

Prácticas Sostenibles En La Gestión De Residuos De Las Industrias Extractivas: El Ejemplo De Procosanz Áridos, S.A. Y Lodos Secos S.L.

Autor principal: María del Carmen Lobo Bedmar

Institución: Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario. IMIDRA

Teléfono: 918879472

E-mail: carmen.lopez@madrid.org

Otros autores: SERRANO, L. ; DELGADO, P. y CABEZAS, J. G

1.- INTRODUCCIÓN.

Este trabajo se enmarca dentro de las labores de cooperación científico-técnica que vienen desarrollando desde el año 2004 el IMIDRA (Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario, de la Comunidad de Madrid) y la empresa Procosanz Áridos, S.A., a través de un convenio de colaboración cuyo eje principal es la ejecución del proyecto *“Utilización de residuos para la restauración de suelos en una gravera en Talamanca del Jarama”*.

Se ha desarrollado un proyecto piloto de recuperación de suelos degradados en una parcela (cedida a tal efecto por PROCOSANZ ARIDOS S.A. dentro de la explotación “El Castillo”, una gravera situada en Talamanca de Jarama, Madrid), mediante la aplicación del propio lodo procedente del lavado de áridos de la gravera, así como distintos tipos de lodos de depuradora, y la posterior introducción de especies vegetales autóctonas herbáceas y arbustivas.

En este sentido los objetivos fundamentales del trabajo se centran en la evaluación de la capacidad de reutilización de los lodos residuales para la recuperación de emplazamientos degradados, evitando de esta forma su depósito en vertedero. En particular, se pretende reutilizar un subproducto concreto, los lodos procedentes del lavado de áridos sometidos a un proceso de separación de las fases sólido-líquido (proceso desarrollado por la empresa LODOS SECOS, S.L.), con la intención de evitar la necesidad de grandes balsas para la gestión de los mismos.

1. 1.- PROBLEMÁTICA AMBIENTAL RELACIONADA CON LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA:

Las áreas afectadas por las extracciones pueden quedar altamente degradadas, con huecos o lagunas en los que se han efectuado vertidos incontrolados de productos o sustancias tóxicas, desechos o escombros. Por otro lado, el embalsamiento de agua sin criterios ecológicos claros está dando lugar en algunas regiones a problemas de salinización y eutrofización del agua (ITGE, 1996). Asimismo, estas afecciones al suelo o al agua también se trasladan a la atmósfera, vegetación y fauna del entorno natural donde se llevan a cabo estas actividades.

De esta forma, es necesario que las explotaciones mineras planifiquen correctamente el proceso extractivo, integrando desde un principio la componente ambiental en el mismo, de manera que se reduzcan o mitiguen los efectos ambientales y se contemple, desde las primeras fases de la explotación, la recuperación los ecosistemas afectados.

Para garantizar este equilibrio de la actividad minera con el medioambiente, existe un amplio espectro de normativa ambiental que obliga a las empresas del sector minero a llevar a cabo una explotación de los recursos mineros compatible con la protección del entorno, para disminuir al máximo los impactos generados y corregirlos en la medida de lo posible.

En este sentido las actividades mineras están sometidas al procedimiento de Evaluación de impacto ambiental, de acuerdo con la adaptación a la legislación española de las conocidas directivas europeas de EIA, así como el desarrollo de la misma por parte de las Comunidades Autónomas.

Asimismo, el sector minero está sujeto a una normativa ambiental concreta, que establece la obligatoriedad de llevar a cabo actuaciones de restauración de los espacios naturales afectados por actividades mineras exigiendo garantías o avales para su cumplimiento. A continuación, se expone un breve resumen de esta normativa sectorial de carácter ambiental.

1. 1.1.- Restauración de espacios naturales afectados por actividades mineras:

El **Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre restauración del espacio natural afectado por actividades mineras**, establece que quienes realicen el aprovechamiento de recursos regulados por la Ley de Minas de 21 de julio de 1973, modificada por la de 5 de noviembre de 1980, quedan obligados a realizar trabajos de restauración del espacio natural afectado por las labores mineras.

A estos efectos, todas las explotaciones deben de disponer de un **Plan de Restauración** en el que se detallen:

- medidas previstas para la restauración del espacio natural.
- calendario de ejecución de los trabajos necesarios.

Se establece, además, que en el caso de que sea el titular o el explotador quien asume la obligación de realizar con sus medios el Plan de Restauración la Administración podrá exigir la **garantía** suficiente para asegurar el cumplimiento de aquél.

Asimismo es necesario considerar la Orden de 20 de noviembre de 1984 por la que se desarrolla el RD anterior.

1.1.2.- Gestión de depósitos y balsas de lodos procedentes de la actividad extractiva:

En la actualidad el procesado de materiales obtenidos en las industrias extractivas (explotaciones a cielo abierto en general y el lavado de áridos en las graveras en particular) genera lodos que se almacenan en grandes balsas, lo que se traduce en:

- Afección a grandes superficies de terreno.
- El proceso de recuperación se dilata bastante en el tiempo.
- Problemas de estabilidad y riesgo para el medio ambiente.

Asimismo, la actividad extractiva consume unos importantes volúmenes de agua, como consecuencia del proceso industrial.

Estos depósitos y balsas de lodos están sujetos a avales fijados por la normativa para responder de su control y gestión:

- A nivel estatal, la **Orden de 26 de abril de 2000**, publicada en el BOE de 9 de mayo de 2000, por la que se aprueba la ITC 08.02.1 del Capítulo XII de RGNBSM, **"Depósitos de lodos en procesos de tratamiento de industrias extractivas"**, regula las condiciones mínimas que deben tener los depósitos de lodos (presas y balsas), tanto para poder ser autorizados como para seguir funcionando si ya existían previamente a la puesta en vigor de la Orden y su ITC correspondiente en orden a garantizar su seguridad frente a las personas y el medio ambiente.
- A nivel autonómico, la Comunidad de Madrid regula a través de la **ORDEN 5282/2002**, de 25 de julio, de la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, **sobre avales para responder de la restauración del espacio natural de explotaciones mineras y depósitos de lodos, así como los relativos a pólizas de seguro para los depósitos de lodos.**

1.1.3. Gestión de los residuos de industrias extractivas.

Recientemente se ha aprobado la **Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de marzo de 2006 sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas** y por la que se modifica la Directiva 2004/35/CE.

Entre los aspectos más importantes que recoge la nueva directiva (que ha de trasponerse a la legislación española antes de mayo de 2008) que afectan a la gestión de residuos de las industrias extractivas, y en particular a los lodos procedentes del lavado de áridos, destacan:

1.- En el artículo 3 .9) define «**residuos de extracción y tratamiento**» como: los residuos sólidos o los **lodos que quedan tras el tratamiento de los minerales mediante procesos de separación** (por ejemplo, la trituración, el machacado, la clasificación por tamaño, la flotación y otras técnicas fisicoquímicas) para extraer los minerales valiosos de la roca menos valiosa. Es decir, la Directiva considera los lodos generados en los procesos de extracción, como un residuo de extracción y tratamiento, por lo que ha de ser gestionado conforme a la misma.

2.- Ha de realizarse un **plan de gestión de estos tipos de residuos**, aunque dentro de este plan incluye la recuperación y/o reutilización del propio residuo. En el Artículo 5.b) exponen que una de los aspectos que puede recoger el plan de gestión es:

"Fomentar la recuperación de los residuos de extracción mediante su reciclado, reutilización o valorización cuando ello sea respetuoso con el medio ambiente de conformidad con las normas comunitarias vigentes en materia de medio ambiente y con los requisitos de la presente Directiva"

Además la Directiva dice que el Plan de gestión de residuos debe contener una **caracterización de los residuos**, cuyas pautas vienen determinadas en el ANEXO II.

3.- Añade que las **instalaciones de residuos** han de contar con la autorización pertinente.

1.2.- FUTURO DE LA INDUSTRIA EXTRACTIVA DE LOS ÁRIDOS:

En la actualidad la industria extractiva de los áridos provee a la sociedad de materiales esenciales para el desarrollo económico, si bien ha de readaptarse a las demandas ambientales de la misma, desarrollando sus actividades de una forma sostenible con el medio ambiente. Entre las nuevas metas que debe marcarse el sector a corto plazo está la de integrar todos los aspectos ambientales en las diferentes etapas del proceso de extracción y de tratamiento para la producción de áridos.

Algunos ejemplos de gestión sostenible se recogen en la “**Guía de Buenas prácticas Medioambientales en la industria extractiva europea**” (D.G. de Política Energética y Minas, 2002), con una aplicación para el caso español, en la que se exponen casos reales aportados por empresas de los distintos subsectores mineros del país: áridos, cales, cementos, minerales industriales, rocas ornamentales y yesos.

Asimismo, los Premios Nacionales de la **Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos - ANEFA** - pretenden incentivar y difundir las actuaciones de las empresas encaminadas a mantener unos elevados niveles en materia de medio ambiente, de prevención de riesgos laborales y de consideración de otros aspectos sociales y económicos en las explotaciones, durante todas las fases de actividad.

Por todo lo anterior, es obvio que son necesarios nuevos enfoques para la gestión de residuos de las actividades extractivas, así como un proceso de I+D+i paralelo. En este sentido, es básico el desarrollo de nuevos procesos para el tratamiento de estos lodos y la investigación con las posibilidades de reutilización de los mismos en las propias explotaciones.

El futuro de la gestión de residuos pasa por investigar tanto en los procesos de tratamiento de los residuos de extracción, así como en el destino final o en la posibilidad de restauración con dichos residuos. De esta forma, no solo se cumple con la normativa ambiental al respecto, sino que se produce una optimización en el uso de recursos (incluido el ahorro de agua), así como la obtención de un subproducto reutilizable para la recuperación ambiental de la propia explotación.

1.3.- PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS MEDIANTE SEPARACIÓN DE LAS FASES LÍQUIDO-SÓLIDO:

La empresa LODOS SECOS, S.L. ha desarrollado un novedoso proceso de tratamiento de lodos generados en los procesos de lavado de materiales minerales granulares consistente en la separación de las fases líquido-sólido, obteniendo un líquido sin sólidos y un líquido compuesto por sólidos de forma concentrada (Delgado, P. 2005).

El proceso consta de dos etapas, en la primera se actúa sobre el lodo inicial, caracterizado por su baja concentración de sólidos, mediante adición de floculante líquido que produce la decantación de los sólidos y se obtiene agua limpia y lodos con mayor concentración de sólidos pero con alto contenido en humedad, que hasta el momento eran almacenados en balsas sobre el terreno o bien tratados con medios mecánicos como filtros prensa, filtros de banda y espesadores. Sobre estos lodos con alto contenido en humedad tiene lugar la segunda etapa del proceso hasta conseguir el grado máximo de agregación de partículas arcillosas mediante medios mecánico-químicos, que permiten una rápida separación de las fases líquida y sólida (Delgado, P. 2005).

Este proceso de tratamiento supone:

- Recuperación de un elevado porcentaje de agua (recuperación del 90%).
- Obtención de un lodo seco susceptible de ser utilizado en restauración y con mucha mayor facilidad de manejo y manipulación.
- Eliminación de las balsas de almacenamiento, con la consiguiente reducción de riesgos ambientales.

De esta forma, el tratamiento “LODOS SECOS” no sólo es beneficioso por el ahorro de agua que conlleva, sino porque permite cumplir las exigencias de la nueva Directiva 2006/21/CE sobre la gestión de residuos de las industrias extractivas, la cual:

- Incluye gestión de lodos.
- Exige plan de gestión de residuos.
- Control instalaciones de residuos.
- Promueve reutilización de los mismos.

2.- RESTAURACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS DEGRADADOS POR ACTIVIDADES EXTRACTIVAS MEDIANTE EMPLEO DE LODOS RESIDUALES:

Las actividades extractivas a cielo abierto –graveras, canteras, minas, etc.- suponen la aparición de suelos degradados, caracterizados por un bajo contenido en materia orgánica y nutrientes, así como por la ausencia de vegetación que pueda retener y proteger al suelo de la erosión y pérdidas de suelo. Debido a la falta de un suelo edáfico sobre el que pueda desarrollarse cualquier especie vegetal es necesario actuar sobre el suelo.

La restauración de estos espacios degradados debe comenzar por la regeneración de las propiedades del medio edáfico, que creen las condiciones adecuadas para la posterior restitución gradual de la cubierta vegetal natural de cada zona concreta. En la restauración de estos espacios, en los que el objetivo es la regeneración de la vegetación natural, es más importante la buena preparación del suelo que la propia siembra o plantación (Alcañiz, J.M. et al., 1996).

Estos suelos desnudos poseen características estructurales inadecuadas (predominio de materiales gruesos o altos contenidos en gravas, en el caso concreto de las graveras) lo que unido a los niveles extremadamente pobres en materia orgánica y nutrientes, constituyen factores limitantes para el sustento y desarrollo de vida vegetal si no son mejorados o enmendados. Por tal motivo constituyen emplazamientos óptimos para la aplicación de

enmiendas orgánicas como los lodos de depuradora que sirven de fuente de materia orgánica y nutrientes para estos suelos degradados (Cabezas, J.G., et al. 2003).

Existen algunas experiencias en las que se utilizan el material de rechazo del proceso productivo, los estériles o residuos de la extracción para la propia recuperación de los emplazamientos degradados (Álvarez A., et al. 1997 y 1997b; Calfensa, 2000; Paradelo, R. et al., 2006).

En este sentido, la granulometría fina de los lodos procedentes del lavado de áridos (con ausencia de componentes tóxicos), permite su reutilización para la rehabilitación de emplazamientos con suelos arenosos, de granulometría más gruesa, en las propias explotaciones.

Sin embargo, la carencia de materia orgánica, nitrógeno y fósforo condiciona su utilización en procesos de restauración. La enmienda de estos lodos de extracción con un material rico en materia orgánica y nutrientes, como son los lodos de depuradora, proporciona un material final que reúne las ventajas de ambos tipos de residuos y facilita su aplicación.

La reutilización de ambos tipos de residuos implicaría dos soluciones ambientales:

- 1) reducción de una fuente potencial de contaminación y de los costes de construcción y mantenimiento de vertederos controlados o balsas de almacenamiento.
- 2) el aprovechamiento de recursos de bajo coste que mejora las propiedades físicas de los suelos e incrementa la fertilidad de los mismos, con el fin inmediato de mejorar su capacidad para acoger una cubierta vegetal (natural o implantada). Esta cubierta será capaz de poner en marcha un proceso de regeneración autosostenido y que evolucione hacia una situación estable. La importancia de esta cubierta vegetal esta fuera de toda duda ya que además de su papel esencial como fijadora de CO₂, presenta la primera etapa de la sucesión natural hacia un ecosistema más complejo.

Son pues necesarios, ensayos concretos de aplicación de este lodo con distintas dosis de lodos de depuradora (o distintos tratamientos), para establecer la dosis óptima.

2.1.- ADAPTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE RESTAURACIÓN A LA APLICACIÓN DE LODOS RESIDUALES.

Como se ha mencionado anteriormente la legislación española obliga a establecer programas de restauración para este tipo de actividades (canteras, escombreras, vertederos, taludes de carreteras, etc.) incluidos dentro de las medidas correctoras que recoge la Evaluación de Impacto Ambiental de la actividad, con el fin de devolver el espacio degradado a una situación lo más parecida a la que había antes del desarrollo de la actividad.

Estos programas de restauración se van desarrollando progresivamente incluso durante la etapa de explotación de la actividad. De esta forma a la vez que se explota una zona se comienza a regenerar otra que ya ha sido explotada. Además, se optimizan los costos y se acelera la recuperación de las áreas degradadas. Los programas de restauración incluyen, entre otros aspectos, los costes de abonados, riegos (sobre todo para acelerar la

germinación o para el mantenimiento de las plantaciones en sus primeros estadios de vida), enmiendas, siembras o hidrosiembras, plantaciones, etc.

En muchos casos se incluyen partidas para la importación de suelo fértil que permita el desarrollo de la vegetación en estos suelos caracterizados por su pobreza edáfica. También en muchas ocasiones se incluyen tratamientos para disminuir la erosión y las pérdidas de suelo en zonas de pendiente acusada, como son las mantas orgánicas de coco, esparto u otros materiales.

Los lodos residuales (incluyendo los lodos procedentes del lavado de árido y los lodos de depuradora tratados) pueden reducir considerablemente la necesidad de importar suelos fértiles para los procesos de revegetación, así como los tratamientos para controlar la erosión, lo que supone un considerable ahorro económico. Asimismo se puede producir un ahorro en la necesidad de semilla y planta para la restauración, pues la aplicación de los lodos puede favorecer la regeneración natural de la vegetación, a partir de las propias semillas del banco de semillas del suelo y de la colonización de las especies de los alrededores. Sin embargo en muchos casos (como son los taludes o suelos margosos) la siembra de herbáceas se plantea como una cobertura vegetal imprescindible para proteger al suelo frente a la erosión hasta que la vegetación arbustiva y arbórea pueda desarrollarse plenamente.

En todos estos casos, habrá que revisar el plan de restauración para adaptarlo a la utilización de los lodos. Esta adaptación es sencilla y con la disponibilidad actual de fangos supone generalmente un ahorro en el coste de la restauración. El ahorro en enmiendas orgánicas, fertilizantes, estabilizantes y parte de la siembra de plantas compensa el costo de la operación de mezcla del fango con los terrenos.

Existen ya en España experiencias de este tipo de aplicación existiendo en Cataluña desde el año 1996 un **Manual de Restauración de actividades extractivas con lodos de depuradora** editado por la Junta de Sanejament (Departament de Medi Ambient. Generalitat Catalunya) donde se recogen recomendaciones prácticas para la aplicación de lodos en este tipo de terrenos.

3.- ENSAYO PILOTO DE RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LODOS PROCEDENTES DEL LAVADO DE ÁRIDOS.

3.1.- Objetivos del ensayo:

El objetivo de este proyecto de investigación se centra en la evaluación de la aplicación de lodos de extracción (tratados previamente para la recuperación del agua que contienen en la propia explotación de la gravera) enmendados con dos tipos de lodos de depuradora tratados (compostados con restos de poda o tratados por secado térmico), frente a la aplicación individual, para la recuperación de suelos degradados en una gravera en Talamanca de Jarama (Madrid).

Asimismo, se evaluó la respuesta de dos tipos de vegetación, herbácea y arbustiva, ante la aplicación de estas enmiendas.

3.2.- Materiales y métodos.

La parcela donde se lleva a cabo el ensayo piloto se encuentra situada en la finca “El Castillo” en Talamanca de Jarama. Se trata de un suelo degradado, prácticamente desnudo, clasificado como Luvisol gleico (ver características en tabla 1) según la clasificación FAO, con un horizonte Bt (árgilico) de acumulación de arcillas. Para la caracterización del suelo se realizaron 3 calicatas, en las que se constató una elevada pedregosidad, así como la escasez de nutrientes y materia orgánica.

	pH	C.E.	N	M.O.	P	Ca	Mg	Na	K	Ni	Pb	Cd	Cu	Cr	Zn
		(dS/m)	(%)	(mg / Kg)											
S	5,44	0,034	0,056	0,8	22	238	42	157	5	13	6,4	0,1	6,8	31	1,8

Tabla 1. Caracterización del suelo degradado (S) de la zona de estudio.

La muestra se secó al aire previamente a su procesamiento analítico. Todos los análisis se llevaron a cabo en muestra tamizada y/o molida en función de las determinaciones a realizar. Los métodos aplicados fueron los establecidos oficialmente por el MAPA (1994).

La zona se encuentra dentro del piso bioclimático Mesomediterráneo con ombrotipo Seco. Los datos climáticos de la estación meteorológica más cerca (Talamanca de Jarama) se muestran en la tabla 2:

Estación	Altitud	T	M	m	P	EP	Itc	Io	Ic
Talamanca de Jarama	654	13	9	0,2	515	755	234	3,2	19,5

Tabla 2. Datos climáticos de la zona de estudio (T= temperatura media anual; M= media de las máximas del mes más frío; m= media de las mínimas del mes más frío; P= precipitación anual; EP= evapotranspiración potencial; Itc= Índice de termicidad compensada; Ic= Índice de continentalidad).

Los residuos empleados en la restauración de los suelos fueron los siguientes:

- **2 lodos de depuradora** sometidos a dos tratamientos distintos:
 - Lodo **compostado con restos de poda** a 2 dosis (CP1 y CP2).
 - Lodo tratado por **secado térmico** a 2 dosis (ST1 y ST2).
- **Lodo procedente del lavado de áridos** de la gravera (LG).
- **Mezclas** de estos residuos (LG+CP y LG+ST).

La caracterización de los residuos utilizados se muestra en la tabla 3.

	pH	C.E. (dS/m)	N	M.O.	P	Ca	Mg	Na	K	Ni	Pb	Cd	Cu	Cr	Zn
			(%)		(mg / Kg)										
LG	8,53	0,41	0,035	0,45	24	5082	3059	225	367	21	14	0,6	16	49	4,3
CP	7,54	2,99	1,6	22,5	288	4705	883	352	2034	33	78	0,4	170	248	1602
ST	6,69	4,64	4,52	25,9	400	2770	970	552	974	73	219	1,9	385	280	1118

Tabla 3. Caracterización de los residuos empleados (LG= lodo procedente del lavado de áridos; CP = lodo de depuradora compostado con restos de poda; ST= lodo de depuradora tratados por secado térmico).

Los contenidos en metales pesados totales se determinaron por ICP previa extracción ácida de la muestra en un equipo de digestión por microondas. Considerando los límites establecidos en la legislación para aplicación de residuos (lodos de depuradora) con fines agrícolas, ambos residuos se consideran adecuados para su aplicación en la parcela de la gravera.

Los residuos fueron incorporados al suelo (según los tratamientos indicados en la tabla 4) mediante un pase de cultivador, tres meses después de su aplicación en superficie.

Tratamientos Según residuo	Dosis (Mg/ha)
T	0
ST1	50
ST2	100
CP1	50
CP2	100
LG	200
LG+ST	137,5 (Ratio 3:1)
LG+CP	137,5 (Ratio 3:1)

Tabla 4. Resumen de tratamientos aplicados en función de la aplicación de enmiendas al suelo.

Estos tratamientos se duplicaron considerando la introducción o no de especies vegetales mediante siembra y plantación, con lo que se obtiene un total de 8 tratamientos.

Introducción de 2 tipos de vegetación:

Tras la incorporación de los lodos se ha llevado a cabo una restauración gradual de la vegetación autóctona de la zona. Se ha tratado de imitar la dinámica sucesional de la vegetación, es decir, iniciando la colonización del suelo mediante la introducción de especies

herbáceas, y la posterior implantación de especies arbustivas. De esta forma, una vez mejoradas las condiciones del suelo, y tras una evolución continuada del mismo, podrá en un futuro introducirse vegetación de carácter arbóreo, cuando las condiciones edáficas lo permitan.

La introducción de semillas por siembra –en el caso de las herbáceas- o de plantas arbustivas -por plantación- se consideró como un tratamiento más. Es decir, supuso la duplicación de las parcelas de ensayo, puesto que en la mitad se sembró y plantó y en la otra mitad no. De esta forma se pretendía evaluar la respuesta de la vegetación autóctona ante la aplicación de los residuos.

Para la restauración vegetal se planificó inicialmente una siembra de especies herbáceas adaptadas a la ecología de la zona, autóctonas y capaces de vivir en los suelos degradados de la parcela. Estas especies se eligieron en función de distintos criterios, relacionados principalmente con su capacidad colonizadora, su adaptación a la ecología de la zona, su coste, así como su disponibilidad en el mercado.

Para la elección de especies herbáceas a introducir en la mezcla de semillas se consultaron inventarios florísticos de la zona, bibliografía y catálogos de viveros comerciales, obteniéndose la siguiente mezcla final:

*Leguminosas (54,7%)

- 34,7% *Trifolium subterraneum*, mezclando variedades de alto % de dureza seminal y ciclo medio: Dalkeith, Junee, Seaton-Park y Campeda.
- 10% *Vicia sativa*.
- 10% *Biserrula pelecinus* (variedad Mauro).

*Gramíneas (45,3 %)

- 10% *Dactylis glomerata* (variedad currie).
- 20% *Lolium rigidum* (variedad wimmera)
- 15,3% *Festuca arundinacea* (cultivar de climas secos: Demeter).

A pesar de que en las mezclas comerciales la proporción de semillas suele ser un 60-40% respectivamente para gramíneas y leguminosas, se decidió invertir esta proporción asignando un porcentaje del 54,7% a las leguminosas y un 45,3% a las gramíneas. Este hecho se hizo bajo la hipótesis de que las gramíneas se verían más favorecidas que las leguminosas por el aporte de nitrógeno que supone la aplicación de lodos, ya que estas últimas tienen la capacidad de fijarlo por sí mismas.

3.4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

3.4.1. EVOLUCIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO TRAS 1 AÑO DE APLICACIÓN:

pH (figura 1):

Todos los tratamientos aplicados mostraron diferencias significativas con el suelo control. El lodo de la gravera (LG) produjo un aumento considerable de los valores.

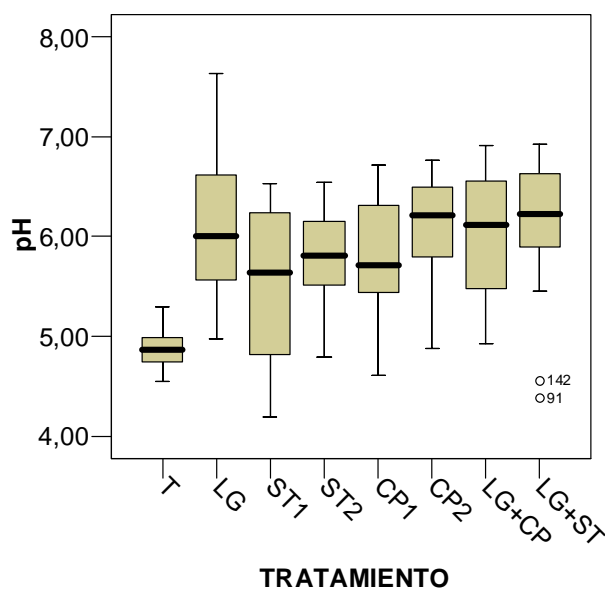


Figura 1. Valores de pH en función del tratamiento de residuo aplicado.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (figura 2):

Aumento significativo con la aplicación de lodos de depuradora (especialmente en aquellos tratados por secado térmico, ST). No hay diferencias entre el control y el tratamiento con lodo de la gravera.

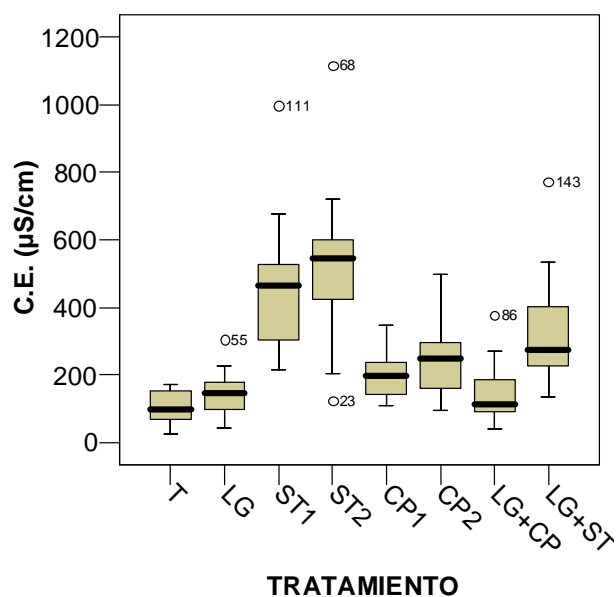


Figura 2. Valores de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en función del tratamiento de residuo aplicado.

MATERIA ORGÁNICA (figura 3):

Se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos con lodos (especialmente en aquellos compostados con restos de poda, CP) y el control. Sin embargo, no se encontraron diferencias entre el control y la aplicación del lodo de la gravera.

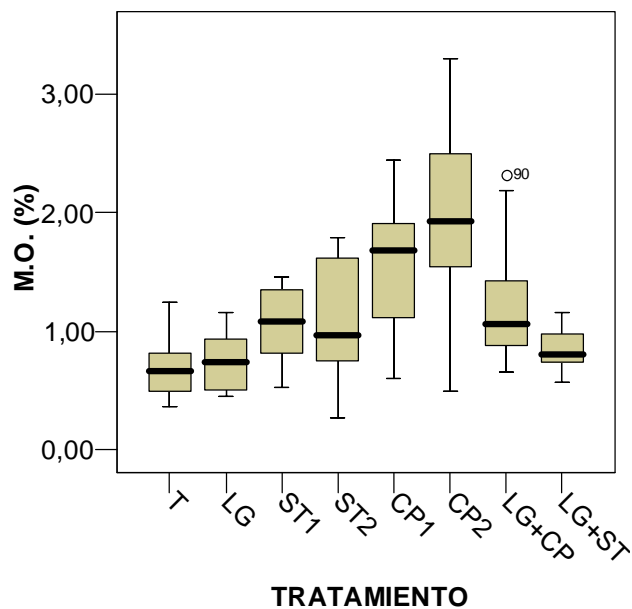


Figura 3. Valores de Materia orgánica (%) en función del tratamiento de residuo aplicado.

NITRÓGENO Y FÓSFORO (figura 4):

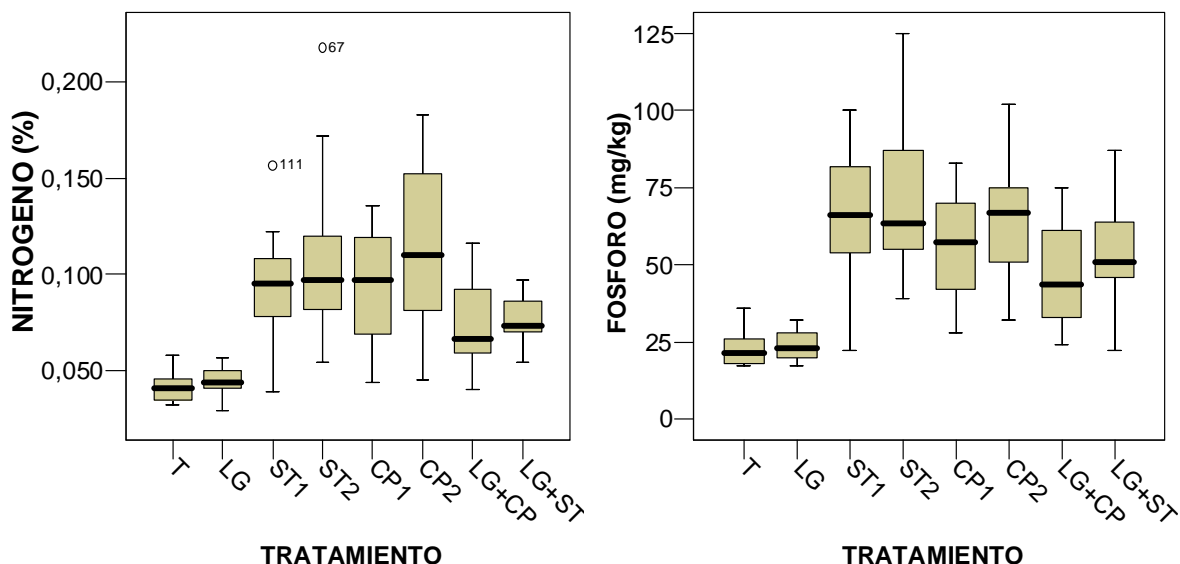


Figura 4. Valores de Nitrógeno (%) y Fósforo (mg/kg) en función del tratamiento de residuo aplicado.

Como se puede apreciar en la figura anterior el Nitrógeno y el fósforo en los suelos tratados se comportan de forma similar. En este sentido no existen diferencias significativas entre los aportes aislados de lodo de la gravera y las parcelas control. Sin embargo, si que existen diferencias significativas entre el resto de los tratamientos ensayados (en los que hay diferentes dosis de lodos de depuradora) y las parcelas testigo sin aplicación de residuos.

METALES PESADOS:

Se produjo un incremento no significativo de metales pesados en los suelos enmendados con lodos de depuradora. Los valores se mantuvieron siempre por debajo de los establecidos en la legislación vigente (Directiva 86/278/EEC).

3.4.2. RESPUESTA DE LA VEGETACION ANTE LA APLICACIÓN DE LODOS RESIDUALES:

En la figura 5 se muestra gráficamente la respuesta de la vegetación después de un año y medio de la aplicación de los residuos en los suelos. Se puede observar un aumento de la cobertura y biomasa herbácea seca con la aplicación de los residuos, si bien no se encontraron diferencias significativas en función de la dosis empleada. La aplicación de siembra no se tradujo en incrementos significativos en los parámetros vegetales estudiados.

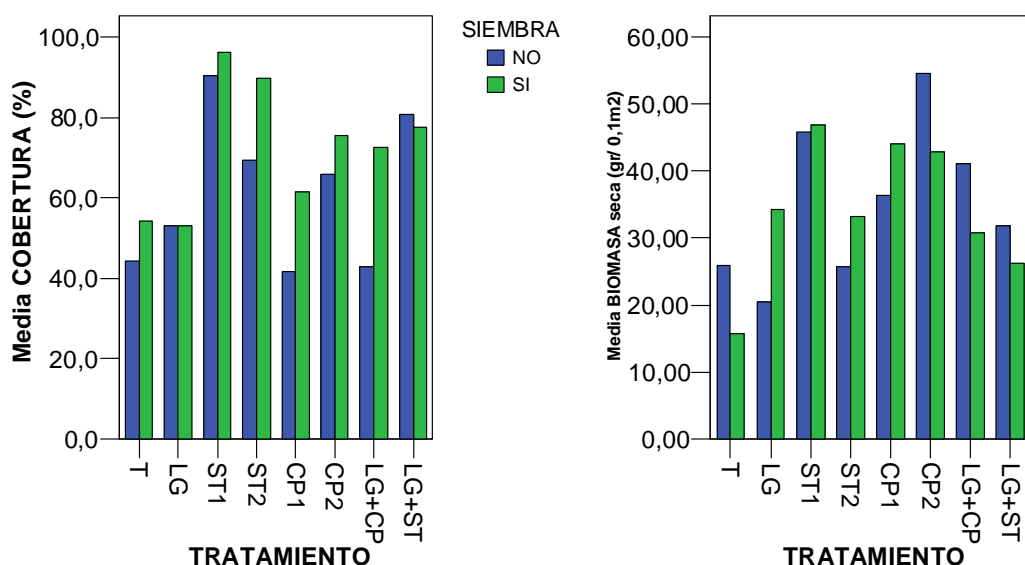


Figura 5. Valores medios de Cobertura herbácea (% estimado con un programa digital de tratamiento de imágenes) y Biomasa Seca (gr/0,1m²) en función de los tratamientos de residuos y la aplicación o no de siembra.

En cuanto a la composición florística, los resultados iniciales parecen indicar una mayor presencia general de especies de gramíneas frente a la de leguminosas en las parcelas en las que se aplicaron lodos de depuradora. Este hecho puede ser debido al aumento del nitrógeno disponible en los suelos como consecuencia de la aplicación de los residuos.

3.5.- CONCLUSIONES

Los resultados preliminares muestran una mejora en los contenidos de materia orgánica y nutrientes de los suelos, así como en las propiedades físicas, tras la aplicación conjunta de los lodos, lo que se traduce en un incremento significativo de la cubierta herbácea así como de la biomasa vegetal, lo que supone el primer paso en el proceso de recuperación del suelo.

En general puede concluirse que:

- Los tratamientos ensayados con lodos constituyen una práctica favorable para la recuperación de áreas semiáridas degradadas:
 - mejora de las características del suelo
 - respuesta favorable de la vegetación (aumento de cobertura y biomasa).
- La aplicación del lodo de la gravera induce cambios significativos en el suelo cuando se aplica mezclado con lodos de depuradora.
- Es necesario un seguimiento del ensayo a más largo plazo para evaluar con más precisión el efecto de la incorporación de los residuos en los suelos.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha contado con financiación del IMIDRA (Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid) y con el apoyo técnico y material de las empresas PROCOSANZ ARIDOS, S.A. y LODOS SECOS, S.L. Asimismo ha contado con la ayuda de una beca predoctoral del INIA (Ministerio de Educación y Ciencia).

REFERENCIAS

- Alcañiz, J.M., Comellas, L., Pujolá, M. 1996. Manual de Restauració D`activitats extractives amb fangs de depuradora. Recuperació de terrenys marginals. Junta de Sanejament. Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya. Barcelona. 69 p.
- Álvarez A., Mezquita F., Seoane S., Vidal M., Santaolla C. y López A. (1997). Utilización de lodos de pizarra en la recuperación de escombreras (I). Caracterización. Tecnoambiente. Vol 68. Pag: 67-70.
- Álvarez A., Seoane S., Vidal M., López A., Santaolla C., Mezquita F. y Teijeiro M. T. (1997b). Utilización de lodos de pizarra en la recuperación de escombreras (II). Utilización como sustrato de vegetación. Tecnoambiente. Vol 69. Pag: 60-63.
- Cabezas, J.G., Alonso, J.; Yébenes, I.; Vicente, M.A. y Lobo, M.C. (2003). Aplicación de lodos residuales para la restauración de la cubierta vegetal en suelos degradados. En: Control de la erosión y degradación del suelo. R. Bienes y M.J. Marqués (eds.). IMIA. ISBN: 84-688-2337-6. Pag: 279-282.
- Calfensa Medioambiente. 2000. Estudio de viabilidad de los lodos de pizarra y su aprovechamiento como elemento de restauración. Calfensa.
- Delgado, P. 2005. Presente y futuro de la gestión de lodos procedentes del lavado de áridos y de la construcción. Infoenviro: 89-91.
- Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de marzo de 2006 sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas y por la que se modifica la Directiva 2004/35/CE.
- Dirección General de Política Energética y Minas. Ministerio de Economía. 2002. Guía de Buenas prácticas Medioambientales en la industria extractiva europea: Aplicación al caso español.
- Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1996. Guía de Restauración de graveras.
- MAPA. Métodos Oficiales de Análisis. Madrid, 1994.
- Orden de 26 de abril de 2000. BOE de 9 de mayo de 2000.
- Orden 5282/2002, de 25 de julio, de la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid.
- Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre restauración del espacio natural afectado por actividades mineras.
- Paradelo, R., Cendón, Y., Moldes, A. y Barral, M.T. 2006. Restauración de escombreras de pizarra con vermicompost de orujo de uva agotado. Residuos. 90: 44-50.