

## **PROYECTO MEDIOAMBIENTAL DE I+D+i**

# **APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA Y COMPOST PARA LA RESTAURACIÓN DE TALUDES DE CARRETERAS**

(Ref. exp.: G-GI 1002/I D I O)

**INSTITUCIONES PARTICIPANTES:**  
**GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE ANDALUCÍA, GIASA**  
**UNIVERSIDAD DE GRANADA**

SEVILLA, NOVIEMBRE DE 2005

## ÍNDICE

<b>MEMORIA DESCRIPTIVA Y TÉCNICA .....</b>	<b>3</b>
1.1.- OBJETIVOS. FINALIDAD DEL PROYECTO.....	4
1.2.- ANTECEDENTES .....	8
1.2.1.- JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DEL PROYECTO.....	8
1.2.2.- DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA TÉCNICA.....	15
1.2.3.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
1.2.4.- EXPERIENCIA DEL EQUIPO SOLICITANTE.....	22
1.3.- CONTENIDO Y ALCANCE DEL PROYECTO. RESULTADOS PREVISIBLES.....	26
1.3.1.- NOVEDADES TECNOLÓGICAS Y FUNCIONALES.....	26
1.3.2.- ALCANCE PREVISTO Y OBTENCIÓN DE PATENTES .....	32
1.4.- PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	34
<b>MEMORIA ECONÓMICA .....</b>	<b>38</b>
2.1.- JUSTIFICACIÓN DE COSTES .....	39

## **PROYECTO MEDIOAMBIENTAL DE I+D+i**

# **MEMORIA DESCRIPTIVA Y TÉCNICA**

## **APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA Y COMPOST PARA LA RESTAURACIÓN DE TALUDES DE CARRETERAS**

**INSTITUCIONES PARTICIPANTES:**  
**GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE ANDALUCÍA, GIASA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA**

### **1.1.- OBJETIVOS. FINALIDAD DEL PROYECTO**

El **objetivo principal** del proyecto es el estudio de viabilidad, tanto técnica como económica, de la aplicación de subproductos de plantas de tratamiento de residuos urbanos para la fijación y revegetación de taludes de carreteras.

Como subproductos de plantas de tratamiento de residuos urbanos se entienden tanto lodos de depuradoras de aguas residuales, como compost de plantas de tratamiento de RSU, Residuos Sólidos Urbanos.

Las líneas maestras y estratégicas que definen la finalidad del proyecto son las siguientes:

- a) Identificación y valoración de las mejoras en el crecimiento vegetativo de las plantaciones, analizando la viabilidad técnica y económica de futuras actuaciones.
- b) Determinación del modo en que afecta la aplicación de los lodos de depuradora y el compost en la modificación de las propiedades del suelo.
- c) Estudio de las diferentes fórmulas de trabajo para la hidrosiembra de mezclas lodo-semilla y optimización de su puesta en talud.
- d) Influencia de los parámetros de diseño en los taludes por criterios de reforestación y no sólo geomecánicos.
- e) Evaluación del beneficio que se obtiene en la fijación del suelo, por la existencia de raíces superficiales, midiendo el material suelto erosionado por la acción de los agentes atmosféricos.

- f) Comprobación de la calidad del compost y de los lodos de depuración como biorresiduos utilizados en la regeneración de la cobertura vegetal de la superficie de taludes de obras viarias.

Los **objetivos secundarios** que se plantean para la consecución del principal son los que se describen a continuación:

- Optimización de la dosificación de lodos, compost y semillas en la aplicación de taludes de carreteras.

La aplicación de los subproductos de lodos de depuradora y compost de residuos sólidos urbanos supone, a priori y en condiciones normales, una mejora de las cualidades del terraplén para el crecimiento de vegetación en su superficie, aunque en la actualidad no se cuenta con experimentación alguna que permita aplicar criterios concretos de dosificación para los tratamientos a realizar. Por esto, y ante la viabilidad de la aplicación de estos subproductos, se procederá al estudio y análisis de las distintas posibilidades de su realización, con los taludes de pendiente máxima y el de mínima más comúnmente utilizados en la construcción de carreteras, para poder analizar con detalle distintas dosificaciones y condiciones de aplicación. De los resultados de este estudio se podrán extraer datos y rangos óptimos de aplicación que serán extrapolables a otras ubicaciones de características similares a la de la experimentación, sirviendo con ello de base a los trabajos de protección y plantación de especies autóctonas.

- Calculo de costes de las aplicaciones óptimas.

Como complemento y consecuencia de lo ya comentado, es objetivo del proyecto la posibilidad de disponer de unos criterios básicos de dimensionamiento

y dosificación que permitan proyectar actuaciones, y con ello presupuestar el coste total que la misma conlleva, sirviendo de base para la programación de proyectos y de los importes que pueda implicar. Es un elemento clave en la gestión, y es uno de los objetivos que se pretende en el presente estudio, para que sirva como un documento de consulta y que de una manera fácil y sencilla facilite las conclusiones sobre el cálculo total de una actuación prevista.

- Análisis de los procedimientos de aplicación de lodos y compost sobre taludes de carreteras.

En el estudio se utilizarán lodos de depuradoras deshidratados y compost, con distintas dosificaciones y diferentes porcentajes de mezcla entre ellos, que servirán para escoger con la maquinaria habitualmente disponible en una obra, los sistemas posibles de aplicación. Con esto se evalúan no solo los diversos porcentajes de mezcla, sino que además se analizan los procedimientos de aplicación, que adaptados a obras lineales permitan ejecuciones sobre el talud desde la propia explanada de la carretera.

- Medición de la erosión del talud y cantidad y contaminación del agua de escorrentía.

Mediante la recogida del agua de escorrentía se puede medir la cantidad de sedimentos presentes, esto es, la erosión producida en el talud. Del mismo modo, se realizarán analíticas periódicas al agua de escorrentía recogida, pudiendo evaluar su cantidad y calidad para asegurar que no se contaminan o ponen en peligro ecosistemas o acuíferos del entorno. Además de las circunstancias paisajísticas y medioambientales del entorno, la fijación del talud con especies vegetales reduce la erosión superficial, y con ello el coste en mantenimiento de las



superficies de los taludes de carreteras. Por ello, y dada la importancia que esto tiene, se analiza de forma independiente al crecimiento de la vegetación, la erosión producida sobre la superficie del talud una vez finalizado el tratamiento.

- Evaluación de superficies de taludes de carreteras disponibles para la aplicación de lodos y compost. Estudio económico de coste/beneficio frente a su eliminación en vertedero.

Una vez obtenidas las conclusiones sobre el método y dosis apropiados para la utilización de estos subproductos, se analizarán las cantidades de los mismos que se pueden aplicar en las obras de carreteras, iniciando primero su estudio en las de nueva construcción que actualmente se encuentren en ejecución, pudiendo completarse estas superficies con taludes de terraplenes de carreteras ya ejecutadas, que por su ubicación, longitud, pendientes, etc. puedan considerarse más vulnerables. Con este estudio se quiere comparar el incremento del coste que puede suponer su aplicación en taludes de carreteras, frente a su depósito en un vertedero controlado, dando por tanto a los taludes una capacidad de recepción de biorresiduos tratados en plantas de reciclaje y compostaje o en depuradoras, haciendo de estos taludes unos vertederos cualificados, que son capaces no solo de recibir estos biorresiduos, sino también de aportar con ello mejoras en las cualidades edáficas de su superficie al transformar los componentes existentes en los lodos y el compost, en humus asimilables para las plantas, y servir además de capa reductora de la erosión superficial hidráulica y eólica.

- Estudio comparativo de la siembra con semillas a voleo convencional con la plantación manual y la hidrosiembra tradicional. Selección de especies vegetales y métodos a aplicar. Estudio de las diferentes fórmulas de trabajo

para las mezclas biosólido-semilla y la optimización de su aplicación en el talud.

En el presente proyecto, se utilizarán diferentes sistemas de plantación, con diferentes especies, con la finalidad de poder realizar un análisis comparativo que dé los índices suficientes para poder en un futuro tomar decisiones tanto de las especies seleccionadas, como del sistema de aplicación más adecuado a cada caso.

*Las principales novedades que aportaría el proyecto serán descritas en el apartado 1.3) de la Memoria Descriptiva y Técnica.*

## **1.2.- ANTECEDENTES**

Como base de partida para la solicitud de este proyecto, el equipo investigador posee una sólida y dilatada trayectoria previa que será descrita en el último apartado, *Experiencia del solicitante*, de los *Antecedentes*.

### **1.2.1.- JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DEL PROYECTO**

La *construcción de las modernas obras lineales* ha tenido siempre ante la sociedad un aspecto beneficioso por la mejora en la comunicación de los pueblos, pero ha llevado detrás de sí, en muchos casos, una lacra histórica por el deterioro que ha supuesto en los entornos naturales atravesados.

Ha sido una práctica muy extendida en toda la ingeniería viaria nacional e internacional el diseño y la realización de taludes de carreteras atendiendo a

criterios geotécnicos y mecánicos, no teniendo presentes otros aspectos en orden a conseguir un mayor desarrollo y una optimización de los recursos económicos disponibles. En oposición a este enfoque desarrollista se enmarca la Política Europea desde la década de los ochenta, en la que la preocupación por el medio ambiente es un objetivo constante en todas sus facetas, incluida la Política Común de Transportes.

Ante esta situación, y dado que el desarrollo de nuestra sociedad exige la mejora de las comunicaciones terrestres, se están realizando diversas actuaciones en las que la ejecución de estas obras lineales se complementan con estudios de impacto ambiental muy rigurosos y con la utilización de residuos que, sin esta actividad, se aplicarían de manera perjudicial para el medio ambiente.

*El cálculo, dimensionado y proyecto de los taludes de carreteras y otras obras lineales ha dejado de circunscribirse sólo a los tradicionales problemas de su estabilidad. Hoy día, la integración en el paisaje, la durabilidad de la explanada, la recuperación de la vegetación en el entorno, la reducción de las pérdidas de suelo por la erosión, son parámetros de diseño con tanta incidencia como el geotécnico.*

Así, actualmente, los ingenieros que afrontan estas tareas han de justificar sus decisiones sobre la base de un conjunto de condiciones mucho más amplias, donde la recuperación medioambiental del entorno y un desarrollo sostenido y sostenible son determinantes en la ejecución del proyecto.

Con este nuevo enfoque se puede conseguir que aquellas empresas que generan volúmenes importantes de residuos, vean en las carreteras posibles consumidores de aquéllos. Por tanto, y en la medida que la tecnología lo admita, se podrán utilizar las carreteras como grandes vertederos controlados, presentes a

lo largo de todo el territorio, que permitan reducir el impacto sobre otros espacios cuya misión exclusiva sería la recepción de vertidos de residuos generados por la actividad humana.

Dentro de este panorama, los *residuos urbanos* están produciendo un grave problema a la sociedad, principalmente porque se generan en cantidades ingentes y su eliminación en vertederos no se ve hoy como una solución de futuro. Además, se ha restringido de una manera deliberada su vertido por medio de Directivas Europeas ya transpuestas en las legislaciones nacionales, que han supuesto la búsqueda en toda la Unión Europea de nuevas soluciones medioambientales viables y con unos costes de reciclado que no supongan una lacra excesiva para la sociedad.

Históricamente, las tradicionales plantas de *compostaje* de residuos sólidos urbanos (RSU) recogidos en masa producían grandes cantidades de compost de una calidad inaceptable para su aplicación en los suelos o en los sustratos de cultivo, a causa de las cantidades de plásticos, vidrio, metales y otras impurezas presentes. Este hecho, unido a las molestias ocasionadas por los sistemas abiertos de compostaje, condujo al cierre de muchas de las plantas existentes en Europa durante los últimos 40 años, si bien en España hay todavía algunas que continúan operando. Actualmente se está realizando un enorme esfuerzo y se encuentran en fase de planificación, proyecto o construcción modernas plantas de compostaje apoyadas en una nueva estrategia europea de gestión de residuos urbanos, que trata de hacer compatibles dichos tratamientos biológicos con los objetivos de reducción de la materia orgánica biodegradable depositada en vertedero, establecidos por la Directiva 99/31 sobre vertido de residuos.

Para poder afrontar esta conjunción de fines, además de las cuestiones generales de política ambiental, se han de destacar los aspectos técnicos y de mercado que permitan extender su uso, sin acudir a la eliminación en un vertedero controlado.

La clave para la obtención de un compost con unos requisitos técnicos adecuados para su progresiva implantación en el mercado se encuentra en solucionar el problema de poder producir un compost de elevada calidad y suministrarlo al sector agrícola o forestal. Sin embargo, el alcance este fin último sólo se puede lograr si el residuo orgánico es separado de otros residuos en origen. Por ello se ha establecido en la Ley de residuos 10/1998, que en todos los municipios con población superior a cinco mil habitantes, el residuo urbano sea recogido de forma selectiva, para conseguir con esto alcanzar una mayor calidad en el compost y en el resto de los residuos reciclables.

También conviene destacar que no todos los *residuos orgánicos* orientados hacia el sector agrícola y forestal tienen la misma calidad y, por ejemplo, los lodos sin ninguna combinación y tratamiento con otros residuos no pueden considerarse de la misma calidad que el compost. Al cabo de cuatro años, ya se ha hecho público el segundo borrador de documento de trabajo de la propuesta de Directiva de la Comisión Europea, relativa al tratamiento biológico de los biorresiduos (Futura Directiva de compostaje), donde se van a definir unas normas obligatorias para la producción, comercialización y empleo del compost.

En relación con los *aspectos de la comercialización*, es por todos reconocido que, si bien existe un gran mercado potencial para el empleo del compost en el sector agrícola, hasta el momento su desarrollo ha sido muy

limitado, debido a la dicotomía existente entre el sector agrícola y el conjunto de la sociedad.

Generalmente, frente a la opinión pública que considera de forma favorable el compostaje y el uso del compost, la aceptación por parte de los agricultores es limitada, pues no siempre aprecian las ventajas del compost y a menudo sospechan que su calidad es baja y peligrosa para su explotación.

Se puede concluir que las actividades de compostaje no han sido desarrolladas con un criterio de mercado sino por un criterio medioambiental que intenta ayudar a obtener un desarrollo sostenible de nuestra sociedad. Por tanto, al no estar lideradas por el mercado, la única forma de mantener el compostaje es considerarlo como una opción de gestión de residuos de bajo coste, con una clara prevalencia medioambiental sobre el vertido y la incineración.

Junto con esto, la generación de *lodos de depuradora* (LD) de aguas residuales urbanas se está incrementando considerablemente a lo largo de los últimos años, y previsiblemente continuará aumentando a medida que se completen los planes de saneamiento y la puesta en marcha de las nuevas estaciones depuradoras realizadas. Pero, frente a esta circunstancia, se ha de contraponer que el tercer borrador del documento de trabajo que modificará la Directiva 86/278 y el Real Decreto 1310/1990, que regulan la aplicación de lodos de depuradora en la agricultura, introducirá cambios muy significativos en la gestión de los fangos. Esto llevará a que sólo será posible la utilización en agricultura de los lodos con muy bajos niveles en metales pesados una vez validada su limitada contaminación microbiológica y unos bajos contenidos en contaminantes orgánicos.



Todo esto ha motivado que desde hace ya varios años se esté trabajando en el *reciclaje de materiales para carreteras*. Ruiz (2001), ante la actual problemática de la cantidad de residuos que la sociedad produce, y que cada vez es más costoso de almacenar, propone que las administraciones admitan su utilización, siempre y cuando las características ingenieriles sean análogas a las de los materiales convencionales y se demuestre asimismo que son productos no alterables, estables volumétricamente y que no producen lixiviados nocivos que puedan restringir su uso u obligar a adoptar medidas precautorias.

En esta línea se ha investigado acerca de muchos residuos. A continuación se exponen algunos de los que ya han sido admitidos y están siendo utilizados para tal fin:

- Residuos de la construcción de carreteras:
  - o Materiales procedentes de capas de firme.
  - o Rechazos de cantera.
  - o Polvo mineral de centrales de fabricación de mezclas bituminosas.
- Residuos industriales:
  - o Cenizas y escorias de centrales térmicas.
  - o Cenizas y escorias de las industrias del hierro y del acero.
  - o Estériles de mina (principalmente del carbón).
- Residuos urbanos / municipales:
  - o Cenizas y escorias de incineradores urbanos.
  - o Neumáticos usados.
  - o Escombros de demolición.
  - o Aceites usados de motor.
  - o Plásticos de desecho.
  - o Vidrio.

- Residuos agrícolas:
  - o Alpechines.

Sin embargo, se puede observar en el mencionado trabajo y en otros, que no se están utilizando ni el compost ni los lodos en la *recuperación forestal de los taludes de carreteras*. No existen, por tanto, experiencias previas que permitan consumir parte de la elevada cantidad generada de estos productos obtenidos en el tratamiento y depuración de los residuos urbanos.

España tiene también otro grave problema, que es la *desertificación* en gran parte de su territorio (la mitad sur de la península está amenazada por el avance del desierto y el deterioro del suelo). Además, las graves consecuencias que se está detectando por los efectos de la construcción en entornos áridos que destruyen la pequeña cobertura vegetal, produciendo con ello un rápido incremento del terreno erosionado, hace necesario realizar actuaciones que reduzcan la vulnerabilidad superficial de estos suelos frente agentes externos.

La terminología a aplicar en los casos de un avance del desierto fue definida con un criterio diferenciador y clarificador de las causas, en el Curso Latinoamericano sobre Detección y Control de la Desertificación, realizado en Mendoza en 1.987. Se diferenció la desertificación, definida como “la acentuación de las condiciones de aridez como resultado del impacto humano sobre los ecosistemas de regiones áridas y semiáridas” de la desertización, definida como “el cambio de una región a las condiciones del desierto por causas naturales”.

Si se examinan todos estos problemas por separado se puede pensar que no tienen una relación directa con las obras viarias, pero si se analiza la elevada producción existente en nuestro país de lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas y de compost de basuras domésticas; y si se considera la *alta*

*capacidad fertilizadora que los lodos y los compost tienen*, y que es precisamente lo que le falta a los suelos degradados para que puedan recuperarse, se puede ver una posible vía de relación de los dos problemas.

Por tanto, con la *aplicación de subproductos de plantas de tratamiento de residuos urbanos*, se está ante un nuevo campo que no se ha analizado desde una perspectiva de ingeniería viaria y ante un enfoque social de desarrollo sostenible; por todo ello, se ha de investigar sobre las posibilidades de esta aplicación y ante todo verificar que su ejecución no va a suponer ningún perjuicio en la calidad de los terrenos de las márgenes de las carreteras.

Al ser este un campo de aplicación no estudiado anteriormente, se va a acudir para su análisis al estado de la técnica en apartados posteriores que, si bien no son específicos para el caso, por la similitud existente nos van a ayudar a definir los parámetros necesarios para plantear la investigación.

En definitiva, se plantea la investigación consistente, básicamente, en la “Utilización de Residuos Urbanos en la protección de taludes de carreteras frente a la erosión” con la finalidad de poder establecer unos principios básicos en su aplicación. Para llevar a cabo este estudio serán necesarias unas parcelas de experimentación, que serán construidas en los taludes de la Variante de Martos (Jaén), en la A-316.

### 1.2.2.- DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

La Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo publicó el *Informe Brundtland* en 1987. Este documento expresó la necesidad de promover un



desarrollo sostenible adaptado a un punto de vista ecológico. Desde entonces, la Unión Europea (EU) adopta esta filosofía en todas sus políticas, regulaciones y documentos [1, 2].

*El Libro Blanco sobre la Política de Transportes Europea para 2010: tiempo para decidir* [2] resaltó la necesidad de desarrollar un transporte sostenible. Desde este punto de vista, uno de los impactos medioambientales principales causado por la construcción de carreteras es la degradación del terreno que conlleva la erosión de taludes de carreteras [3]. El factor más importante que influye en la erosión es la cobertura vegetal [4, 5].

El diseño y proyecto de taludes de carreteras así como de otros proyectos de las obras lineales de ingeniería ya no está limitado por los problemas tradicionales de estabilidad. Hoy día la integración del paisaje, la recuperación de vegetación y reducción de pérdida de suelo causada por la erosión son parámetros que son tan importantes como los geotécnicos [6].

La vegetación tiene varios efectos favorables sobre la protección frente a la erosión de taludes de carreteras. La cobertura vegetal retiene agua de lluvia y disminuye la erosión por salpicadura. El índice de infiltración es mayor en los terrenos con plantas que en suelos sin ellas [7]. Estos efectos, junto con la evapotranspiración, permiten la reducción de agua libre en la superficie y, por consiguiente, protegen el talud frente a la escorrentía superficial. Otros efectos que se pueden destacar son los siguientes: la modificación de propiedades naturales y mayor fijación del suelo gracias a las raíces que crean un marco de fibra unido íntimamente; protección frente al tráfico y la insolación, ya que se crea un microclima superficial que reduce la temperatura y crea variaciones de humedad. En definitiva, hay una disminución en el proceso del desgaste natural.

Por lo tanto, las plantas tienen un papel muy importante en el control de la erosión y en la estabilización de los taludes. Sin embargo, las características de los taludes no son normalmente convenientes para las plantas ya que los materiales se seleccionan básicamente según sus características resistentes.

Por otro lado, los humanos generan gran cantidad de residuos y subproductos. Hoy día se cuestionan soluciones tradicionales en la gestión de residuos tales como el vertedero o la incineración, por varias razones [8, 9]: la descarga en vertedero puede resultar peligrosa porque los vertidos pueden afectar al agua del subsuelo mientras que la incineración es una fuente de emisión y puede ser muy contaminante en algunos casos.

Por consiguiente, estas medidas de gestión de residuos están siendo restringidas por las Directivas de la Unión Europea. Estas medidas han incitado la investigación en nuevas soluciones medioambientales en la UE, incluso aunque la sociedad pueda incurrir en algunos costes de reciclado.

Como se indicaba en el apartado anterior, en la UE se lleva trabajando desde hace varios años para reciclar materiales en la construcción de las carreteras. Se ha de exigir que los materiales reciclados en la ingeniería civil tengan, al menos, similares características resistentes que los convencionales [10]. Se han investigado muchos productos y algunos de ellos ya se han aceptado en el diseño de carreteras [10, 11]:

Los problemas de gestión de residuos están empeorando en el entorno de las ciudades debido a la construcción masiva en áreas urbanas. En las líneas de tratamiento de residuos se generan subproductos obligatorios, pero en muchos



casos no se reutilizan, como es el caso de los lodos de depuradora o el compost. Estos residuos son subproductos del proceso de tratamiento de aguas residuales y de las plantas de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos, y se generan en todo el mundo.

La erosión en taludes de carreteras y la gestión de residuos urbanos parecen ser problemas no relacionados, pero si tenemos en cuenta conjuntamente la capacidad fertilizante de éstos [12, 13, 14] y la necesidad de mejorar las propiedades agronómicas de los materiales de los taludes de carretera, se tiene que la combinación de ambas casuísticas podría resolver ambos problemas parcialmente. La capacidad de fertilización de los residuos urbanos ayuda al crecimiento de la cobertura vegetal y reduce la erosión.

Gracias a este nuevo punto de vista en la gestión de los residuos urbanos, ésta podría tener las carreteras como uno de sus principales clientes [11, 15]. Este nuevo campo apenas se ha analizado antes. Recientemente alguna literatura ha aparecido informando sobre los efectos medioambientales de aplicar residuos sólidos urbanos en taludes de carreteras [16, 17, 18], pero es necesario realizar un trabajo mucho más extenso.

### 1.2.3.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] European Commission. Environmental Policy Review, Commission of the European Communities, Brussels, 2003.
- [2] European Commision. European transport policy for 2010: time to decide, Commission of the European Communities, Brussels, 2001.



- [3] J. Grace. Erosion control techniques on forest road cutslopes and fillslopes in north Alabama, *Transportation Research Record* 1652 (1999): 227-324.
- [4] R. Morgan. *Erosión y conservación del suelo*, Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1997.
- [5] D. Block. Controlling erosion from highway projects, *Biocycle* 41(1) (2000), 59-62.
- [6] N. Coppin, I. Richards. *Use of Vegetation in Civil Engineering*, CIRIA Water Engineering Report, Butterworths, London, 1990.
- [7] L. Meyer, W. Wischmeier, W. Daniel. Erosion, runoff and revegetation of denuded construction sites, *Transaction of the ASAE* 24(6) (1971), 1472-1475.
- [8] K. Cameron, H. Di, R. McLaren. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes?, *Australian Journal of soil research* 35(5) (1997):995-1035.
- [9] A. Belmonte. Reutilización y reciclado de materiales. Experiencia en Andalucía, Ed. Asociación Española de la Carretera, III Congreso Andaluz de Carreteras, Madrid, Spain, 2003, pp. 143-185.
- [10] A. Ruiz. Experiencias en España con la utilización de residuos y de materiales secundarios en carreteras, *Carreteras* 118 (2001): 8-25.
- [11] S. Mathur, S. Soni, A. Murty. Utilization of industrial wastes in low-volume roads, *Seventh International Conference on Low-Volume Roads* 1652 (1999): 246-256.
- [12] F. Amlinger, B. Gotz, P. Dreher, J. Geszti, C. Weissteiner. Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability, *European Journal of Soil Biology* 39(3) (2003): 107-116.
- [13] A. Andreadakis, D. Mamais, E. Gavalaki, S. Kampylafka. Sludge utilization in agriculture: possibilities and prospects in Greece, *Water Science and*



- Technology 46(10) (2002): 231-238.
- [14] M. Polo. Uso agrícola de lodos de depuradoras. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Sevilla, Spain, 1997.
- [15] M. Aziz, L. Koe. Potential utilization of sewage-sludge, Water Science and Technology 22(12) (1990): 277-285.
- [16] R. Persyn, T. Glanville, T. Richard, J. Laflen, P. Dixon. Environmental effects of applying composted organics to new highway embankments: Part 1. Interrill runoff and erosion, Transactions of the ASAE 47(2) (2004):463-469.
- [17] T. Glanville, R. Persyn, T. Richard, J. Laflen, P. Dixon. Environmental effects of applying composted organics to new highway embankments: Part 2. Water quality, Transactions of the ASAE 47(2) (2004):463-469.
- [18] S. Benik, B. Wilson, D. Biesboer, B. Hansen, D. Stenlund. Performance of erosion control products on a highway embankment, Transactions of the ASAE 46(4) (2003):1113-1119.
- [19] F. Rueda. Ecosistema de la vega del bajo Andarax, Ed. Confederación Española de Cajas de Ahorro, Madrid, 1987.
- [20] Las Palmerillas Meteorological Station. <http://www.laspalmerillas.cajamar.es>. (2003). (Meteorological daily data from 1976).
- [21] Ministerio de Fomento. PG-3. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. First Edition. Madrid, Spain, 1976.
- [22] J. Berger, A. Boss, H. Fehrenbach, F. Knappe, R. Vogt. Assesment of agricultural production from a waste management standpoint, Berichte Uber Landwirtschaft 81(2) (2003): 269-301.
- [23] R. Muchovej, R. Pacovsky. Future directions of by-products and wastes in



- agriculture, Agricultural uses of by-products and wastes, ACS Symposium Series 668 (1997): 1-19.
- [24] Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86/278/EEC)
- [25] European Commission. Working Document on Sludge, 3rd Directive Draft. Brussels, 27 April 2000
- [26] F. García, J. Martínez, I. Gómez, J. Mataix. Evolución foliar de Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Na) en olivos fertilizados con lodos de depuradora, VI Congreso Hispano-Luso de Fisiología Vegetal, Sevilla, Spain, 1999.
- [27] U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook 282, 1958.
- [28] J. Aguilo. Tratado del medio natural. Causas de destrucción del suelo, Tomo I, Ed. UPM, CEOTMA, INIA e ICONA, Madrid, Spain, 1981, pp. 499-559.
- [29] United Nations. FAO. Guidelines for Soil Profile Description. Food and Agriculture Organization, 3rd Edition. 197290.
- [30] M. González. La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Pasado, presente y futuro. Ecología 5 (1991): 7-28.
- [31] ICONA. Agresividad de la lluvia en España. Valores del Factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Madrid, Spain, 1988.

#### 1.2.4.- EXPERIENCIA DEL EQUIPO SOLICITANTE

##### Descripción del equipo

El grupo investigador se caracteriza por su marcada juventud, aunque consolidado, como lo pone de manifiesto el currículum relacionado con el tema del proyecto que a continuación se detalla. El equipo presenta actualmente resultados desde el punto de vista científico-técnico, así como publicaciones en revistas de prestigio y divulgación de resultados desde el punto de vista académico y tecnológico.

##### Trayectoria y Contribuciones de los Investigadores principales

Los Investigadores Principales del proyecto pertenecen al Grupo de Investigación MITA de la Universidad de Granada donde, desde hace varios años, viene desarrollando una línea de investigación en relación a la aplicación de subproductos de plantas de tratamiento de residuos urbanos, lodos de depuradoras y compost, para recuperación de terrenos y fijación y revegetación de taludes de carreteras.

En referencia al tema concreto del estudio propuesto, los investigadores principales han dirigido la lectura de **dos tesis doctorales** directamente relacionadas, habiendo ambas tesis obtenido la máxima calificación. Las tesis doctorales referidas son:

*Título:* Aplicación de subproductos de residuos urbanos en la fijación de taludes de terraplenes de carreteras. Estudio con especies autóctonas en el entorno semiárido de Sierra de Gádor (2004)

*Título:* Regeneración de terrenos semiáridos con biosólidos de depuración de aguas: particularización para ciudad costera: Melilla (2003)

Las investigaciones se iniciaron al amparo de dos **Contratos de Investigación** suscritos por los investigadores principales:

Título del contrato/proyecto: “Análisis de la aplicación de lodos de depuradora y compost de origen urbano en taludes de carreteras”

Tipo de contrato: Contrato de Investigación (nº F2066)

Entidad financiadora: FERROVIAL SERVICIOS S.A.

Duración: 1/07/2002 – 31/12/2003

Investigador Principal: Francisco Osorio Robles y Juan de Oña López

Título del contrato/proyecto: “Estudio sobre la utilización de residuos urbanos para la protección de terraplenes de carreteras frente a la erosión”

Tipo de contrato: Contrato de Investigación (nº F2055)

Entidad financiadora: U.T.E: PONIENTE ALMERIENSE

Duración: 15/04/2002 – 14/10/2002

Investigador Principal: Francisco Osorio Robles y Juan de Oña López

Fruto de los trabajos que condujeron a la Lectura y Defensa de las Tesis Doctorales anteriormente referenciadas, se han escrito varios artículos enviados a diferentes **revistas**, tanto de ámbito nacional como internacional. Entre las de **ámbito internacional** destacan:

Autores (p.o. de firma): **OSORIO, F. and OÑA, J.**

Título: Using Compost from Urban Solid Waste to Prevent Erosion in Road Embankments



Ref. revista / Libro: **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH**

Editor: Taylor and Francis; ISSN: 1093-4529

Volumen: A41,Nº10

Fecha: 2006

Autores (p.o. de firma): **DE OÑA, J. and OSORIO, F.**

Título: Application of sludge from urban wastewater treatment plants in roads' embankments

Ref. revista / Libro: **JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS**

Editor: Elsevier; ISSN: 0304-3894

Volumen: B131(1-3)

Páginas: 37-45

Fecha: Abril de 2006

Autores (p.o. de firma): **DE OÑA, J. and OSORIO, F.**

Título: Sustainable materials to reduce slope erosion on highway embankments

Ref. revista / Libro: **PROCEEDINGS OF THE ICE, INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS – TRANSPORT JOURNAL**

Editor: Thomas Telford Journals

ISSN: 0965-092X

Volumen: 159

Páginas: 15-24

Fecha: Febrero de 2006

Entre las **revistas de ámbito nacional**, destaca:

Autores (p.o. de firma): DE OÑA, J.; LÓPEZ, A. y OSORIO, F.

Título: La integración de las carreteras en la gestión de los residuos

urbanos

Ref. revista / Libro: CARRETERAS

Editor: Asociación Española de la Carretera

Volumen: Número 138

Páginas: 68-79

Fecha: Enero-Febrero de 2005

También se han presentado varias comunicaciones a **Congresos**, y que posteriormente se han convertido en capítulo de libro:

Título: III Congreso Andaluz de Carreteras.

ISBN: 84-989875-44-8

Editor: Asociación Española de la Carretera

Fecha: 2.003

Participación en los siguientes capítulos:

- LÓPEZ NAVARRO, A.; OSORIO ROBLES, F.; DE OÑA LÓPEZ, J.  
Nuevas soluciones sostenibles para la protección de terraplenes de carreteras frente a la erosión  
*Tomo I.- páginas: 419-432.*

Título: I Jornadas nacionales sobre innovación y nuevas tecnologías en la Ingeniería Civil.

ISBN: 84-380-0241-2

Editor: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Fecha: 2.002

Participación en los siguientes capítulos:

- OSORIO, F.; MIRAGAYA, G.; HERNÁNDEZ LEHMANN, A.; VEZA, J.M.

Regeneración de terrenos semiáridos con biosólidos de depuración de aguas residuales

Título: I Jornadas nacionales sobre innovación y nuevas tecnologías en la Ingeniería Civil.

ISBN: 84-380-0241-2

Editor: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Fecha: 2.002

Participación en los siguientes capítulos:

- LÓPEZ NAVARRO, A.; OSORIO ROBLES, F.; OÑA LÓPEZ, J.

Utilización de residuos urbanos en la protección de terraplenes de carreteras frente a la erosión

### **1.3.- CONTENIDO Y ALCANCE DEL PROYECTO. RESULTADOS PREVISIBLES**

#### **1.3.1.- NOVEDADES TECNOLÓGICAS Y FUNCIONALES**

##### **Resumen**

En primer lugar, se pretende la *medición de la erosión*, y no su estimación mediante fórmulas propuestas por diversos autores. En el campo de la aplicación propuesta, este objetivo es muy relevante, pues prácticamente no se encuentra ninguna referencia bibliográfica que lo haya llevado a cabo. Por lo tanto, sería una gran oportunidad de contrastar fórmulas como la de USLE (Ministerio de

Agricultura, EEUU), nada menos de 1958, y que muchos autores continúan aceptando y utilizando invariablemente.

Se pretende la realización de un estudio a gran escala, que permita definir una metodología de diseño para la aplicación de subproductos de residuos urbanos en taludes de carreteras. Para ello, se tendrán en consideración, al menos, los siguientes *parámetros y variables*: Ubicación, Orientación, Tipo de terreno del talud, Inclinación del talud, Dimensiones de las parcelas de experimentación, Selección de especies y método de plantación, Dosificación de semillas y marco de plantación, Selección de lodos y compost, Caracterización del suelo, lodos y compost, Estudio de cumplimiento de la normativa, Dosificación de lodos y compost, Época de tratamiento, Costes de la aplicación y comparativa con transporte a vertedero. Hasta 42 parámetros serán objeto de seguimiento y control durante la experimentación. *Pocos estudios se han realizado en todo el mundo con esta amplitud de escala y variables estudiadas.*

Se pretende obtener un protocolo que recoja la *“Metodología de aplicación de subproductos de residuos urbanos, lodos de depuradora y compost, en taludes de carreteras”* con el objeto de servir de orientación a la posible aplicación en otros ámbitos diferentes al de estudio. Esta metodología recogería la descripción, así como las conclusiones y recomendaciones respecto a todos los parámetros y variables que acaban de relacionarse anteriormente. *Sería una guía de máxima aplicación práctica para diferentes Administraciones responsables de la construcción de carreteras y de la Gestión de Residuos.*

La aplicación propuesta resulta muy novedosa y la *optimización* de los siguientes supuestos arrojaría luz sobre aspectos que hasta el momento no han sido estudiados en relación a la técnica: Estudio comparativo de la aplicación de

biosólidos conjuntamente con fertilizantes tradicionales inorgánicos; Estudio comparativo de la aplicación de biosólidos en taludes de carreteras con la adición de semillas y sin ellas; Estudio de aplicación de los biosólidos tanto en desmontes como en terraplenes de carreteras; Estudio sobre la cantidad y calidad de agua de escorrentía generada.

En definitiva, se quiere destacar que desde el punto de vista científico, se trata de un trabajo novedoso. No hay más que consultar las referencias bibliográficas que se encuentran sobre el tema propuesto, realmente escasas. Y las publicaciones recientes obtenidas por los investigadores proponentes no hacen más que demostrar la oportunidad en el momento presente de la investigación propuesta.

### Novedades tecnológicas y funcionales

Como se ha descrito en el apartado anterior, el equipo investigador y en particular los Investigadores principales, vienen avalados por una trayectoria sólida previa en relación al tema del proyecto.

Por tanto, ¿Cuáles son las principales novedades tecnológicas y funcionales que pretenden alcanzarse con el proyecto solicitado?:

- En primer lugar, se pretende la *medición de la erosión*, y no su estimación mediante una serie de parámetros que se introducen en fórmulas propuestas por diversos autores, con un grado de fiabilidad, cuando menos, algo limitado. En este sentido, algunos autores han llevado a cabo experiencias en laboratorio en las que se han simulado en modelos a pequeña escala las precipitaciones sobre el terreno y se posteriormente se

recogían los sólidos arrastrados. Como puede comprenderse, las conclusiones así obtenidas resultan muy limitadas. Nuestro proyecto propone la construcción de parcelas a escala real, independizadas unas de otras por separadores rígidos, construyendo el sistema de drenaje correspondiente para cada una y un sistema de recogida y almacenamiento de la escorrentía también individual, que permitiría conocer de forma precisa la cantidad de suelo erosionado.

En efecto, seríamos pioneros en la medición a escala real de la erosión en una investigación de nuestra naturaleza, y resultaría extremadamente interesante el contraste de los resultados de la experimentación con los valores obtenidos mediante fórmulas ampliamente aceptadas como la de USLE.

- Se pretende la realización de un estudio a gran escala, que permita definir una metodología de diseño para la aplicación de subproductos de residuos urbanos en taludes de carreteras. Para ello, se tendrán en consideración, al menos, los siguientes *parámetros y variables*:

- Ubicación
- Orientación
- Tipo de terreno del talud
- Inclinación del talud
- Dimensiones de las parcelas de experimentación
- Selección de especies y método de plantación
- Dosificación de semillas y marco de plantación
- Selección de lodos y compost. Caracterización del suelo, lodos y compost.
- Estudio de cumplimiento de la normativa

- Dosificación de lodos y compost
- Época de tratamiento
  
- En cuanto al *seguimiento* del proceso, se controlarán y realizará un seguimiento, al menos, de los siguientes parámetros:
  - En suelos, agua de escorrentía, lodos y compost:
    - o Parámetros agronómicos: Humedad relativa, Densidad real, Densidad aparente, Extracto Húmico total, Ácidos Húmicos, Ácidos Fúlvicos, Nitrógeno total, Nitrógeno nítrico, Nitrógeno amoniacal, pH, conductividad, materia orgánica, materia seca, Relación C / N, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio (K<sub>2</sub>O), Sulfato y Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).
    - o Contenido en metales pesados: Hierro, Cobre, Zinc, Mercurio, Cadmio, Níquel, Plomo, Cromo.
    - o Parámetros de la contaminación microbiológica: Coliformes fecales, Salmonella, Clostridium perfringens, Estreptococos fecales.
  
  - En las parcelas:
    - o Control de las condiciones meteorológicas.
    - o Seguimiento del prendimiento de las plantas.
    - o Medición del crecimiento de las plantas.
    - o Recuento de plantas germinadas por m<sup>2</sup>.

- Recuento del número de plantas colonizantes por m<sup>2</sup>.
  - Cálculo de la superficie de cobertura vegetal por parcela.
  - Medición de la erosión en las parcelas.
  - Control de la evolución de los parámetros agronómicos en las
  - parcelas.
  - Control de la evolución de los parámetros microbiológicos.
- Se realizará un *estudio de costes* comparativo de la paliación de éstos si se considera esta solución frente a su posible transporte a vertedero. De igual forma, se evaluará la disponibilidad necesaria de superficies para hacer viable la aplicación propuesta. En nuestro caso, este estudio estará referenciado a Andalucía.
- Ciertos aspectos pretenden ser estudiados. La aplicación propuesta resulta muy novedosa y la *optimización* de los siguientes supuestos arrojaría luz sobre aspectos que hasta el momento no han sido estudiados en relación a la técnica:
- Estudio de las diferentes fórmulas de trabajo para las mezclas biosólido-semilla y la optimización de su aplicación al talud.
  - Estudio comparativo de la aplicación de biosólidos conjuntamente con fertilizantes tradicionales inorgánicos.
  - Estudio comparativo de la aplicación de biosólidos en taludes de carreteras con la adición de semillas y sin ellas.
  - Estudio de aplicación de los biosólidos tanto en desmontes como en terraplenes de carreteras.
  - Estudio sobre la cantidad y calidad de agua de escorrentía generada

- Para la consecución de los objetivos marcados, va a ser necesaria la construcción de *10 parcelas*. Esta cantidad de parcelas resulta al plantear 2 juegos de parcelas, uno en desmonte y otro en terraplén. En cada juego de parcelas, se aplicarían 4 dosificaciones diferentes de biosólidos y de combinaciones entre ellos. El talud sería fijo, el 2:1.

### 1.3.2.- ALCANCE PREVISTO Y OBTENCIÓN DE PATENTES

Desde el punto de vista social, el impacto previsto por la realización del proyecto es extraordinario, porque si se logran alcanzar los objetivos, esto es, la optimización de la aplicación propuesta demostrando los mínimos efectos negativos asociados, **los taludes de carreteras pueden representar un lugar con enorme potencial para verter residuos** que se generan en ingentes cantidades, y cuya gestión en las ciudades es cada vez más problemática. Otro beneficio asociado consistiría en la **reducción de la erosión** como consecuencia de la revegetación de los taludes, así como la **disminución del impacto ambiental en la construcción de carreteras**.

Desde el punto de vista económico, el **coste asociado es muy reducido**, inferior a cualquier otra alternativa de gestión de residuos urbanos de plantas de compostaje y lodos de depuradoras.

Desde el punto de vista cuantitativo, en anteriores trabajos desarrollados por los investigadores proponentes, se calcula que en Andalucía, donde se centra el Estudio propuesto, existen superficies de talud en carreteras suficientes para aplicar todo el compost y lodos de depuradora generados.



Desde el punto de vista científico-técnico, como se indica más adelante, se quiere destacar que se trata de un trabajo novedoso. No hay más que consultar **las referencias bibliográficas que se encuentran sobre el tema propuesto, realmente escasas. Y las publicaciones recientes obtenidas por los investigadores proponentes con estudios previos no hacen más que demostrar la oportunidad en el momento presente de la investigación propuesta.**

En definitiva, el desarrollo del Proyecto supone la construcción de una serie de parcelas, a escala real, equipadas con sistema de drenaje y recogida de aguas de lluvia. Estas parcelas estarán ubicadas en la Variante de Martos (Jaén), en la A-316.

Con los resultados obtenidos a partir de estas parcelas, como producto final del proyecto, se pretende la elaboración de un protocolo que recoja la *“Metodología de aplicación de subproductos de residuos urbanos, lodos de depuradora y compost, en taludes de carreteras”* con el objeto de servir de orientación a la posible aplicación en otros ámbitos diferentes al de estudio y, de este modo, promover la utilización de carreteras para dar salida a los subproductos mencionados. Esta metodología recogería la descripción, así como las conclusiones y recomendaciones respecto a todos los parámetros y variables que acaban de relacionarse anteriormente.

Por otro lado, se intentaría el patentado o, cuando menos, la divulgación amplia y adecuada de las dosis óptimas de aplicación de lodos y compost.

#### **1.4.- PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

En este apartado se van a definir los hitos que constituyen el plan de trabajo. Al plan de trabajo propuesto se llega tras el análisis de todos los aspectos que se han ido describiendo en anteriores apartados y, en particular, en el correspondiente al contenido y alcance del proyecto.

En este sentido, conviene aclarar que para los Estudios de caracterización, tanto de suelos como de agua de escorrentía, biosólidos, lodos y compost, se van a llevar a cabo las analíticas que ya se han listado en 1.3.1). En cuanto a la ejecución de parcelas, en el mismo apartado 1.3.1), se han expuesto los motivos que nos llevan a plantear la ejecución de un total de 10. Cada parcela dispondrá de un sistema de drenaje y recogida de aguas de lluvia para la medición de la erosión. En la Memoria económica se describirán las principales unidades constructivas que deberán ser ejecutadas para la construcción de las parcelas, con su correspondiente valoración.

Finalmente, se desea explicar que para el desarrollo de los hitos 5) y 8), básicamente, los medios necesarios consisten en personal, pues las medidas que deben llevarse a cabo en el seguimiento no implican la utilización de complicados equipos o aparatos. En cualquier caso, algunos aspectos relacionados con la forma de ejecución de los hitos, si quedase alguna laguna al respecto, serán aclarados en la Memoria económica, donde quedarán especificados los componentes del coste, esto es, los medios necesarios para llevar a término cada uno de ellos.

En definitiva, con las premisas expuestas, los hitos de trabajo propuestos serían (ver cronograma en la página 37):



- 1.- Estudio de caracterización de suelos y selección de la ubicación y orientación de las parcelas.  
01/01/2007 – 31/01/2007
  
- 2.- Ejecución de las parcelas.  
01/01/2007 – 28/02/2007
  
- 3.- Estudio de caracterización y selección de biosólidos, lodos y compost.  
01/02/2007 – 28/02/2007
  
- 4.- Aplicación de biosólidos, Siembra y Plantación, Mantenimiento inicial.  
01/03/2007 – 31/03/2007
  
- 5.- Seguimiento de los parámetros de control (1<sup>er</sup> Ciclo Vegetativo):  
Medición de la erosión, Control analítico del agua de escorrentía,  
Condiciones meteorológicas, Prendimiento, Crecimiento, Germinación,  
Recuento de Colonizantes.  
01/04/2007 – 30/06/2008
  
- 6.- Campaña analítica para caracterizar el suelo tras completarse el primer ciclo vegetativo.  
01/07/2008 – 31/07/2008
  
- 7.- Análisis de resultados (1<sup>er</sup> Ciclo Vegetativo): Cálculo de la cobertura vegetal, Evolución de la erosión, Evolución de los parámetros de control analizados, Estudio estadístico.  
01/08/2008 – 30/11/2008



- 8.- Seguimiento de los parámetros de control (2º Ciclo Vegetativo):  
Medición de la erosión, Control analítico del agua de escorrentía,  
Condiciones meteorológicas, Prendimiento, Crecimiento, Germinación,  
Recuento de Colonizantes.  
01/11/2008 – 30/06/2009
  
- 9.- Campaña analítica para caracterizar el suelo tras completarse el  
segundo ciclo vegetativo.  
01/07/2009 – 31/07/2009
  
- 10.- Análisis de resultados (2º Ciclo Vegetativo): Cálculo de la cobertura  
vegetal, Evolución de la erosión, Evolución de los parámetros de  
control analizados, Estudio estadístico.  
01/08/2009 – 30/11/2009
  
- 11.- Redacción del Informe final.  
01/11/2009 – 31/12/2009



### CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO (ENERO DE 2007 A DICIEMBRE DE 2009)

Id	i	1er trimestre			2º trimestre			3er trimestre			4º trimestre			1er trimestre			2º trimestre		
		ene '07	feb '07	mar '07	abr '07	may '07	jun '07	jul '07	ago '07	sep '07	oct '07	nov '07	dic '07	ene '08	feb '08	mar '08	abr '08	may '08	jun '08
1		■																	
2		■	■																
3			■	■															
4				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			

Id	i	3er trimestre			4º trimestre			1er trimestre			2º trimestre			3er trimestre			4º trimestre		
		jul '08	ago '08	sep '08	oct '08	nov '08	dic '08	ene '09	feb '09	mar '09	abr '09	may '09	jun '09	jul '09	ago '09	sep '09	oct '09	nov '09	dic '09
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6		■	■																
7			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9													■	■	■	■	■	■	■
10														■	■	■	■	■	■
11																		■	■



Universidad de Granada

Gestión de Infraestructuras de Andalucía  
**CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES**



## **PROYECTO MEDIOAMBIENTAL DE I+D+i**

# **MEMORIA ECONÓMICA**

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA Y COMPOST  
PARA LA RESTAURACIÓN DE TALUDES DE CARRETERAS**

**INSTITUCIONES PARTICIPANTES:  
GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE ANDALUCÍA, GIASA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA**



## **2.1.- JUSTIFICACIÓN DE COSTES**

Se va a realizar un desglose para explicar cómo se han obtenido las cifras que figuran en el presupuesto del proyecto incluido en el Convenio:

Hipótesis para el cálculo del presupuesto del proyecto:

- a) Duración: 3 años
- b) Número parcelas: 10
- c) Componentes del coste más importantes:



**COSTE EJECUCIÓN PARCELAS**

Movimiento de tierras	419 €
Separación de parcelas y drenaje	623 €
Recogida escorrentía para medida erosión (incluido tanque)	1268 €
	<hr/>
	2310 €/parcela

Nº parcelas = 10

**TOTAL COSTE EJECUCIÓN PARCELAS 23100 €**

**COSTE PRIMER MES**

Transporte Biosólidos	950 €
Aplicación Biosólidos (1 días *2 personas + 1 báscula agronómica)	1500 €
Riego: 3 veces * 1 persona * 1 días	450 €
Semillas	3000 €
	<hr/>

**TOTAL COSTE PRIMER MES 5900 €**

**COSTE UNITARIO DE ANALÍTICAS**

Análisis granulométrico suelo	85 €
Ensayo de corte directo suelo	275 €
Metales pesados y parámetros agronómicos: suelo y biosólidos	385 €
	<hr/>

Coste analítica suelo inicial	745 €
Coste analítica suelo tras ciclo vegetativo	385 €
Coste analítica biosólidos	385 €
Coste analítica aguas y sedimentos (10 al año)	2700 €

**COSTE TOTAL DE ANALÍTICAS**

Coste total analíticas primer año	3830 €
Coste total analíticas segundo año	3085 €
Coste total analíticas tercer año	3085 €

**TOTAL COSTE ANALÍTICAS 10000 €**

**VIAJES Y DIETAS**

**TOTAL COSTE VIAJES Y DIETAS 5000 €/año**



Universidad de Granada

Gestión de Infraestructuras de Andalucía  
**CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES**



# ANEJO.- LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS TALUDES PILOTO EN LA VARIANTE DE MARTOS (JAÉN), EN LA A-316.



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN. DESCRIPCIÓN DEL TRAMO SELECCIONADO PARA EL ESTUDIO.
2. GEOLOGÍA Y PROCEDENCIA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA OBRA
- 3.- CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA
- 4.- TRATAMIENTOS GEOTÉCNICOS EN DESMONTES Y TERRAPLENES PREVISTOS EN PROYECTO
- 5.- PLANOS DE LOCALIZACIÓN DE LOS DESMONTES Y TERRAPLENES OBJETO DE ESTUDIO



## **1. INTRODUCCIÓN. DESCRIPCIÓN DEL TRAMO SELECCIONADO PARA EL ESTUDIO.**

La investigación propuesta se llevará a cabo en la variante de Martos (Jaén), en la A-316 (de Úbeda a Cabra por Jaén). Se trata de una carretera de la red de carreteras de Andalucía, en concreto de la red autonómica básica, quedando clasificada como vía de gran capacidad. Por tanto, su titularidad pertenece a la C.O.P.T. de la Junta de Andalucía.

A pesar de estar clasificada como vía de gran capacidad, entre Úbeda y Jaén (enlace con la CN-323) es una carretera convencional, quedando interrumpido su itinerario en la CN-323, para reaparecer al Norte de Jaén en el enlace con la CN-323a, ya como autovía. Actualmente se encuentra en construcción la autovía A-316 entre Mancha Real y Jaén (Enlace Norte de Jaén con la CN-323 y CN-323a).

La A-316 mantiene la sección de autovía hasta Martos (Enlace Norte), donde vuelve a tomar la sección tipo de carretera convencional hasta Cabra.



El tramo proyectado se encuentra situado en la provincia de Jaén, en concreto en el Término Municipal de Martos, constituyendo la variante de Martos de la A-316, a las faldas de la ladera occidental de la Peña de Martos, en las estribaciones de la Sierra de la Grana.

En la variante de Martos, la A-316 tiene un trazado sinuoso de componente Norte-Sur que discurre sobre un relieve ondulado. Las curvas son de pequeño radio, diseñados para una velocidad de 80 km/h, y las rasantes alcanzan valores del orden del 5 % en todo el tramo.

Además del Enlace Norte (empleado principalmente por los movimientos con origen / destino Jaén / Martos), la variante tiene una intersección con la carretera JV-2141 (entorno al Km 80+870), que coincide con la curva de menor radio del trazado (260 m aproximadamente) y tiene una importante intensidad de giros a la izquierda. Ello es motivo de numerosos accidentes. Esta intersección comunica directamente con el casco urbano de Martos por el Oeste de la población.

Asimismo, sobre el Km 82+200 hay otra intersección, que permite el acceso a Martos desde el Sur (Alcaudete) y comunica, a través de una vía urbana, con el Polígono Industrial de Martos y con la carretera JV-2215, a



Fuensanta de Martos (es decir, sirve también como variante de esta carretera, que penetra por el Sudeste en el casco urbano).

## **2. GEOLOGÍA Y PROCEDENCIA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA OBRA**

La zona objeto de este estudio se encuadra en el sector septentrional de las Cordilleras Béticas, en el límite de las zonas externas con la depresión del Guadalquivir.

Los materiales encontrados en la zona de estudio pueden dividirse en dos grandes grupos, atendiendo a características estratigráficas y estructurales: las unidades intermedias del Subbético externo y las unidades de la depresión del Guadalquivir.

Las primeras constituyen los materiales más antiguos encontrados en la zona de estudio, los cuales tienen edades que van desde el Jurásico inferior hasta el Cretácico superior. Afloran en la Sierra de la Grana, al este de Martos, y se continúan, hacia el este, en la hoja de Jaén, con la Unidad de Jabalcuz



son los del Trías. Sobre ellos se encuentran distintos afloramientos aislados de materiales del Cretácico y del Terciario.

Los materiales que forman parte del relleno de la depresión del Guadalquivir ocupan la mayor parte de la banda estudiada. En el inicio de la traza aflora la unidad olistostrómica, que constituye la base de la depresión. A partir del P.K. 1+200 podemos encontrar distintos materiales cuyas edades oscilan entre el Mioceno superior y el Cuaternario.

La zona de estudio presenta una morfología de relieves suaves, en la que no se encuentran diferencias importantes en función de la litología. En las partes inicial y final de la traza, los relieves consisten en cerros de cimas redondeadas y laderas de poca pendiente. La parte central coincide con el valle aluvial del Arroyo de la Fuente. De esta forma, el perfil longitudinal del trazado desciende suavemente desde el P.K. 0+300 hasta el cruce con el arroyo (P.K. 1+800), para después volver a subir de manera paulatina hasta el P.K. 3+500.

Los relieves más destacados dentro del área son algunos cerros situados en la parte inicial del recorrido, en los que aflora la alternancia de margas y areniscas, así como dos cerros que aparecen a ambos lados de la traza en los que afloran los conglomerados y limos arenosos del Plioceno. Por



su parte, la cota mínima (615 m) coincide con el cauce del Arroyo de la Fuente (P.K. 1+820).

Aunque queda fuera del área de estudio, el rasgo morfológico más representativo es la Peña de Martos. La presencia de calizas micríticas y oolíticas implica que esta peña constituye un relieve que destaca sobre las lomas en las que afloran otros materiales más blandos. Asociado a la Peña de Martos, se ha desarrollado un glacis de ladera, ocupado por depósitos coluviales, de naturaleza conglomerática, que se dispone al oeste de la población y que alcanza la banda afectada por la traza (PP.KK. 1+200–2+400).

La red fluvial del este sector está pobremente desarrollada. El único cauce de cierta importancia que se encuentra en la zona de estudio es el Arroyo de la Fuente, que atraviesa la traza en el P.K. 1+820. Este arroyo nace en la cercana Sierra de La Grana, al este de Martos, y desemboca en el Arroyo Salado, tributario directo del Río Guadalquivir. Además del Arroyo de la Fuente, se han encontrado algunos arroyos de escasa importancia.

Los cursos de agua del área de estudio, los cuales discurren sobre materiales eminentemente limo-margosos, desarrollan cauces con fondo plano o en cuna, debido a la escasa incidencia de procesos de encajamiento de la



red fluvial. En cualquier caso, no son apreciables fenómenos de erosión remontante y acarcavamiento.

En general, los materiales de la banda estudiada son poco permeables, debido a la abundancia de margas. La única formación que muestra una permeabilidad aceptable corresponde a los depósitos detríticos Pliocuaternarios, entre los que abundan conglomerados con trama abundante, matriz limosa y, mayoritariamente, sin consolidar. Dentro de estos depósitos se encuentran los conglomerados y limos-margosos pliocenos y los depósitos coluviales cuaternarios. No obstante, la presencia de niveles intercalados de limos-margosos, poco permeables, en los conglomerados pliocenos, disminuye considerablemente la capacidad de esta formación para formar acuíferos importantes. Por su parte, la escasa potencia de la formación coluvial hace que los acuíferos generados en la misma tengan una capacidad limitada.

En lo relativo a la procedencia de materiales, una parte importante del material a extraer de la excavación de la explanación será utilizado en el núcleo de los terraplenes. Así, las tres formaciones mayoritarias (alternancia de margas y areniscas, margas limosas y conglomerados, y limos margosos), que son además aquellas en las que se proyectan los desmontes de mayor importancia, proporcionarán en su mayor parte suelos tolerables.



### 3.- CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

En la fase de redacción del Proyecto de Construcción de la variante, se determinaron los parámetros climáticos significativos que pueden tener una incidencia constructiva directa ó indirecta sobre la ejecución de la obra, a partir de los datos contenidos en la publicación "Datos Climáticos para Carreteras" (MOPT), contrastados y complementados con los proporcionados por las estaciones medidoras que el I.M.N. posee en la zona de estudio.

Como resumen de todo lo expuesto, los datos climáticos definitivos serían:

- a) Precipitación media anual: 594,7 mm.
- b) Número medio anual de días de lluvia: 61 días.
- c) Temperatura media anual: 17° C.
- d) Temperatura máxima absoluta: 43,5° C.
- e) Temperatura mínima absoluta: -8° C.
- f) Oscilación verano-invierno de las temperaturas medias mensuales: 18,8° C.



- g) Oscilaciones de los valores medios mensuales de las temperaturas extremas: 29,4° C.
- h) Valor máximo de la oscilación de temperaturas: 50°C
- i) Humedad relativa media diaria en Julio: 45,5 %.
- j) Humedad relativa media diaria en Enero: 77 %.
- k) Valor medio anual del número de horas de sol: 2.841 h.

La zona se sitúa en un ecoclima Mediterráneo Subtropical, con un tipo de invierno Citrus y un tipo de verano Algodón más cálido, según la clasificación de Papadakis.

#### **4.- TRATAMIENTOS GEOTÉCNICOS EN DESMONTES Y TERRAPLENES PREVISTOS EN PROYECTO**

##### Desmontes.

Como prevención de la erosión de los taludes de desmonte se propone como medida más eficaz, una cobertura de revegetación, en la que cuanto más densa sea esta, mayor será su protección.



Puede presentarse el problema de que esta cobertura no llegue a arraigar en el desmonte si no se realiza una labor de conservación y riego en los mismos. Sin embargo, se propone por tanto la utilización de una cobertera que cumpla estos requisitos, y en la que es preferible que se mantenga sin necesidad de excesivo riego, ya que el agua puede hacer alterar la superficie de los taludes. Además, si las raíces profundizan en el terreno, puede ayudar a mantener la estabilidad de la pequeña capa activa que pudiera formarse en la superficie de los taludes en desmonte en aquellas formaciones más arcillosas.

Se cuidará con especial detalle el drenaje longitudinal, disponiendo siempre cunetas revestidas de hormigón, a su vez se introducen cunetas de guarda en la coronación de los taludes de forma que nunca se produzca escorrentía sobre la superficie del desmonte, estas cunetas de guarda han de ir también revestidas para evitar la infiltración en el interior del desmonte. El haber incorporado bermas intermedias en los taludes de excavación de altura mayor 10 m, hace que el agua de escorrentía que circula por los mismos quede recogida en berma mediante una cuneta, de forma que no llegue nunca a existir grandes longitudes de escorrentía en el talud. Estas cunetas deberán estar revestidas, ya que se trata de materiales erosionables, y sobre todo



porque podría producirse la infiltración de agua en el desmante desde los mismos.

En el desmante inicial del trazado y hasta el P.K 0+160 se recomienda en su margen derecha, recrecido del muro de escollera existente y cunetas de guarda en su coronación y en bermas, así como reperfilado del talud y proyección de la superficie con colocación de escollera de pequeño tamaño. En la margen izquierda se dispondrá de cuneta guarda en coronación de muro de escollera existente.

### Terraplenes.

En el cálculo de asientos realizado se han determinado tiempo de espera de 45 días tras la construcción de algunos terraplenes y previa sustitución de un determinado espesor de terreno compresible en el cimiento.

En zonas encharcables se proyecta la protección con escollera, concretamente en la margen izquierda del terraplén actual entre los PP.KK. 0+850 y 1+050 así como en ambas márgenes de los terraplenes sobre los aluviales del Arroyo de la Fuente. Igualmente se proyecta drenaje en espina de



pez en aquellos terraplenes donde la investigación del firme actual ha presentado medidas de deflexiones más desfavorable.

En terraplenes adosados a los actuales se recomienda la construcción en abancalamiento con altura de un metro de forma que el relleno actual quede perfectamente trabado con el nuevo relleno.

## **5.- PLANOS DE LOCALIZACIÓN DE LOS DESMONTES Y TERRAPLENES OBJETO DE ESTUDIO**

A continuación se acompañan dos planos en los que se localizan, sobre sendos planos del trazado de la Variante de Martos, en la A-316, los desmontes y terraplenes que serán utilizados para la investigación propuesta.