
**Revalorización y aprovechamiento
de purines, lodos de depuradora
y residuos agrícolas para
recuperación ambiental
de canteras de mármol
abandonadas en la región
de Murcia**

Antonio Espín de Gea

Ayudas a la investigación 2008

Autor

Antonio Espín de Gea

Centro Tecnológico del Mármol y la Piedra
Geología y Medioambiente

Índice

1.	Resumen	4
2.	Introducción y antecedentes	4
	2.1. Justificación del proyecto	6
	2.1.1. Valor del proyecto desde el punto de vista científico-tecnológico	6
	2.1.2. Descripción del estado de la tecnología en España y en el extranjero	6
3.	Objetivos del proyecto	8
4.	Metodología	8
	4.1. Planificación	8
	4.2. Revisión de información y diseño de experimentos	9
	4.2.1. Recopilación de información	9
	4.2.2. Antecedentes	9
	4.2.3. Usos del suelo	9
	4.2.4. Geología de la zona	10
	4.2.5. Hidrogeología	11
	4.2.6. Características de la explotación	11
	4.2.7. Método de explotación.	12
	4.2.8. Superficie afectada	13
	4.2.9. Preparación del terreno a experimentar	13
	4.3. Análisis del laboratorio	15
	4.3.1. Análisis muestras	15
	4.4. Estación microclimática	17
	4.5. Estudio de la vegetación de la zona	18
	4.5.1. Breve reseña de la vegetación de Cehegín	18
	4.5.2. Peñarubia	18
	4.6. Ejecución de los trabajos y adicción de las enmiendas a las parcelas	19
5.	Resultados y discusión	20
6.	Conclusiones	20
7.	Bibliografía	20

1. RESUMEN

El proyecto realizado por el Centro Tecnológico del Mármol está enfocado hacia la integración de espacios afectados por la extracción de roca ornamental, su restauración mediante la adicción de enmiendas como residuos de poda (agrícolas), residuos urbanos (compost) y residuos porcinos (purines) en relación con tratamientos del terreno diferentes.

Se ha seleccionado una zona de estudio situada en la cantera "Peñarubia" en su frente A que fue rellenado por estériles de cantera dejando una superficie a merced de las inclemencias meteorológicas.

Se han caracterizado tanto el sustrato geológico como la vegetación circundante para la selección posterior del material para revegetar.

Se ha cubierto toda esa zona con una capa de tierra vegetal de unos 20 cm de espesor proveniente de las terrazas aluviales del Quipar. Una vez adaptada la zona de estudio se ha realizado un estaqueo de las 63 parcelas experimentales de 5*4 metros y se han delimitado mediante cuerda.

Cuando todo este proceso se ha realizado se han incorporado de manera controlada exhaustivamente las enmiendas seleccionadas mediante el peso por parcela, quedando los distintos tratamientos mezclados con la tierra vegetal para la colonización de la vegetación o plantación en la segunda fase.

Todos estos procesos están siendo controlados por una estación meteorológica para cuantificar los valores de precipitación, humedad relativa, Tª y humedad del suelo.

Hay que destacar que una limitación importante ha sido el tiempo ya que hay procesos como los análisis de laboratorio y los de semillas que son laboriosos y necesitan más tiempo y tomar muestras espaciadas en el tiempo tras la adicción.

Tras la realización de todos estos procesos la vegetación va ir proliferando de una manera especial en cada parcela experimental a lo largo del tiempo por lo que cuanto más tiempo transcurra mejores y más visibles serán los efectos de las enmiendas. Debido a este hecho en este momento los resultados son poco visibles.

2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Las actividades mineras extractivas generan un impacto ambiental notable lo que conlleva una importante degradación del medio natural. Con el objetivo de paliar estos efectos, hace más de veinte años se dictaron las primeras normas a nivel nacional, como es el Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre restauración del espacio natural afectado por actividades mineras, que establece que quienes realicen el aprovechamiento de recursos, regulados por la Ley de Minas de 21 de julio de 1973, quedan obligados a realizar trabajos de restauración del área afectada por las labores mineras.

Actualmente la Región de Murcia es una de las zonas con mayor potencialidad geológica a escala nacional; de hecho, representa cerca de un 12,6 % en la extracción, de mármol, caliza y árido. Esto se materializa en más de un centenar de yacimientos en explotación.

Los datos apuntan a que en el año 2002 existían 135 canteras de roca ornamental explotadas por unas 50 empresas que produjeron un total de 675 000 Tn de mármol, lo que se traduce en una facturación en exportación de 16 millones de euros (Centro Tecnológico del Mármol de la Región de Murcia, 2002). El conjunto de empresas dedicadas directamente a la extracción y transformación de piedra ornamental de la Región se encuentra concentrado en la Comarca del Noroeste, centrándose la mayoría de las empresas del sector entre los municipios de Caravaca y Cehegín.

A lo largo de la geografía de la Región de Murcia nos encontramos gran número de canteras abandonadas, en las cuales no se han llevado a cabo ningún plan de restauración. Entre otras cosas es debido a que en este tipo de actividad, con los movimientos de materiales que se realizan, se originan huecos y escombreras, se construyen nuevas infraestructuras e instalaciones, etc., que provocan cambios en la fisiografía del lugar y pérdida de calidad del paisaje, lo que puede convertir el terreno donde están enclavadas en zonas de difícil reutilización, si no se ha previsto desde la fase de proyecto su reintegración en el entorno.

La Administración pública al día de hoy se encuentra con este gran número de explotaciones, abandonadas, con la consiguiente degradación del medio que ello conlleva, muchas de las cuales son utilizadas como simples basureros, y con explotaciones en activo, que en un futuro deberían de ser restauradas. A esto hay que sumarle la poca información disponible con respecto a la restauración de estos espacios en la Región de Murcia.

Existen numerosos manuales, estudios y artículos sobre la restauración de canteras, pero todos ellos describen una restauración "modelo" bastante general. Hay comunidades como La Rioja que han elaborado su propio Manual de Restauración de Minas a Cielo Abierto; siguiendo esta iniciativa encontramos otras comunidades como la de Aragón o Navarra que ya están trabajando sobre esta línea para elaborar sus propios Manuales de Restauración.

Todos estos manuales coinciden en que la rehabilitación de las nuevas superficies, creadas por la extracción de roca ornamental, implica frecuentemente la reconstrucción de un suelo. Los primeros trabajos de restauración se orientarán de este modo hacia la recuperación de la fertilidad del suelo original, para lo cual es necesario cubrir la superficie con materiales residuales que hagan la función de enmendante y fertilizante, cumpliendo el doble objetivo de facilitar la recuperación y eliminar un residuo.

Así, las últimas tendencias siguen esta línea, llevándose a cabo numerosos estudios sobre el empleo de enmiendas orgánicas para la mejora edáfica en medios degradados, como son estas zonas afectadas por

explotaciones a cielo descubierto. Son diversos los Simposios, Jornadas y Congresos organizados sobre "Utilización de residuos orgánicos en restauración" y la mayoría de trabajos presentados muestran efectos a corto-medio plazo producidos por la adición de residuos orgánicos en zonas degradadas. Entre los problemas que se abordan tenemos la falta de definición de dosis de aplicación y la variabilidad de efectos de estas dosis sobre el suelo y las plantas en función del tipo de preparación del terreno, la profundidad de mezcla o las características intrínsecas del suelo y del residuo. No obstante, la baja interacción que todavía existe entre investigadores y gestores, y el descenso generalizado en el número de actuaciones de restauración y reforestación producida en los últimos años, a lo que se añaden las reticencias, son la causa del incremento de coste de estas técnicas.

Tanto en la propia Región de Murcia como en diferentes zonas de la geografía nacional, se han desarrollado estudios necesarios en esta misma línea empleándose desde purines, a residuos agrícolas o lodos de depuradoras y determinándose, pérdida de suelo, aumento de la fertilidad e incremento de la materia orgánica, etc.

El aprovechamiento de residuos de origen orgánico que se producen en gran exceso en la Región de Murcia, como son los purines de cerdo, puede mejorar las propiedades físico-químicas de los suelos a recuperar. El sector porcino en la Región de Murcia es de los más importantes de España, contando con un censo de más de 2 055 825 de cabezas (C.A.A.M.A., 2005). Dentro de la Región, la mayor parte de las explotaciones ganaderas de porcino se concentran en la zona suroeste, sobre todo en el Valle del Guadalentín (Lobera et al., 1998). Sin embargo, existen otras zonas que están cobrando importancia en los últimos años como son los municipios de Cartagena, Murcia y Fuente-Álamo. Estos hechos confirman que, a efectos de producción de residuos ganaderos, tenemos, por orden de importancia, a Lorca, con casi 4 millones de m³ anuales de purines, seguido de Fuente-Álamo con 2,3 millones, Murcia con 1 millón y Cartagena con 0,8 millones.

Igualmente, el empleo de residuos agrícolas, entendiendo estos como la fracción o fracciones de un cultivo que no constituyen la cosecha propiamente dicha y a aquella parte de la cosecha que no cumple con los requisitos de calidad mínima para ser comercializada como tal. De forma similar, los restos de poda de los cultivos leñosos deben ser considerados asimismo residuos agrícolas estrictos. Estos materiales presentan un contenido hídrico muy variable (según el desarrollo ontogénico del cultivo en la época de recolección), elevado contenido en materia orgánica, fracción mineral variable en concentración total y equilibrio (según el órgano o fracción de que se trate) y relación C/N generalmente alta, aunque con notables diferencias según la naturaleza y composición del residuo. La biodegradabilidad de estos materiales es función del contenido relativo en biomoléculas fácilmente degradables (azúcares solubles y de bajo peso molecular, hemicelulosa y celulosa) y en componentes de lenta degradación (ceras, ligninas y otros polifenoles).

Estos residuos también suponen un problema real por la cantidad de toneladas generadas y, de la misma manera que los purines, se pueden emplear para aumentar la fertilidad del suelo.

La producción agrícola en el estado español en 1999 (FAO, 2000) indica que el 44,51% de la superficie agrícola se destina a cereales, el 21,65% a oleaginosos, el 12,2% a fruta dulce y viñedo, el 8,11 a cultivos forrajeros y el 4,74% a frutos secos. A partir de los datos existentes sobre superficie de cultivo y producción de los principales cultivos en España, y teniendo en cuenta la cantidad de residuos que presumiblemente pueden generar, se puede hacer una estimación global de la cantidad de residuo de cosecha generado y del rendimiento en humus de los mismos.

Las estimas realizadas para los cereales indican que, si se incorporan todos los residuos de cosecha al suelo (raíces+rastrojos+paja o equivalente), la materia seca total disponible sería entre 5.5 y 11 Tm/ha. El valor humígeno de esta materia seca oscilaría entre 550 y 1100 kg de humus/ha, según cultivos. El maíz presenta los valores mayores, mientras que la cebada da el menor rendimiento en humus. Los aportes producidos por las raíces y rastrojos representan entre el 37% (maíz) y el 47% (trigo) del total generado. Puesto que en la mayor parte de la superficie cerealística solo se incorporan al suelo las raíces y rastrojos, se pierde más de la mitad del potencial humígeno del total de residuo de cosecha producido.

Los residuos de poda producidos por los principales cultivos leñosos generan entre 1.3 y 3 Tm de materia seca por hectárea, con un valor humígeno potencial de 333 a 750 kg/ha. (Bustillo Núñez, 2005). Tradicionalmente los agricultores han eliminado los residuos procedentes de su actividad mediante el abandono de los mismos en ramblas y baldíos, incineración incontrolada y a discreción y, en el caso de los vegetales, servir de alimento para el ganado.

Consecuencia de esta práctica es el impacto originado por los residuos en el entorno. Dicho impacto lo podemos contemplar con diferentes enfoques, de los cuales se van a exponer, los que a nuestro juicio, merecen la pena ser tratados, por las consecuencias que engendran.

A) La incineración incontrolada, con ser ya una práctica peligrosa, es altamente nociva. Si bien los restos vegetales no son en principio contaminantes en su combustión, si constituyen un foco de propagación de enfermedades, mientras sufren el proceso de deshidratación óptimo para permitir su fácil y pronta incineración. Para hacernos una idea de la magnitud de la contaminación por emisión de CO₂, que a nivel nacional produce la incineración de restos vegetales en el sector agrícola, baste decir que es la equivalente a la que, por consumo de energía para calefacción, se produce en el ámbito urbano (en 1993 fueron aproximadamente 22 000 Tm. de CO₂) en todo el país. (Escobar-Lara, 1998)

B) El abandono indiscriminado en ramblas y baldíos, proporciona dos tipos de riesgos o impactos que se pueden contemplar a dos niveles:

1. Generando focos de propagación de enfermedades y plagas, ayudadas en ocasiones por las frecuentes bri-

sas de la zona y por la propia bonanza climatológica, a los cultivos colindantes. Continuamente se hace referencia en tratados de lucha integrada, a los aspectos culturales, en los que se insiste continuamente que la asepsia debe ser responsabilidad no solo del que la aplica sino del entorno en general; pues los invernaderos no pueden ser considerados como ecosistemas cerrados.

2. Constituyendo grave riesgo en procesos de torrencialidad en la precipitación, típicos de estas zonas mediterráneas, con lluvias torrenciales, objeto de la orografía local, con profusión de ramblas y aliviaderos, cuya función puede verse seriamente impedida si se encuentra dificultada por los residuos allí depositados.

Con un planteamiento tradicional sobre la gestión de residuos, debieran acometerse estudios sobre vertederos controlados, pero esta opción, además de suponer unas enormes inversiones y tiempo de desarrollo, crearía unas enormes dificultades por las cantidades expuestas.

En otros estudios se ha prestado una especial atención a soluciones industriales que minimizaran los vertidos improductivos, y puestos en contacto con empresas especialistas del sector, tanto de ámbito regional como nacional, se detectó una reacción de sorpresa ante la envergadura del problema y una falta de experiencias en casos similares, por otro lado difíciles de encontrar. (Escobar- Lara, 1998).

2.1 Justificación del proyecto

2.1.1 Valor del proyecto desde el punto de vista científico-tecnológico

El presente proyecto se plantea dentro del marco general de las investigaciones que el CTM está llevando a cabo durante los últimos años. En este sentido, se ha de generado un mayor conocimiento con aplicación real para labores de restauración y minimización de los riesgos asociados a los procesos erosivos en zonas mineras abandonadas así como a la reutilización o valorización de residuos y su influencia en el medio, físico y biótico.

Esto supone, desde un punto de vista de investigación básica, un avance importante en el conocimiento de la dinámica, composición de los residuos y de su interacción con las características de los suelos y aguas en las zonas seleccionadas. Además, se proponen soluciones aplicadas que, serán transferidas a los organismos, instituciones o empresas, encargados de velar por la calidad ambiental y sanitaria.

En relación con este último punto, y desde una óptica tecnológica, si se establecen con éxito procedimientos y tecnologías para la minimización de impactos y riesgos sobre el medio que posean una alta eficacia, se ha dado un paso de indudable importancia en la evaluación de riesgos, minimización de impactos y en la mejora de la calidad ambiental en este tipo de áreas de explotación a cielo abierto.

De este modo, el proyecto presenta beneficios desde el punto de vista científico, tecnológico y económico-so-

cial. Científicamente, se incrementa el conocimiento de los suelos de las zonas de estudio: su comportamiento frente a la erosión, riesgos asociados y posibilidades de minimización-restauración con las enmiendas seleccionadas. Desde el punto de vista tecnológico, las bases de datos y la información obtenida con este proyecto serán aplicables de modo directo para minimizar los riesgos inherentes; para ello es fundamental el apoyo que presta el Centro Tecnológico del Mármol. Este centro se creó en el año 1996, y surge como Asociación Empresarial de Investigación, para ofrecer la prestación de los servicios necesarios para la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas del sector del mármol y la piedra a nivel nacional y para mejorar la competitividad en los mercados nacional e internacional, así como aportar formación e información a nivel medioambiental para contribuir a una explotación sostenible de las canteras.

Los beneficios obtenidos con este proyecto, quedan muy claros al encontrar una salida medioambiental para la aplicación de los purines procedentes de explotaciones porcinas y residuos agrícolas procedentes de otras explotaciones; problemas estos de gran trascendencia en la Región de Murcia. La activa participación del Centro Tecnológico del Mármol permite su gestión en las zonas de estudio determinadas, creando una expectativa muy esperanzadora para el sector productivo de estas rocas en cuanto a la búsqueda de soluciones de bajo coste para una eficiente restauración del medio afectado por esta actividad. Igualmente, el sector productor de ganado porcino verá una opción para deshacerse de parte de los purines producidos, cuya acumulación resulta notablemente alarmante debido a que Murcia es una de las Comunidades Autónomas que encabeza la producción animal porcina. De la misma manera el sector agrícola también se vería aliviado con esta nueva opción para el reciclado de los residuos agrícolas.

2.1.2 Descripción del estado de la tecnología en España y en el extranjero

La legislación española (Ley 42/1975) define como residuo "aquellas materias derivadas de actividades de producción y consumo que no han conseguido, en el contexto que se da, ningún valor económico".

En el caso de hablar de residuos orgánicos, serán aquellos cuya procedencia y composición sea fundamentalmente biológica. Según Mustin (1987) el material orgánico seco de los seres vivos está entre un 95% y un 99%, y en su composición hallaremos los llamados bioelementos, siendo en su mayor parte, C, H y O, y en menor medida N, P y S. Así, los residuos procedentes de actividades como la agricultura, ganadería, mataderos, bosques, domésticos, lodos de depuradora o industrias alimenticias pueden ser considerado como productos o residuos orgánicos (Navarro-Pedreno et al., 1994)

Además de los usos agrícolas de los residuos orgánicos, empleados como fertilizantes y enmendantes de determinadas propiedades edáficas en los últimos años, el uso se ha extendido a la reforestación, producción fores-

tal, restauración del paisaje, o a restauración de canteras o áreas degradadas como son las afectadas por incendios forestales. (Úbeda, 2005). Se han realizado estudios de recuperación y regeneración de suelos degradados por diferentes causas, obteniendo óptimos resultados con el empleo de residuos frescos y compostados (Pascual et al., 1997)

En julio de 2006 se celebró en la Universidad de Lisboa el 2º Congreso Ibérico de Ecología, organizado conjuntamente por la Sociedad Portuguesa de Ecología (SPECO) y la Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET). Dentro del marco general de este congreso, se organizó el Simposio "Utilización de residuos orgánicos en restauración", como parte de las actividades previstas por el Grupo de Discusión sobre Restauración Ecológica de la AEET. Allí se dio una visión general del problema que supone la generación creciente de residuos orgánicos, producida en los últimos años en España, y la gran cantidad de éstos que continúan teniendo como destino final el vertedero, lo que implica una pérdida de recursos (materia orgánica y nutrientes) contraria a los esfuerzos de reciclaje y reutilización demandados por la UE. En este evento se hicieron aplicaciones sobre la aplicación de diversos residuos orgánicos para la restauración de zonas forestales quemadas en Galicia (Días Raviña, 2006), o sobre la aplicación de diferentes tipos de lodos de depuradora (fresco, Compostado y secado térmicamente) en terreno forestales degradado para estudiar los cambios en la composición de la vegetación y riqueza florística. (Tarrasón, 2006) Se presentó un trabajo donde se combinaba la adición de un residuo orgánico, con la micorrización de plantas de *Dorycnium pentaphyllum* con endosimbiontes del género *Glomus*. (Caravaca, 2006).

Igualmente se presentó un trabajo de recuperación ambiental de canteras de calizas, integrado en una red de proyectos pilotos similares establecidos en varias zonas con clima mediterráneo (Oliveira, 2006). El proyecto incluye la evaluación de la siembra de mezclas comerciales y autóctonas de especies herbáceas, la siembra y plantación de planta autóctona, riegos de apoyo en verano y la adición de compost de RSU. La mayoría de los trabajos presentados mostraron efectos a corto plazo producidos por la adición de residuos orgánicos en zonas degradadas. En general, mejoraron las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, favoreciendo un mayor recubrimiento vegetal y/o mayores tasas de crecimiento de la vegetación introducida. Sin embargo, hay otros aspectos destacables a tener en cuenta a medio o largo plazo como son los efectos indirectos de este aumento de biomasa o cobertura del arbolado sobre la diversidad de otros componentes del ecosistema (estrato herbáceo, fauna edáfica, etc.), el aumento de la competencia intraespecífica de las plantas introducidas en zonas enmendadas o los posibles efectos sobre la movilidad de los metales pesados a medio plazo y su distribución en las distintas fracciones mineralógicas del suelo.

Durante la discusión, se insistió en la escasa repercusión que tienen, en la gestión cotidiana de zonas degra-

das, las numerosas investigaciones relacionadas con el uso de residuos orgánicos en restauración. Se apuntó como posibles causas la baja interacción que todavía existe entre investigadores y gestores, y el descenso generalizado en el número de actuaciones de restauración y reforestación producido en los últimos años, a lo que se añaden las reticencias que provoca el incremento de coste de estas técnicas.

En España destacan centros como el IMIDRA, Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario, donde se investiga prioritariamente en la aplicación de residuos a los suelos degradados. Los proyectos que están, tratan sobre la recuperación del suelo en gravera con lodos residuales procedentes de la industria extractiva, y lodos de depuradora. El CSIC, Centro Superior de Investigaciones Científicas, lleva a cabo proyectos como compostaje de residuos orgánicos con fines agrícolas, sí el IRNAS, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, entre otras investigaciones incluye el estudio del uso de materiales inorgánicos y orgánicos, naturales y sintéticos y residuos orgánicos tratados para disminuir la contaminación de suelos y aguas por agentes nocivos para estos recursos naturales, así como su uso y el de plantas y bacterias para recuperarlos.

La mayoría de los trabajos desarrollaron a este respecto muestran efectos a corto plazo producidos por la adición de residuos orgánicos en zonas degradadas. En general, mejoran las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, favoreciendo un mayor recubrimiento vegetal y/o mayores tasas de crecimiento de la vegetación introducida. Las cuestiones generales que se trataron durante la discusión posterior fueron, entre otras, la escasa repercusión que tienen en la gestión cotidiana de zonas degradadas las numerosas investigaciones relacionadas con el uso de residuos orgánicos en restauración. Se apuntó como posibles causas la baja interacción que todavía existe entre investigadores y gestores, y el descenso generalizado en el número de actuaciones de restauración y reforestación producido en los últimos años, a lo que se añaden las reticencias que provoca el incremento de coste de estas técnicas.

Con respecto a la restauración de canteras, existen varios estudios, e investigaciones llevadas a cabo, pero hasta ahora son escasas las que han utilizado purines y residuos agrícolas como enmendantes. A nivel nacional se han realizado varios ensayos en campo con lodos de depuradora, para intentar establecer indicadores para la calidad de la restauración en actividades extractivas a cielo abierto. (Ortiz- Perpiñá y Alcañiz- Baldellou, 2001).

En general, a nivel internacional, también se han llevado estudios en otros países como Francia, sobre la volatilización del amoníaco después de la aplicación de purines y residuos de ganado (Moal, et al., 1995) En Brasil, también se llevaron a cabo estudios para la revegetación de las minas de hierro en el estado de Minas Gerais, Brasil, utilizando restos vegetales procedentes de la poda de jardines residenciales o del corte de céspedes (Toy y Griffith, 2001). En Africa también se han llevado estudios

en esta línea como Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in Africa: a contribution from Francophone research, (Roose-Barthes, 2001). También en Bogotá, se realizó un curso internacional de restauración ecológica de canteras y uso de biosólidos en el año 2003 (Correa Arroyave, 2003)

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Con el motivo de dar a conocer el desarrollo y evolución de los trabajos llevados a cabo durante el periodo de ejecución del presente proyecto se presenta este informe para que sus destinatarios (Fundación MAPFRE) puedan evaluar, conforme a lo establecido en las bases de la convocatoria, su desarrollo y dar conformidad a lo que se ha realizado.

El proyecto presentado se plantea dentro del marco de la investigación que el equipo del centro está llevando a cabo de acuerdo con los principios de restauración y minimización de los riegos asociados a los procesos erosivos en zonas mineras abandonadas, así como a la reutilización o valoración de residuos y su influencia en el medio físico y biótico, lo cual supone, en el campo de la investigación, un importante avance para el conocimiento de la dinámica e interacción entre los agentes enmendantes (purines y residuos agrícolas) y el suelo, agua y vegetación, así como una mejora considerable en la calidad y salud ambiental que este tipo de industrias de explotación a cielo abierto ha producido, las cuales han supuesto un elemento mermante de la calidad del medio a lo largo de su evolución en la Región de Murcia, y por ello, con este proyecto se intenta abrir una nueva vía de acceso hacia la implantación de medidas correctoras que intenten corregir el daño producido.

El objetivo general del proyecto es la elaboración de una metodología para la mejora edáfica en restauración de canteras de caliza y mármoles de la Región de Murcia, así como la revalorización y aprovechamiento de residuos agrarios como enmendantes para aumentar la fertilidad física, química y biológica del suelo.

Como objetivos parciales se presentan los siguientes:

1. Estudio de los distintos tipos de roca ornamental en la Región de Murcia, la morfología resultante después de la extracción de la misma y los factores que influyen en la degradación del medio. Revisión histórica de usos de suelos de la zona. Con todo ello, se seleccionarán las áreas más adecuadas y representativas para la ejecución del proyecto, mediante la caracterización de los parámetros físico-químicos tanto del suelo como de los residuos orgánicos, mineralógicos, los del medio físico y biótico y las características del medio socioeconómico.
2. Aplicación de los agentes enmendadores en parcelas piloto de campo para aumentar la fertilidad de los suelos. Se estudiarán:
 - Cambios en parámetros físico-químicos y mineralógicos de los suelos.

- Efectividad de la enmienda en el aumento de la fertilidad del suelo.
- Establecimiento de una cobertura vegetal con planta autóctona para estabilizar los suelos, aumentar la biodiversidad y así disminuir los procesos erosivos.

3. Análisis integral de los resultados obtenidos para establecimiento de las líneas de actuación. Transferencia de los resultados a los interesados, tanto empresas como la administración.

4. METODOLOGÍA

Este proyecto, esta previsto, se ejecute en una serie de fases ya establecidas que se han llevado a cabo de la manera prevista, fases generales:

1. Planificación.
2. Revisión de información y diseño de experimentos.
3. Análisis de laboratorio.
4. Ejecución de los trabajos y adicción de las enmiendas a las parcelas

4.1 Planificación

Planificación del calendario de trabajo y de la gestión del proyecto en su totalidad. Se mantuvieron reuniones iniciales por el personal del equipo investigador en su totalidad con fechas 5 de febrero y 9 de febrero de 2009.

En esta reunión se elaboró un cronograma de actuaciones a llevar a cabo para la realización del proyecto concretando cada etapa en función de la zona de estudio.

ACTIVIDAD / MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Planificación y selección de la zona												
2. Recopilación de información												
3. Diseño de las parcelas												
4. Análisis de laboratorio												
5. Análisis de los resultados												
6. Informe técnico												

Tabla 1. Cronograma.

Desde el punto de vista de representatividad de los datos obtenidos y su repercusión en el sector de la roca ornamental se han barajado varias zonas para la ejecución del estudio, siendo al final elegida una zona de labores antiguas en el paraje de la Peñarrubia en el término municipal de Cehegín que ha sido rellenada quedando una parcela de 2500 m² para realizar la instalación de las parcelas experimentales. Situación en la fig.1.

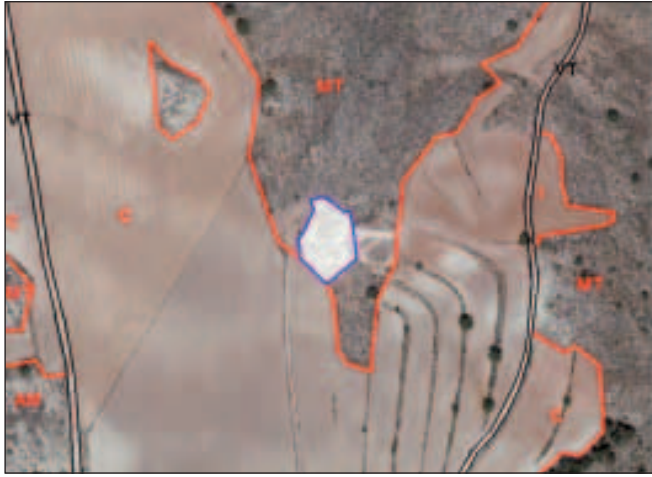


Figura 2. Usos del suelo.

4.2.4 Geología de la zona

En este apartado se ha realizado una recopilación y comprobación de la geología presente en la zona para el conocimiento del sustrato y entorno geológico donde se asienta la zona de estudio.

Geología regional

Los materiales estudiados en el presente informe pertenecen a las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. Estas constituían durante el mesozoico la cobertera sedimentaria del margen continental meridional de la placa Ibérica, distinguiéndose dos grandes dominios: La Zona Prebética y la Zona Subbética. Estas zonas se subdividen en Prebético Interno y Prebético Externo la primera, Subbético Interno, Subbético Medio y Subbético Externo la segunda.

Los materiales del Subbético afloran en la parte más septentrional de las Cordilleras Béticas en una banda alargada de dirección WSW-ENE y con una anchura de 80-100 km. Estos materiales constituyen la cobertera sedimentaria del margen sudibérico, plegada y despegada de su zócalo. Los materiales que son utilizados para el despegue son los pertenecientes al Triás de manera que la cobertera está formada por materiales triásicos, jurásicos, cretácicos y terciarios.

El Subbético es la unidad más alejada del continente durante el depósito y se caracteriza por el dominio de las facies pelágicas a partir del Lías superior. A continuación se realiza una breve descripción de los materiales dominantes en los tres dominios en los que se divide el Subbético.

Subbético Externo: Se caracteriza por tener una serie jurásica predominantemente calcárea con un Malm constituido por calizas nodulosas con facies tipo ammonítico rosso, fácilmente atribuible al depósito en un umbral de la cuenca sedimentaria. El Lías infradomerense es calizodolomítico y el Domerense y Toarcense son margosos y de poco espesor. El Dogger ya presenta bastantes diferencias según la zona, por lo que da pie a una diferenciación más exhaustiva que ahora no nos vamos a ocupar. En general se compone de calizas oolíticas muy potentes,

facies ammonítico rosso, calizas micríticas y margas. El Malm está formado por calizas nodulosas rojas o grises con abundante fauna de ammonites. Estas facies tienen una baja velocidad de sedimentación en umbrales dentro de la cuenca sedimentaria.

Subbético Medio: Se caracteriza por presentar numerosos e importantes episodios margosos y de calizas micríticas en su serie jurásico-cretácica y por la presencia de rocas volcánicas básicas que se intercalan en los materiales jurásicos. El depósito de estos materiales sucedió en un surco alargado. El Lías infradomerense presenta facies de calizas depositadas en un medio de plataforma marina somera, siendo el resto del Lías margoso de tipo pelágico. El Dogger y el Malm son también de carácter pelágico con margas, radiolaritas, calizas micríticas con sílex y turbiditas calcáreas.

Subbético Interno: Comprende un conjunto de unidades todas ellas totalmente calcáreas, caracterizándose por tener una serie jurásica completamente caliza con una laguna estratigráfica que comprende el Lías superior y, localmente el Dogger. El Malm presenta facies de calizas nodulosas muy fosilíferas, en las que se intercalan, potentes niveles calizos en algunas zonas. El Dogger, cuando aparece presenta facies de calizas nodulosas o de calizas oolíticas.

El Cretácico inferior son facies de margas y margocalizas depositadas en un medio pelágico. El superior es marino pelágico con niveles locales de olistostromas, turbiditas y dominio de margocalizas con gran abundancia de foraminíferos planctónicos.

El Paleógeno aparece solo en grandes afloramientos sin continuidad cartográfica caracterizándose por facies margosas pelágicas, calizas y calizas detríticas.

Geología local

La zona estudiada se encuentra al SO de Cehegín en la hoja Nº 911 (Cehegín), del mapa geológico nacional, escala 1:50.000 del plan M.A.G.N.A. en el término municipal de Cehegín en el paraje de "Peñarrubia".

Los materiales que podemos encontrar en esta zona pertenecen a la unidad de la Loma de Solana. La zona de estudio se sitúa en el borde SE del sinclinal de la Loma de Solana.

La serie comienza por una sucesión de calizas grises con una potencia de los estratos que oscila entre 0,5 y 2 m con una potencia global de todo el conjunto de unos 40 metros con presencia de abundante fracturación, pertenecientes a la formación Zegrí (Toarciense-Domeriense). El muro de estos materiales no se puede observar ya que no aflora en la zona estudiada, a techo podemos encontrar estratos de calizas grises y rojas intercalándose entre ellos algunas margas rojas con gran abundancia de fauna de amontes, belemnites y foraminíferos. Esta capa se está explotando actualmente para la extracción de árido para terrazo. A techo de esta formación podemos encontrar calizas y calizas con sílex de la formación Veleta con una potencia no superior a 10 m.

Según la descripción geológica, la cantera se encuentra enclavada en el afloramiento de los materiales de la Formación Zegrí, Formación Veleta y Formación Ammonítico Rosso Superior.

Por tanto, se trata de una explotación, conjunta para la extracción de roca ornamental y de áridos, a cielo abierto en ladera sobre terrenos en pendiente. Dicha explotación de superficie está constituida por excavaciones tridimensionales por banqueo.

Los sobrantes de los frentes C y D se aprovecharán para el relleno de los huecos de explotación A y B.

El yacimiento se presenta aflorando en superficie. Esto permite que la explotación se realice a cielo abierto, estando constituida por una excavación tridimensional por banqueo, con un conjunto de rampas que conecten entre sí los diferentes niveles de extracción de la cantera aunque en nuestro frente estuvo poco desarrollada.

Las características del terreno donde se encuentra el yacimiento son de tipo montañoso, por lo que la cantera se inició a media ladera sobre terrenos en pendiente con los frentes de explotación según avance la topografía del terreno.

El banqueo se desarrolla desde las cotas más altas mediante profundización vertical y avance horizontal de los bancos y plaza inferior, de acuerdo con la intersección con la ladera natural del terreno.

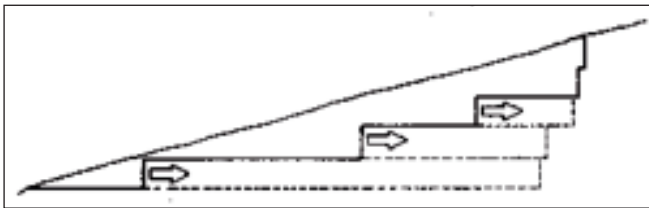


Figura 6. Perfil de la explotación a media ladera y con banqueo descendente.

Las dimensiones aproximadas del hueco final de la cantera objeto de estudio han sido:

Dimensiones	Nº de bancos	Altura de banco	Anchura de berma	Altura total	Longitud total
Frente A	1	8,2 m	--	8,2 m	105 m

Tabla 2. Caracterización topográfica de la zona de estudio.

4.2.7 Método de explotación

Se entiende por método minero la secuencia temporal y espacial con que se lleva a cabo la extracción y la división de los volúmenes de roca de interés y estériles asociados, según un orden jerárquico funcional que depende fundamentalmente de las características del yacimiento y del terreno original.

La elección del método de explotación y de la tecnología de arranque dependen fundamentalmente de las características particulares del yacimiento (masivo) y del terreno (montañoso) comentadas anteriormente, de las técnicas de extracción empleadas (arranque mecánico) y de la geometría del hueco (tridimensional) y de la secuencia de arranque (perforación y voladura) y corte adopta-

das (discontinua: independizada, vuelco, subdivisión, manipulación y escuadrado).

El método de explotación aplicado es el de banqueo por bancos altos, con alturas medias de 8 m. Generalmente, el sentido de avance en la extracción es de arriba hacia abajo, dependiendo de la morfología del yacimiento y relieve del terreno en cada punto. En algunos casos, el avance se realiza de forma lateral, aumentando el número de bancos conforme la topografía del terreno se eleva.

En éste método de explotación por banqueo el yacimiento se subdivide espacialmente en rebanadas horizontales, según superficies paralelas y equidistantes. Manteniendo unas plazas de dimensiones adecuadas entre los distintos niveles hace posible tener varios bancos horizontales en explotación. En nuestro frente de estudio la explotación solo llegó a tener un frente de base y se paró cuando iba a comenzar el banqueo interior.

Mediante perforación y voladura, se extrae un todo-uno fragmentado apto para alimentar a la planta de trituración, molienda y clasificación de la propia empresa, obteniendo productos en forma de árido que sirve de materia prima destinada a la construcción, fabricación de cementos, mampostería para terrazos, etc.

Operaciones básicas y clasificación de equipos. El ciclo de explotación minera está constituido por una serie de operaciones elementales que se efectúan de manera secuencial. En este caso se aplican dos ciclos diferentes: Uno que comporta las operaciones de arranque, carga y transporte externo de áridos; y otro que consiste esencialmente en el corte, subdivisión y manipulación de los bloques, cada vez más reducidos conforme más avanzada sea la etapa del ciclo.

Por una parte, en los frentes de extracción de roca ornamental el ciclo comienza con la independización de un gran bloque primario del macizo rocoso, con forma paralelepípedica y dimensiones tales (altura y longitud de 8 m a 12 m y espesor de 3 m) que faciliten la labor de los equipos de corte y carga disponibles.

Este gran bloque se somete a una subdivisión en etapas sucesivas hasta alcanzar unos tamaños fácilmente manipulables, y al mismo tiempo dentro de la gama que comercialmente requiere la industria de transformación.

En la tabla 3 se indica el orden en el que se llevan a cabo las diferentes operaciones, así como las técnicas o sistemas empleados actualmente.

Las operaciones citadas anteriormente se desarrollan de manera secuencial en los diferentes tajos o niveles de extracción de roca ornamental de la cantera.

Por otra parte, en los frentes de extracción de áridos el ciclo es bien diferente. Se inicia con la perforación de una fila de barrenos verticales, que posteriormente se cargan con explosivos y mediante voladura se produce el arranque y fragmentación del macizo rocoso en dimensiones adecuadas para los equipos de carga y transporte.

Las fases que comprende la extracción de áridos son básicamente las de arranque y carga, ya que el transporte es externo a la explotación y no se produce vertido de estériles a escombrera.

Nº de operación	Operación	Sistemas
1	Corte en el macizo rocoso (independización)	Rozadora de brazo Hilo diamantado
2	Vuelco bloque primario (abatimiento)	Pala cargadora Empujadores hidráulicos
3	Corte en la plaza cantera (subdivisión)	Hilo diamantado Perforación y cuñas
4	Manipulación de bloques (carga y transporte)	Pala cargadora Camión externo
5	Escuadrado de bloques (acabado)	Hilo diamantado Perforación y cuñas

Tabla 3. Sistema de explotación.

El arranque consiste en fragmentar los materiales a un tamaño adecuado para su posterior manipulación por los equipos de las siguientes fases. La fragmentación de la roca se efectúa de forma indirecta por medio de la energía liberada por los explosivos colocados en el interior del macizo rocoso dentro de barrenos perforados previamente.

La carga consiste en la recogida del material ya fragmentado para depositarlo seguidamente sobre otro equipo o instalación adyacente.

El transporte se basa en la extracción o desplazamiento del mineral hasta la planta de tratamiento y de los estériles hasta vertederos. Esta operación al igual que el vertido no se realiza en la cantera siendo el transporte únicamente externo a la explotación.

En la siguiente tabla se indica el orden en el que se llevan a cabo las diferentes operaciones, así como las técnicas o sistemas empleados actualmente.

Nº de operación	Operación	Sistemas
1	Arranque macizo rocoso (independización)	Perforación Voladura
2	Carga de áridos (carga y transporte)	Pala cargadora Camión externo

Tabla 4. Orden de operaciones.

Las operaciones citadas anteriormente se desarrollan de manera secuencial en los diferentes tajos o niveles de extracción de áridos de la cantera.

Por tanto, las fases que engloba el ciclo minero en la cantera se encuentran totalmente individualizadas, ya que, son realizadas por distintos equipos. Se trata, pues, de un sistema totalmente discontinuo.

Como se ha señalado anteriormente, la infraestructura industrial en la zona de la cantera es prácticamente nula.

La explotación dispone de dos accesos principales consistentes en dos caminos o pistas de firme irregular que daban servicio al frente.

El suministro de agua para el funcionamiento de la explotación se realizaba mediante un camión cisterna.

El suministro eléctrico para las labores desarrolladas en los frentes de cantera se realizaba mediante un grupo electrógeno móvil.

El suministro de aire comprimido se llevaba a cabo mediante un compresor de tornillo transportable, con accionamiento por motor diesel, que se iba colocando en el punto más adecuado según fuera el avance de los frentes de trabajo.

4.2.8 Superficie afectada

La superficie, afectada se observa en la tabla siguiente:

Frente	Superficie afectada (ha)	Superficie a afectar (ha)	Superficie total (ha)
A	0,2947	--	0,2947

Tabla 5. Superficie afectada.

4.2.9 Preparación del terreno a experimentar

Tras la selección de la zona más representativa, se procedió a la construcción de las parcelas y la posterior aplicación de las medidas previstas en ellas para la recuperación del suelo:

- Retirada de escombros.
- Explanación del terreno.
- Aporte de tierra vegetal.
- Construcción de las parcelas.
- Aplicación de enmienda.
- Seguimiento del terreno.

Siguiendo el plan previsto pasamos a describir el estado de las labores realizadas en el tratamiento del terreno donde se realiza el estudio.

El estado de la parcela cuando se empezó el proyecto era un frente de cantera relleno de estériles, de manera muy heterogénea y con una superficie del terreno muy irregular con presencia de badlands, creados por la lluvia.



Figura 7. Estado inicial.

La primera tarea fue la retirada de todos los materiales que no eran susceptibles de ser utilizados en el acondicionamiento y posterior nivelación de la parcela. Realizándose su retirada a un vertedero autorizado con medios mecánicos.

Antes de realizar el acopio de tierra vegetal encima del relleno se ha realizado una modelización de la superficie para adaptarla en lo máximo posible a la topografía anterior y en su defecto minimizar en gran medida cualquier diferencia sustancial con el terreno circundante. En esta fase se han tapado los badlands y se han canalizado las aguas hacia ambos lados de la zona de estudio evitando así el discurrir del agua de un lado a otro por lo que se favorecía el arrastre del material. También se ha ataluzado la parte baja del frente.

Para disminuir la afección de las aguas superficiales se ha actuado de manera horizontal, nunca a favor de la pendiente para no favorecer la erosión de la cobertera donde se pretende crear suelo.



Figura 8. Terreno adaptado y vertido de tierra vegetal.

Se ha realizado el aporte de tierra vegetal en toda la parcela con un espesor de 20 cm aproximadamente proveniente de desmontes realizados en las terrazas aluviales de la zona de Cehegín que eran antiguas zonas de cultivo de frutales. Se han vertido en la zona 380 m3 de tierra vegetal para cubrirla.



Figura 9. Terreno adaptado y vertido de tierra vegetal.



Figura 10. Vista general de toda la parcela de estudio con el terreno adaptado y vertido de tierra vegetal completado.

Una vez concluida la fase de recubrimiento de tierra vegetal de nuestra zona de estudio se han colocado las distintas parcelas experimentales. Se harán parcelas con enmiendas de: purines, residuos de poda y residuos agrícolas, residuos de depuradoras y en blanco sola para control, y con abono orgánico llegando a un total de cuatro tratamientos con 11 repeticiones por lo que haría un total de 63 parcelas de 5*4 metros.



Figura 11. Replanteo de parcelas experimentales.

PARCELAS

1	14	27	40	53
2	15	28	41	54
3	16	29	42	55
4	17	30	43	56
5	18	31	44	57
6	19	32	45	58
7	20	33	46	59
8	21	34	47	60
9	22	35	48	61
10	23	36	49	62
11	24	37	50	63
12	25	38	51	
13	26	39	52	

Figura 12. Parcelas.

Se ha realizado la distribución de las parcelas dejando un pasillo entre cada una de 1 metro y un pasillo más ancho en el centro de la parcela para servicio de control y labores de toma de datos. Esta delimitación se ha realizado mediante el estaqueado con estacas de madera y la utilización del GPS centimétrico. Estas parcelas se delimitan cada una mediante cuerda.

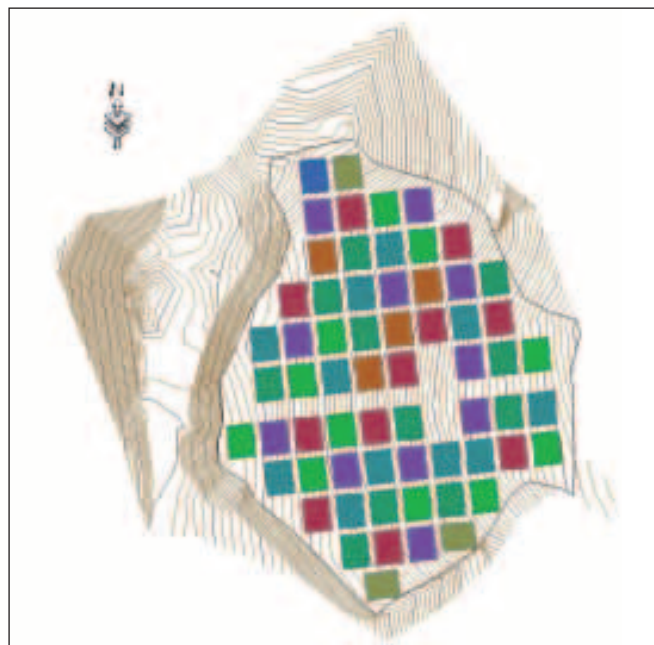


Figura 13. Replanteo de parcelas experimentales y su tratamiento.



Figura 14. Tratamientos por parcelas.



Figura 15. Delimitación de las parcelas sobre el terreno mediante estaqueado de madera y utilización de GPS.



Figura 16. Delimitación de las parcelas con una cuerda.

4.3 Análisis del laboratorio

4.3.1 Análisis muestras

Se ha realizado un análisis químico del sustrato geológico existente en la zona y ya descrito en la parte anterior y su interacción con los procesos a llevar a cabo en la parcela de estudio.

Se ha realizado el análisis de la roca existente en la zona en una primera fase y posteriormente se realizaran los análisis de la cobertera, de las semillas presentes en la tierra y de las enmiendas.

Ensayo	Resultado
Clasificación petrográfica (prEN 12407)	Biomicrota de tintinidos

Análisis químico por fluorescencia de rayos-X:

SiO ₂	1,50	%	MgO	1,20	%	Fe ₂ O ₃	0,39	%	P ₂ O ₅	0,08	%
Al ₂ O ₃	0,80	%	Na ₂ O	< 0,05	%	TiO ₂	< 0,05	%	P.P.C.	42,50	%
CaO	53,10	%	K ₂ O	0,28	%	MnO	< 0,05	%			



Figura 17. Muestras para su análisis.

Completando esta fase se han recopilado muestras para hacer distintos ensayos de laboratorio en el relleno y tierra vegetal aportada. Se han realizado cinco análisis completos del terreno con tres repeticiones, realizados por

el Departamento de Edafología de la Universidad Politécnica de Cartagena, donde se han obtenido los parámetros físico-químicos de las muestras analizadas, reflejados en las tablas 6, 7 y 8.

Muestra	Humedad (%)	pH real	pH potencial	CE (μcm)	CaCO ₃ (%)	CIC (cmol+/kg)	arcilla (%)	limo (%)	arena (%)	Clase textural
AS1-1	5.5	8.54	7.73	389	71	6.32	32	20	48	franco arcillo arenoso
AS1-2	4.6	8.69	7.74	258	70	8.07	32	20	48	franco arenoso arcilloso
AS1-3	4.0	8.57	7.7	318	76	7.90	31	21	48	franco arcillo arenoso
AS2-1	6.1	8.78	7.76	177	85	8.91	30	20	50	franco arcillo arenoso
AS2-2	4.8	8.87	7.71	151	84	9.95	30	20	50	franco arcillo arenoso
AS2-3	6.4	8.85	7.75	198	82	10.39	30	20	50	franco arcillo arenoso
AS3-1	6.0	8.84	7.7	156	83	4.87	31	21	48	franco arcillo arenoso
AS3-2	4.5	8.9	7.86	131	89	3.15	30	22	48	franco arcillo arenoso
AS3-3	3.4	8.85	7.69	139	82	4.80	30	20	50	franco arcillo arenoso
AS4-1	7.2	8.83	7.69	137	83	8.08	32	20	48	franco arcillo arenoso
AS4-2	6.0	8.84	7.71	125	80	8.55	32	20	48	franco arcillo arenoso
AS4-3	5.0	8.8	7.69	131	82	9.74	32	20	48	franco arcillo arenoso
AS5L-1	15.2	9.02	8.75	226	99	0.40	30	30	40	franco arcilloso
AS5L-2	15.5	9.09	8.72	221	99	0.38	31	29	40	franco arcilloso
AS5L-3	16.2	9.18	9.03	190	99	0.13	30	30	40	franco arcilloso

CE: Conductividad Eléctrica; CIC: Capacidad de intercambio catiónico

Tabla 6. Caracterización físico-química de las muestras (I).

Muestra	CO	Nt	C/N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn
	g/kg	g/kg		mg/kg	meq/100g	meq/100)	meq/100	meq/100g	mg/kg	mg/kg	mg/kg
AS1-1	7.52	0.83	9.01	10.43	36	6.20	0.59	8.49	40.23	11.42	2.29
AS1-2	7.78	0.86	9.05	6.97	38	6.10	0.63	8.42	38.54	10.51	2.44
AS1-3	6.32	0.79	7.96	4.98	37	5.99	0.58	7.00	44.97	11.64	2.62
AS2-1	3.95	0.56	7.04	12.08	34	5.16	0.60	9.43	37.54	11.56	4.44
AS2-2	2.08	0.42	5.01	10.86	39	5.41	0.60	8.56	38.12	11.38	3.51
AS2-3	2.89	0.56	5.18	11.82	37	5.30	0.56	8.55	31.45	10.43	3.26
AS3-1	4.71	0.66	7.08	9.55	40	5.26	0.52	6.48	41.37	11.34	2.64
AS3-2	3.71	0.56	6.66	8.82	36	5.15	0.46	5.59	31.10	10.06	2.38
AS3-3	5.65	0.72	7.84	9.60	34	1.84	0.50	3.52	42.70	12.01	2.76
AS4-1	7.00	0.93	7.55	11.42	42	5.82	0.62	7.37	34.01	14.58	3.59
AS4-2	5.46	0.76	7.14	12.03	38	5.50	0.61	6.05	33.68	14.49	4.24
AS4-3	7.62	0.91	8.37	13.89	38	5.49	0.50	6.00	31.88	15.27	4.67
AS5L-1	n.d.	0.11	-	5.90	22	5.09	0.32	9.07	26.75	6.67	7.86
AS5L-2	n.d.	0.11	-	5.96	26	4.81	0.33	8.79	23.32	6.19	6.75
AS5L-3	n.d.	0.01	-	3.37	14	4.58	0.33	7.68	24.22	5.99	2.05

CO: Carbono orgánico; Nt: Nitrógeno total; n.d.: no detectado

Tabla 7. Caracterización físico-química de las muestras (II).

Especie	Tiempo umbral (días)	Germinación (%)
Brachypodium retusum	6	63
Cistus clusii	8	23
Coronilla juncea	7	53
Coronilla lotooides	6	50
Dorycnium hirsutum	3	19
Dorycnium pentaphyllum	3	31
Lolium rigidum	2	89
Medicago truncatula	1	97
Pinus halepensis	8	76
Pistacia lentiscus	8	35
Plantago albicans	6	38
Retama sphaerocarpa	6	47
Rhamnus lycioides	8	37
Rosmarinus officinalis	8	56
Santolina chamaecyparissus	2	98
Stipa tenacissima	7	51

Tabla 8. Porcentaje de germinación y tiempo umbral.

4.4 Estación microclimática

Paralelamente a todos estos procesos se ha instalado en la zona una estación de recogida de datos climáticos para un control de los parámetros de humedad, precipitación, humedad del suelo y temperatura para una mejor caracterización in situ de estos parámetros y que a la hora de sacar conclusiones sean los más reales posible.

Las características son:

- Estación Meteorológica HOBO U30-NRC con Alarm Output Relay HOBO U30 vía USB con 5 canales para sensores inteligentes y Modulo Analógico de 2 canales. Con 500.000
- Lecturas de memoria. Incluye caja intemperie con accesorios para mástil y batería recargable de 4,5 Ahr.
- Panel Solar 3 Watts para Estaciones HOBO U30
- Sensores Inteligentes para HOBO H21 y U30 Sensor Temperatura/H. Relativa 0-100% con cable de 8 m. Precisión ± 0.2 °C, 2.5 %RH
- Protector contra lluvia y radiación solar para S-THB-M00X. Incluye accesorios para mástil.
- Pluviómetro Normalizado de 200 cm² de superficie de recogida con balancín y salida de pulsos para HOBO Event. Requiere Adaptador S.UCD-M006 para uso con U30-GSM.
- Bandeja y material de anclaje para colocación del Pluviómetro 7852M sobre mástil - Opcional
- Adaptador de entrada de "pulsos por cierre de contacto"
- Pulsos por cierre de contacto tal como pluviómetros o relés reed.
- Frecuencia máxima de entrada 2 Hz (2 pulsos por segundo).
- Sensor 10 cm para Humedad del Suelo con salidas 4-20 mA y cable de 3m. Se conecta al Módulo Analógico H22-001.
- Software para la familia HOBO serie "USB"
- HOBOWare™ Pro Software para Windows® y Macintosh (para familia "USB"). Incluye Permite descargar

datos del registrador sin parar el registro de datos e iniciar las medidas con un botón.

- Funciones de Escalas Lineales para unidades de ingeniería del usuario con entradas 0-2.5V ó 4-20mA
- Trípode de montaje con soporte basculante. Altura 2,5 m. Se están recogiendo datos desde hace varios meses.

Los valores de temperatura y humedad relativa junto con los de lluvia, se están recogiendo con un intervalo de cinco minutos por lo que cada dos meses se van a recoger los datos mediante la descarga a un ordenador portátil.



Figura 18. Pluviómetro y sonda de Tª y Humedad relativa.

Los valores de humedad del suelo, se están recogiendo con un intervalo de cinco minutos y batería recargable mediante placa solar por lo que cada cuatro meses se van a recoger los datos mediante la descarga a un ordenador portátil.



Figura 19. Sonda de humedad del suelo.



Figura 20. Dataloger y placa solar.

El programa de tratamiento de datos climáticos nos permite una gran versatilidad de tratamiento de datos.

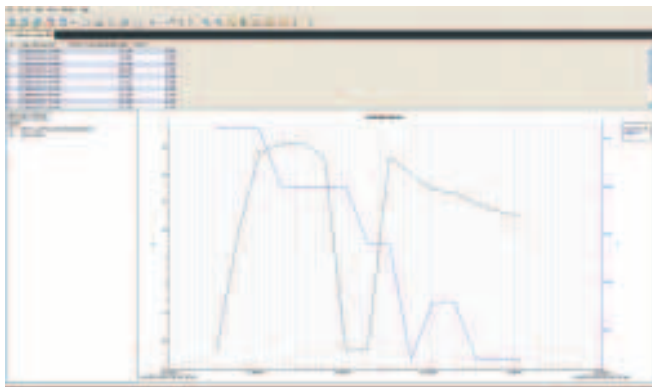


Figura 21. Programa HOB0.

4.5 Estudio de la vegetación de la zona

La Región Mediterránea, en la cual se encuentra Murcia, se caracteriza por la presencia de un periodo más o menos largo de sequía estival, lo cual condiciona en gran medida su flora y vegetación.

La denominada región fitogeografía en la que se delimitan los territorios para su caracterización con mayor o menor entidad, nuestra zona de estudio se encuentra dentro de la Castellano-Maestrazgo-Manchega, con clima continental y sustratos ricos en bases. Concretamente la Sierra de la Peña Rubia se encuentra en la solana dentro

del subsector Manchego-Espunense, mientras que la umbría y hacia el Norte se encuentran más afinidades con el Manchego-Murciano.

A continuación se hace una relación de las especies autóctonas presentes en la zona de estudio y que deben de tenerse en cuenta a la hora de hacer una posterior revegetación.

4.5.1 Breve reseña de la vegetación de Cehegín

La superficie forestal representa más del 50% del término municipal de Cehegín. Diversas sierras como La Lavia, Burete, Quípar, La Muela, Los Cabezos de los Villares y Juan González y Peña Rubia constituyen una reserva natural de gran valor ecológico, paisajístico y cultural.

Las poblaciones de rapaces son muy importantes en este conjunto de sierras, especialmente en Burete y La Lavia donde se alcanzan riquezas específicas de las más altas de la región, siendo el área con mayor número de parejas de Águila Calzada. Destacan especies como Búho Real, Búho Chico, Azor, Gavilán, Halcón Peregrino, Cernícalo Vulgar, Alcotán, Ratónero Común, Águila Real, Águila Calzada y Águila Culebrera.

Una gran parte de la vegetación forestal está constituida por pinares con distinto grado de cobertura y origen (natural y repoblación). Los matorrales también están bien representados, abundando los Romerales y Espartizales, con otras especies como Coscoja, Enebro, Albaida, Torvisco, Tomillo, Siempreviva, Jara, Sabina, Aliaga, Rabo de Gato, Espino Negro, Lentisco, etc., y localmente Madroño, muchas de ellas protegidas por la legislación autonómica.

Un carácter destacable es el hecho de constituir el área donde tiene su límite de distribución natural el carrascal debido a la escasez de precipitaciones (350-400 mm.), y por tanto, de interés científico para los estudios autoecológicos de esta especie.

También es importante reseñar una buena representación de mamíferos terrestres como Tejón, Gato Montés, Gineta, Turón, Garduña, y especies cinegéticas de caza menor como Perdiz, Liebre, Conejo, Tórtola, Codorniz y Jabalí.

Son especialmente interesantes los parajes de La Póllera, Barranco del Canalón, Coto Real y Cuchillos de la Lavia.

4.5.2 Peñarrubia

Tras un inventario florístico de la Zona de la cantera de la Peñarrubia se observó que las especies dominantes fueron:

- Brachypodium retusum* (pers.) Beauv.
- Cistus clusii* Danul
- Fumana ericoides* (Cav.) Gand.
- Genista scorpius* (L.) DC. In Lam. et DC.
- Helictotrichon filifolium* (Lag.) Henrard var. *filifolium*
- Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus*
- Juniperus phoenicea* L. subsp. *phoenicea*
- Koeleria vallesiana* (Honckeny) Gaudin
- Pinus halepensis* Miller

Rhamnus lycioides L.
Rosmarinus officinalis L.
Satureja obovata Lag. Subsp. *canescens* (Rouy) Rivas
 Martínez
Stipa tenacissima L.
Teucrium capitatum L. subsp. *gracillium* (Rouy) Valdés
 Bermejo

Thymus vulgaris L.
 En el entorno de la cantera de la Peñarrubia se encontraron, de las presentes, las siguientes especies protegidas:

Ephedra fragilis
Olea europaea subsp. *Sylvestris*
Juniperus phoenicea
Juniperus oxycedrus
Pistacia lentiscos
Quercus coccifera
Quercus ilex subsp. *Ballota*
Rhamnus lycioides

Todas ellas son abundantes en la Región de Murcia y el Sureste de España, no estando amenazadas o en peligro de extinción ni en el ámbito local, regional, europeo y tampoco internacional.

Tras un inventario florístico de la zona a restaurar y sus alrededores se ha inventariado las siguientes especies:

Juniperus oxycedrus L. subsp. *oxycedrus*
Rosmarinus officinalis L.
Stipa tenacissima L.
Thymus vulgaris L.
Pinus halepensis Miller
Olea europaea var. *sylvestris*
 Vegetación actual

Las unidades de vegetación actual detectadas han sido: Pinar, Matorral alto, Romeral, Espartizal, Tomillar, Vegetación rupícola, Suelo desnudo, Cultivos.

En una primera selección se han escogido las siguientes especies:

Especie
<i>Ephedra fragilis</i>
<i>Juniperus oxycedrus</i> subsp. <i>oxycedrus</i>
<i>Pistacia lentiscus</i>
<i>Quercus coccifera</i>
<i>Retama sphaerocarpa</i>
<i>Rhamnus lycioides</i>
<i>Pinus halepensis</i>
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>

Tabla 9. Selección de especies.

4.6 Ejecución de los trabajos y adicción de las enmiendas a las parcelas

Como ya se ha comentado anteriormente se han realizado cuatro tratamientos con once repeticiones.

Se ha realizado la adicción de abono inorgánico N-K-P 15-15-15 a once parcelas en la cantidad de 1 kg por parcela.



Figura 22. Adicción de abono inorgánico.

Se ha realizado la adicción de purines a las once parcelas en la cantidad de 5,4 kg por parcela.



Figura 23. Adicción de purines.

Se ha realizado la adicción de residuos de poda a las once parcelas en la cantidad de 60 kg por parcela.



Figura 24. Adicción de residuos de poda.

Se ha realizado la adicción de compost a las once parcelas en la cantidad de 60 kg por parcela.



Figura 25. Compost.

Junto con los anteriores tratamientos se han dejado otras parcelas sin ningún tratamiento para controlar la evolución natural de estas sin ninguna intervención.

Todos los tratamientos realizados en este proyecto han sido ampliamente consensuados mediante el estudio de la abundante documentación consultada y reflejada en puntos anteriores, tanto dimensiones de parcelas experimentales como tipo y cantidad de enmiendas vertidas.



Figura 26. Pesaje de purines.



Figura 27. Parcela sin tratamiento donde se aprecia una pionera colonización.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de abordar este punto hay que destacar que no se han obtenido todos los resultados debido a la falta de tiempo en una primera fase del proyecto ya que es ahora cuando después de los tratamientos cuando se ven los efectos sobre la estructura y textura del suelo junto con su afección a la vegetación en cada una de las parcelas experimentales realizadas.

Una vez realizada esta aclaración, se han obtenido resultados satisfactorios con respecto a las posibilidades que ofrecen la adicción de las diferentes enmiendas realizadas. En una primera observación se ha podido constatar las posibilidades que ofrece cada una de ellas en base al estado en el que quedará el suelo tras su aplicación, y otra consideración es el bajo coste de alguna de ellas, siendo muy superior el coste que se debe de destinar al transporte hasta el lugar del estudio con respecto al coste de la materia prima.

6. CONCLUSIONES

Tras la primera fase de este estudio se ha podido constatar las grandes posibilidades que ofrecen la adicción de las diferentes enmiendas desde el punto de vista medioambiental y el económico. Se ha podido constatar que las enmiendas de purines tienen un efecto positivo en la creación del suelo siempre y cuando se eche una cantidad apropiada porque un exceso puede ser muy perjudicial.

Los residuos de poda protegen el suelo de la afección de las lluvias torrenciales y permiten que se retenga más agua para su posterior infiltración.

El abono orgánico aporta nutrientes importantes para el desarrollo de la vegetación.

El compost aporta nutrientes pero también hay un componente salino y de metales pesados en el suelo donde hemos controlado la cantidad rigurosamente.

Con todo esto se puede deducir de la realización de la primera fase de este estudio que la adicción al suelo de estas enmiendas es muy beneficioso para el desarrollo de la vegetación por lo que su utilización en la restauración de espacios afectados por la explotación de roca ornamental es perfectamente factible.

7. BIBLIOGRAFÍA

- José Molina Ruiz. Minimización de impactos ambientales en la minería de la roca ornamental de la región de Murcia. Tesis doctoral, ISBN/ISSN: 978-84-8371-239-9
- María Jesús Ros Amorós. Guía ambiental de la minería en la región de Murcia, ISBN/ISSN: 978-84-8371-071-5
- Evaluación de sustratos para la restauración de canteras. Universidad Miguel Hernández.
- Criterios geoambientales para la restauración de canteras, graveras. Instituto Geológico y Minero de España. Ed Instituto Geológico y Minero de España, ISBN: 84-505-6583-9

Agradecimientos

Desde Centro Tecnológico del Mármol se quiere agradecer de manera especial a Islaya Consultoría Ambiental en la persona de D. Antonio Robledo Miras por sus aportaciones a la hora de llevar a buen fin este proyecto y al Grupo de Gestión, Aprovechamiento y Recuperación de Suelos y Aguas (GARSA) dirigido por Angel Faz Cano del Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria Universidad Politécnica de Cartagena por su colaboración en la realización de los análisis de laboratorio realizados.