utilizados en las mezclas lodos de depuradoras de EDAR, escorias, cenizas de combustión de biomasa y compost.

Los residuos orgánicos fermentables tienen otras funciones igualmente importantes: consumen oxígeno y hacen descender el Eh del suelo, lo que, junto al descenso del pH del suelo causado por las aguas de riego y la propia evolución de los residuos orgánicos favorece una mayor desnitrificación, mejorando al mismo tiempo la estructura del suelo e incrementando su capacidad de retención de agua, cationes y metales. Es importante conseguir incrementar el pool de materia orgánica activa del suelo y favorecer los procesos de inmovilización de esta materia orgánica mediante enlaces con elementos metálicos (sobre todo Fe y Al), unión con minerales de las arcillas y con oxihidróxidos de Fe recientemente precipitados. El efecto físico del incremento de espesor efectivo para los sistemas radiculares es, también, un importante efecto positivo causado por la incorporación de residuos. Para su obtención y selección se ha realizado un inventario de los existentes en el entorno de Páramo, de modo que su utilización entre dentro de parámetros económicos. Se consideran principalmente los residuos de industrias lácteas, cárnicas y otras del sector de la alimentación así como otros producidos en los sectores químico, metalúrgico, siderúrgico o de procesos de depuración. Estos residuos han sido analizados, tanto desde el punto de vista de los riesgos que pueden producir (ecotoxicidad, metales pesados, PAH, etc.) como de las propiedades positivas (pH, %C, %N, %P, %K, %Mg, etc). Finalmente, se establecen las mezclas y dosificación adecuadas en función de las disponibilidades de residuos y las limitaciones encontradas en los suelos procurando que el N no sea el elemento fertilizante excedentario y que la relación C/N se mantenga siempre superior a 15, lo que favorece la incorporación del N en la biomasa microbiana.

En la selección de las especies a plantar se ha procedido de forma análoga. Se han estudiado las posibilidades de uso del suelo en las condiciones climáticas existentes, determinando además, el objetivo de cobertura forestal deseado. Para favorecer la implantación y crecimiento se ha procedido a labores de subsolado, mediante métodos mecánicos (bulldozer provisto de arado especial) o bien fragmentando la roca

dura con explosivos. El diseño de las pequeñas voladuras se ha realizado por técnicos de UEE. Como una primera fase de la recuperación se ha considerado adecuado el paso por una primera etapa de cultivo del suelo, con especies de elevada productividad que dejen residuos orgánicos en el suelo. Cultivos de cereales (cebada) y de gramíneas (*Dactylis glomerata*) han sido utilizados como cultivos pioneros en las zonas en las que se ha realizado la adición de pajas, vinaza o lodos, fertirrigación, laboreo y siembra. Los resultados obtenidos muestran que las tareas de acondicionamiento han sido favorables, desarrollándose correctamente los cultivos y obteniendo cosechas unas 2 veces superiores a las normales en cultivos de secano de la zona. Los mayores rendimientos y un adelanto en la fase de floración y espigado de la cebada se han obtenido en las zonas en las que se han añadido lodos de depuración de aguas residuales, mientras que los menores se observaron en las zonas de suelos extremadamente delgados y pedregosos. La cosecha se ha enterrado in situ.

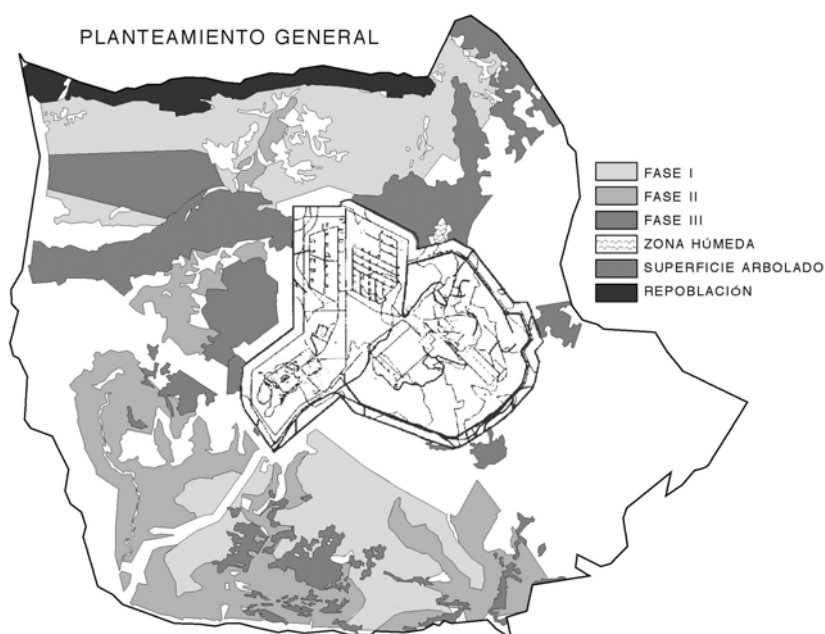
Dentro del programa de seguimiento además de cuantificar el desarrollo vegetativo y los cambios físico-químicos de los suelos se realiza un exhaustivo programa de seguimiento de la evolución de las aguas superficiales y freáticas, con una periodicidad mínima semanal durante el período de estío, con las siguientes determinaciones: pH, Eh, CE, Tª, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>=</sup>.

En la fig. 1 se resumen las principales fases del proyecto en marcha.

### ENSAYO DE TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL EN LA COMARCA DE PÁRAMOS DE BURGOS

#### Objetivos:

- 1.- Ensayar técnicas de restauración de la vegetación de áreas con fuertes limitaciones ambientales (Plan Forestal)
- 2.- Ensayar métodos de reutilización de residuos no peligrosos en el ámbito forestal (Estrategia regional de Residuos)



FASE I REPOBLACIÓN TRADICIONAL	FASE II REPOBLACIÓN CON MEJORA EDAFICA	FASE III EXPERIMENTACIÓN DE ADITIVOS EDAFICOS
<p>Superficie de actuación: 342 ha.                      Tipo de terreno: Laderas y fondos de valle                      Marco: 1600 plantas /ha                      Especies: 75% frondosa y 25% conifera                      Preparación del terreno:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ahoyado mecanizado con bulldozer</li> <li>- Ahoyado con retroaraña</li> <li>- Subsulado lineal cada 3 m</li> </ul>	<p>Superficie de actuación: 505 ha.                      Tipo de terreno: Páramo calizo                      Marco: 1 000 plantas/ha                      Especies: 50% frondosa y 50% conifera                      Preparación del terreno:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Subsulado lineal cada 3m</li> </ul> <p>Mejora edáfica:                      Aplicación en surco de paja, compost de lodo de la depuradora de Burgos capital y fertilización con aguas nitrogenadas procedentes de los procesos industriales de la fábrica.</p>	<p>Superficie de actuación: 110 ha.                      Se realizarán ensayos de utilización de una amplia gama de residuos no peligrosos como enmendantes y fertilizantes edáficos en distintas dosis y formas de aplicación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compost de la planta de RSU Ayto. de Burgos</li> <li>- Lodos de industria farmacéutica</li> <li>- Cenizas de industrias de tableros de madera</li> <li>- El Proyecto incluye restauración de una antigua área de extracción de áridos que se convertirán en una laguna, utilizándose los áridos sobrantes en el proyecto.</li> </ul>

## BIBLIOGRAFIA

BARTH, H. & L'HERMITE, P.L.; 1987. Scientific Basis for Soil Protection in the European Community. Elsevier Applied Science. London. 630 pp.

CALVO, J. M. 2002. Caracterización del valor fertilizante y posible utilización de aguas residuales del proceso de fabricación de explosivos en el Páramo de Masa. Proy. Fin de Carrera Ingeniería Ambiental. Univ. Santiago.

CALVO DE ANTA, R.; MACIAS, F.; SAIZ, J.L. 2000. Bases científicas del proyecto de recuperación de suelos de la cuenca del río Guadiamar. En "Programa de Investigación del Corredor Verde del Guadiamar". ed. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 47-58.

FAO, IUSS, ISRIC. 1998. World Reference Base for Soil Resources. N° 84. Rome, 92 pp.

GIL BUENO, A; VAL CABALLERO, C; MACIAS, F; MONTERROSO, C. 1990. Restauración de la escombrera de la Mina de Puentes. Tecnoambiente, 1: 65-74.

KNICKER, H.; GONZÁLEZ-VILA, F.; POLVILLO, O.; GONZÁLEZ, J. A.; ALMENDROS, G.; 2005. Fire-induced transformation of C- and N-forms in different organic soil fractions from a Dystric Cambisol under a Mediterranean pine forest (*Pinus pinaster*). Soil Biology and Biochemistry, 37, 701-718.

MACIAS, 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

MONTERROSO, C.; MACIAS, F.; GIL BUENO, A.; VAL CABALLERO, C. 1998. Evaluation of the land reclamation project at the As Pontes Mine (NW Spain) in relation to the suitability of the soil for plant growth. Land Degradation & Development. 9, 441-451.

USDA, 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Washington, 869 pp.

Tabla 1.- Composición característica de las corrientes de aguas residuales de fabricación de explosivos en el Páramo de Masa. (AR: Aguas Rojas; AA: Aguas Amarillas).

	<i>pH</i>	<i>Eh</i> mvol	<i>S.T</i> mg/l.	$NO_3^-$ g/l	$SO_4^{=}$ g/l	<i>Cl</i> mg/l	$NO_2^-$ mg/l	$PO_4^{3-}$ mg/l	$Ca^{+2}$ mg/l	$Mg^{+2}$ mg/l	$K^+$ mg/l	$Na^+$ g/l	$NH_4^+$ mg/l
AR	0,5	884	16,9	57,4	1,1	140	0,1	1,8	497	27	18	3,2	0,1
AA	9,0	397	80,0	53,2	3,0	85	0,8	<0,1	6,3	8,0	13	22,1	0,1

	<i>Cr</i> mg/l	<i>Mn</i> mg/l	<i>Fe</i> mg/l	<i>Ni</i> mg/l	<i>Cu</i> mg/l	<i>Zn</i> mg/l	<i>Al</i> mg/l	<i>As</i> mg/l	<i>Si</i> mg/l
AR	0,2	0,6	25	0,2	0,3	7,8	13,0	<0,1	31,1
AA	0,1	<0,1	0,2	0,2	0,1	<0,1	0,1	<0,1	1,5