# FROM POLLUTED AREA TO RECREATIONAL AREA. ENVIRONMENTAL REHABILITATION OF POLLUTED MINING POND

Parra, Alfonso [1]; Martínez-Martinez, Silvia [2]; Zornoza, Raúl [2]; Acosta, Jose Alberto [2]; Faz, Ángel [2]; Gómez-López, María Dolores [2]

[1] Grupo de Investigación "Gestión, Aprovechamiento y Recuperación de Suelos y Aguas". Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 478, 30203 Cartagena. Murcia. Spain. Telf: +34-968-325667, [2] GARSA. ETSIA-UPCT

This study is part of the already finished LIFE+ project MIPOLARE ENV/ES/000439. The main objective of this project was the environmental remediation of contaminated mining ponds, in the Sierra de Cartagena-La Union,. The environmental thematic itinerary defined in Santa Antonieta mining pond (1 ha extension) is presented in this work. The rehabilitation was carried out by using amendments, which allowed the chemical and structural stability of the pond surface and promoted the growth of native vegetation in acidic soils contaminated by metals. For the thematic itinerary a net of concrete trails and a landscape design was developed. Didactic plots containing different types of restored and unrestored soils were placed in the central trail, also interpretive panels to explain the rehabilitation activities, the history and heritage of the mining district, the risks associated with mining operations, and the main characteristics of the ecosystem, etc. were placed along the trails. The environmental itineraries include 3 viewpoints, from where you can see an extraordinary view of the mining area, and the difference between reclaimed and contaminated areas. This itinerary was defined for recreational and educational purposes, and it have already been visited by numerous schools and associations.

**Keywords**: phytoremediation; mining pond; thematic itinerary; landscape design

# DE ZONA CONTAMINADA A ZONA RECREATIVA. REHABILITACIÓN AMBIENTAL DE UN DEPÓSITO MINERO CONTAMINADO

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto LIFE+ MIPOLARE ENV/ES/000439. El objetivo principal del proyecto fue la rehabilitación ambiental de depósitos mineros contaminados, localizados en la Sierra de La Unión de Cartagena, mediante técnicas de fitorremedación, presentándose en este trabajo el itinerario temático ambiental definido para el depósito de Santa Antonieta, de 1 ha de superficie. La rehabilitación del depósito mediante el uso de enmiendas posibilitó la estabilidad química y estructural de la superficie del depósito y que pudiera crecer vegetación autóctona en suelos ácidos y contaminados por metales. Para el itinerario se diseñó una red de caminos y un diseño paisajístico. En el camino central se localizan las parcelas didácticas que contienen diferentes tipos de suelo mejorado y sin mejorar. Se han colocado señales y paneles interpretativos para explicar las tareas desarrolladas, la historia y el patrimonio del lugar, los riesgos ligados a la minería, las principales características del ecosistema, etc. Los itinerarios ambientales se acompañan de 3 miradores, desde donde se puede observar una panorámica extraordinaria de la zona minera, y la diferencia entre zonas rehabilitadas y contaminadas. Este itinerario se definió con fines recreativos y educacionales, habiendo sido visitado ya por numerosos colegios y asociaciones.

**Palabras clave:** fitoremediación; depósitos mineros; itinerario interpretativo; diseño del paisaje.

Correspondencia: ja.acosta@upct.es

# 1. Introducción

La minería es una industria que puede generar riesgos elevados para la salud y seguridad pública. De igual forma, esta actividad puede causar daños al medio ambiente de las zonas adyacentes, incluyendo la tierra, el suelo, el agua y los bosques (Hanh et al, 2010; Nuong et al., 2011; Suh et al., 2011; Choi, 2012). En el pasado, las minas eran a menudo abandonadas, sin realizar ningún trabajo de recuperación (Burley, 2001). Así pues, en el sureste de España, los impactos ambientales provocados por una prolongada actividad minera, incluyen grandes áreas de suelo caracterizado por procesos de acidificación, alta salinidad y la acumulación de metales (Zornoza et al. 2013). No obstante, hoy en día, hay una profunda preocupación pública acerca de la recuperación de estas minas abandonadas, de modo que cualquier planificación minera debe cumplir con las nuevas regulaciones legislativas, incluyendo una detallada información relativa a la gestión medioambiental (Choi et al., 2008).

En estas zonas, es de vital importancia la necesidad de promover la inmovilización de metales, reducir las tasas de erosión y favorecer el establecimiento de la vegetación para la recuperación y rehabilitación de un depósito minero. No obstante, se debe buscar la integración de todos los recursos, bióticos, abióticos y culturales para conseguir una rehabilitación ecológica y cultural. Así pues, se ha establecido en numerosos estudios la necesidad de buscar una multifuncionalidad de los paisajes degradados, con el fin de que el beneficio obtenido revierta en una mejora ecológica, ambiental y socioeconómica (Crossman y Bryan, 2009; De Groot et al., 2010). Con todo ello, se busca a su vez una fuente de ingresos alternativos para zonas que han tenido que diversificar su actividad económica dado el abandono de la actividad minera. Este hecho repercute en el desarrollo socio-económico de zonas establecidas como puntos de migración de poblaciones y de depresión económica. De manera particular, los estudios realizados en las zonas mineras de Cartagena (Ortega et al., 1993) han desprendido que la recuperación de estos depósitos con una funcionalidad cultural, es una alternativa muy interesante, dado el entorno y las características intrínsecas de la zona. En este sentido, en este trabajo se define la regeneración de un depósito minero degradado, mediante el planteamiento de itinerarios ambientales, consiguiendo una estabilización de los depósitos y un beneficio sociocultural para la zona.

# 2. Metodología

## 2.1. Información preliminar y definición de tipologías

Para la realización de la rehabilitación y definición de los itinerarios primero se ha realizado una recopilación de información para luego poder **definir el modelo de proyecto a abordar**. Un ejemplo de modelos, puede ser:

M1: Proyecto de revegetación
M2: Proyecto de estabilización
M3: Proyecto de elevado interés paisajístico
M4: Proyecto de elevado interés cultural
M5: Proyecto de elevado interés social
M6: Mixtos

En el plano real, nos vamos a encontrar en la mayoría de los casos, con proyectos de tipo mixto en el que se conjuguen varias de las características citadas.

Más adelante se han **definido las zonas existentes** en detalle, tanto a nivel de extensión y localización en planos, como de cualquier característica que nos servirá posteriormente para poder tomar decisiones, asociadas en la mayoría de los casos a características edáficas que nos van a condicionar las especies vegetales a utilizar.

Las zonas más usuales que nos vamos a encontrar en un depósito minero son:

Z1: Planicie depósito minero
Z2: Talud
Z3: Zonas de acceso
Z4: Zonas de transición
Z5: Senderos y áreas recreacionales ya existentes (miradores, etc.)
Z6: Zonas de suelo altamente contaminado
Z7: Hito cultural existente (castillete, centros de interpretación etc)
Z8: Otros

Posteriormente a cada una de estas zonas se le ha **asignado una función final** dentro de la zona rehabilitada, dando lugar a distintas tipologías, TP, que se han definido en planos, pudiendo ser:

TP1: Accesos
TP2: Aparcamientos
TP3: Área de tránsito
TP4: Centros de interpretación
TP5: Hitos culturales (ej.: castillete, horno…)
TP6: Hitos temáticos (ej.: itinerarios botánicos, itinerarios mineros, etc.)
TP7: Área de acceso limitado o prohibido
TP8: Taludes
TP9: Miradores
TP10: Senderos
TP11: Área de esparcimiento (ej.: merenderos, bancos, etc.)
TP12: Áreas de vegetación existente (arbolado y arbustivas)
TP13: Áreas a revegetar
TP14: Otras zonas

## 2.2. Mejora de suelos

Llegados a este punto y dentro de la propuesta de rehabilitación se realizó la mejora de los suelos, ya que por lo general, en los depósitos mineros contaminados, es necesario:

- **Neutralizar la acidez e inmovilizar los metales pesados** presentes en el material de los depósitos. Con ello se conseguirá una reducción en la contaminación de aguas y suelos próximos, así como una disminución en la transferencia de metales en la cadena trófica. Al inmovilizar los metales, éstos ya no son lavados con el agua ni son absorbidos y retenidos por la vegetación, de manera que se reducen los riesgos de transferencia de la contaminación a animales y humanos.
- **Incrementar el contenido en materia orgánica** para crear suelo, de manera que se favorezcan las condiciones para el establecimiento de la vegetación

Para conseguir la mejora física y química del suelo, así como la inmovilización de metales, se realizó el aporte de dos subproductos generados en la industria de procesamiento del mármol y en la actividad ganadera, utilizando purín de cerdo. Las mejoras buscadas con su aplicación son:

- **Lodos de mármol.** Puesto que es carbonato cálcico, prácticamente puro, sin presencia de elementos tóxicos, una vez incorporado en el suelo va a contribuir a neutralizar la acidez e inmovilizar los metales pesados, mejorando a su vez la estructura del suelo.
- **Purín de cerdo**. Con la aplicación de este subproducto conseguiremos mejorar la estructura del suelo, enriquecerlo en nutrientes y favoreciendo el desarrollo de comunidades microbianas y el establecimiento de la vegetación.

Una vez mejorados los suelos y tras un periodo de estabilización de la materia orgánica, se ha caracterizado cada una de las zonas desde el punto de vista físico químico, así como la vegetación existente, puesto que esto va a condicionar las especies vegetales a utilizar.

### 2.3. Elección de especies

Para la estabilización de metales, se propone el uso de especies identificadas por su fitoestabilización. Estas especies inmovilizan los metales mediante la acumulación de estos en las raíces o mediante la precipitación de estos metales en el suelo próximo a las raíces. Estas plantas además retienen el suelo evitando la erosión y el transporte del material contaminado. Para la rehabilitación, se ha observado las zonas cincundantes y se han establecido asociaciones paisajísticas de la cuenca mediterránea de posible uso en estas zonas. En cuanto a la caracterización de especies, los parámetros que se han considerado, en cuanto a restricciones para el crecimiento, más válidos para poder ser decisorios a la hora de discriminar entre el uso de una planta u otra han sido el tipo de suelo en el que crecen mejor, bioclima, referido a necesidad de agua, tolerancia a la aridez del suelo, a la salinidad y su aptitud para la fitoestabilización.

### 2.3. Definición de itinerarios

Una vez definidas las zonas, sus usos, las restricciones, y mejorados los suelos se diseñaron los caminos e itinerarios, así como la información que se iba va a dar en ellos mediante señalética, con el fin de informar a los visitantes del trabajo realizado y del daño ambiental paliado con la actuación realizada. De esta manera se proporciona una zona recreativa en lo que antes era un depósito contaminado con numerosos riesgos ambientales. Finalmente se realizó la obra civil y la plantación de las especies seleccionadas.

## 3. Resultados

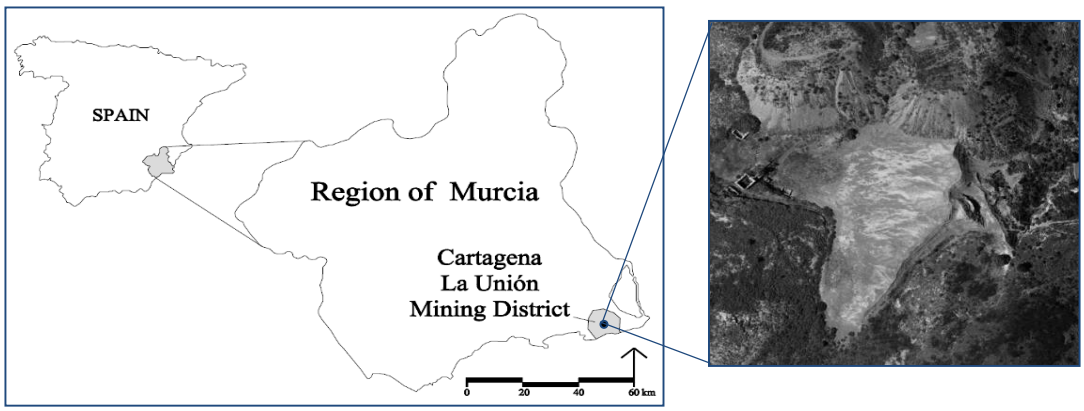
Se detallan a continuación los resultados obtenidos siguiendo los pasos descritos en la metodología.

El depósito elegido fue el depósito de Santa Antonieta situado al Sudeste de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, y concretamente en el Término Municipal de Cartagena (Figura 1). Dicho depósito se localiza a una distancia aproximada de 4 km de la ciudad de La Unión y a 9.5 km de la de Cartagena. El acceso al depósito minero se realiza a través de la carretera N-332 que une Cartagena-La Unión, en la intersección con la N-345, tomando dirección a Portman y continuando 2.4 km por esta carretera, en el desvío a Escombreras a 300 m se encuentra el acceso al depósito por el margen derecho.

La zona de estudio se emplaza próxima al comienzo de la Rambla del Avenque, al este del monte “Diente la Vieja”, que discurre entre las elevaciones de las Colmenas y el Pino, para desembocar en la playa del Gorguel. Las coordenadas geográficas del depósito minero son

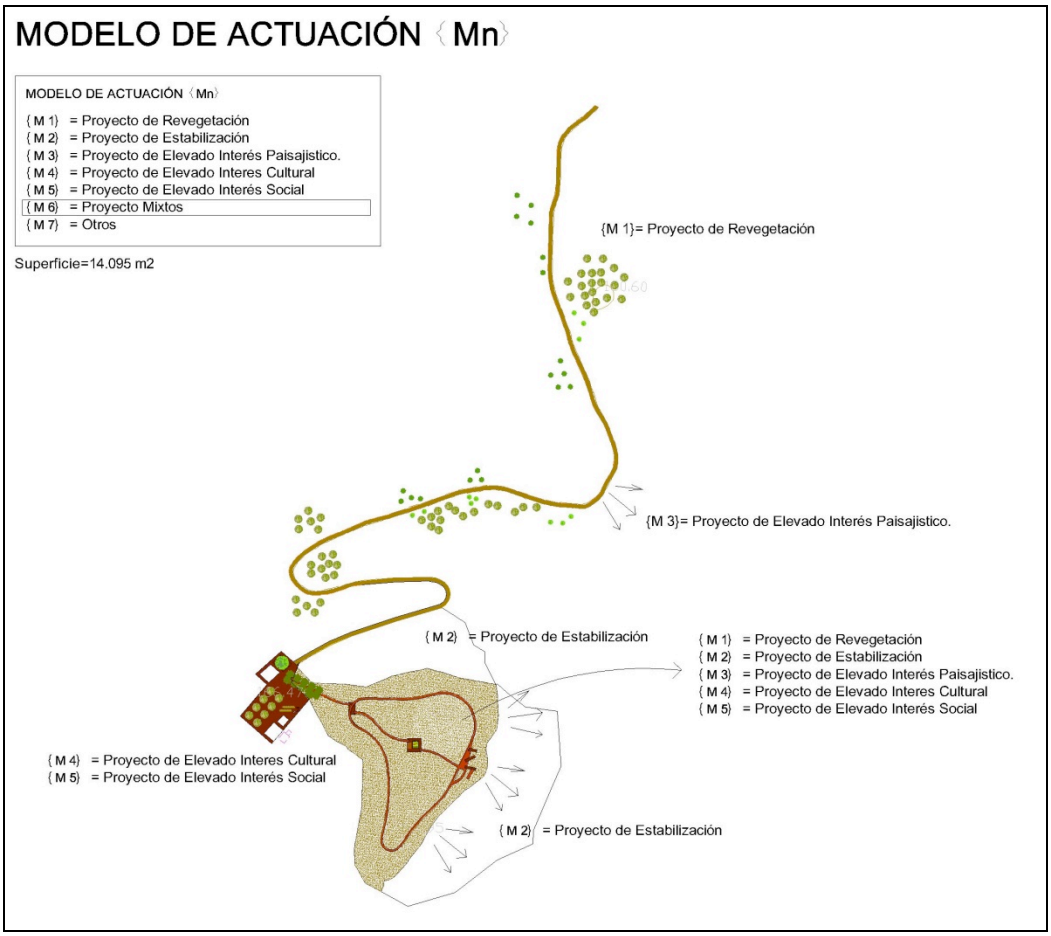
37º 35' 38'' N y 0º 53' 11'' O; presenta una altitud de 170 m y una superficie de 14095 $m^2$.

**Figura 1. Situación y emplazamiento del depósito de Santa Antonieta (Cartagena).**



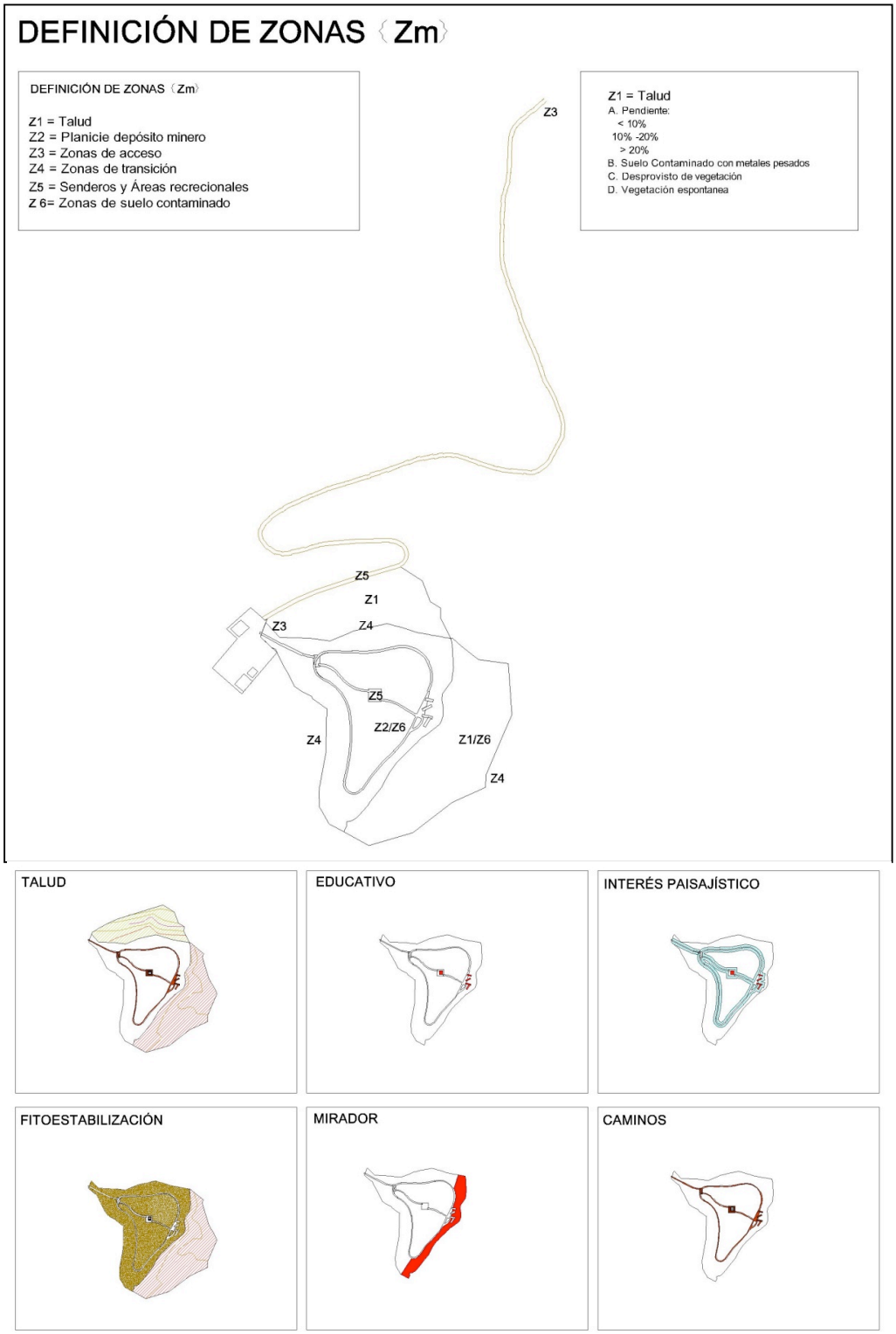

En lo concerniente al modelo de actuación a abordar en la rehabilitación del depósito de Santa Antonieta, se eligió un modelo de actuación mixto {Mn=Proyecto mixto}, pues se pueden identificar en diferentes partes del depósito zonas susceptibles de revegetación, de estabilización, de elevado interés paisajístico, cultural y social (Figura 2).

**Figura 2. Modelos de actuación**



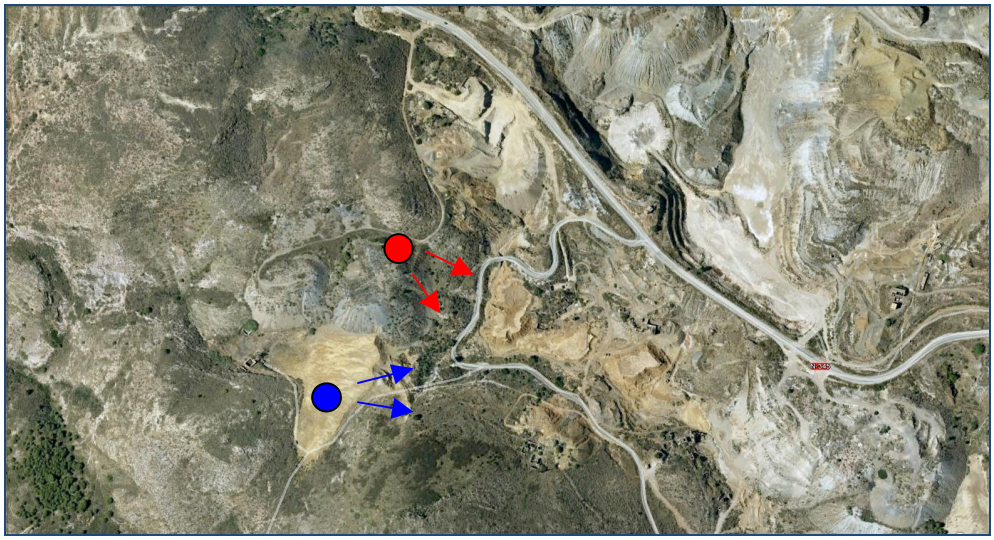
Posteriormente se identificaron las zonas existentes presentándose estas y el detalle de las mismas en la Figuras 3.

**Figura 3. Definición de zonas y detalle de las mismas**



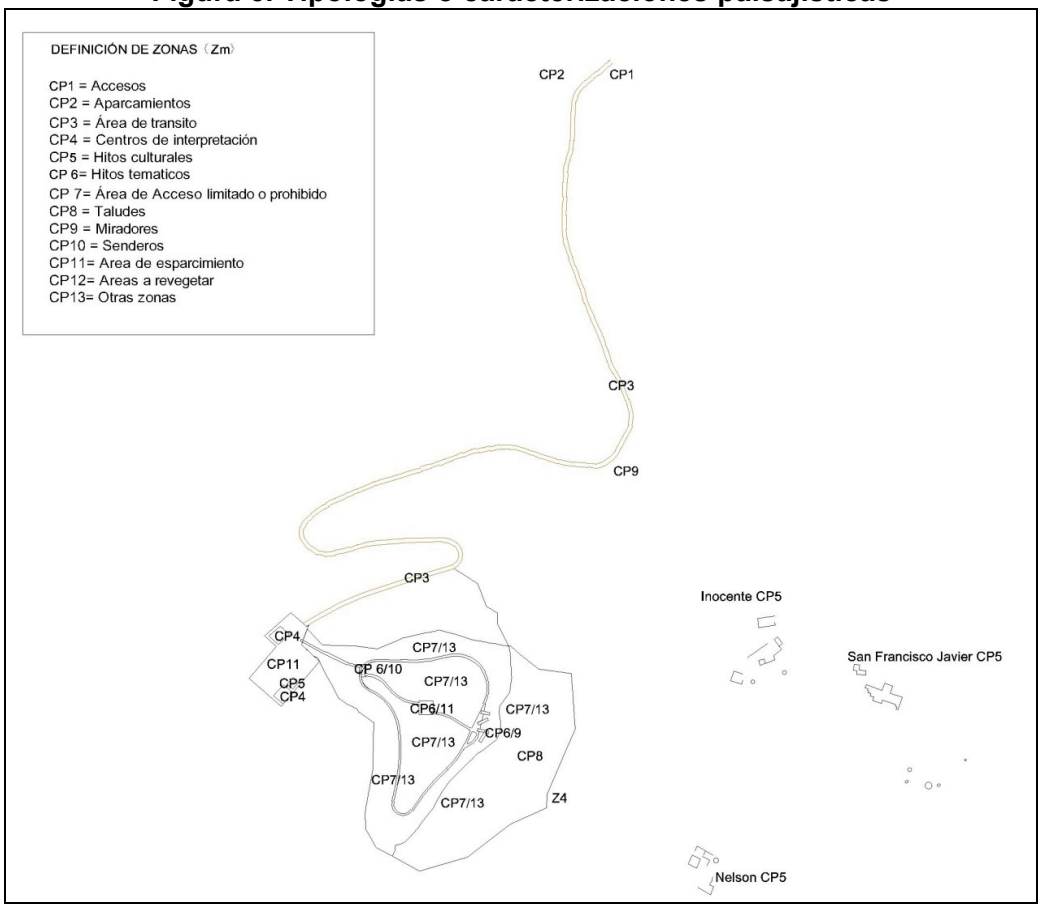
Previo a definir los usos o tipologías finales de cada zona o subzona, se estudiaron, entre otras, las zonas suceptibles de ser utilizadas como mirador, identificándose dos (Figura 4), aprovechando las vistas existentes en la zona de acceso y en la zona próxima al talud.

**Figura 4. Zonas de miradores**



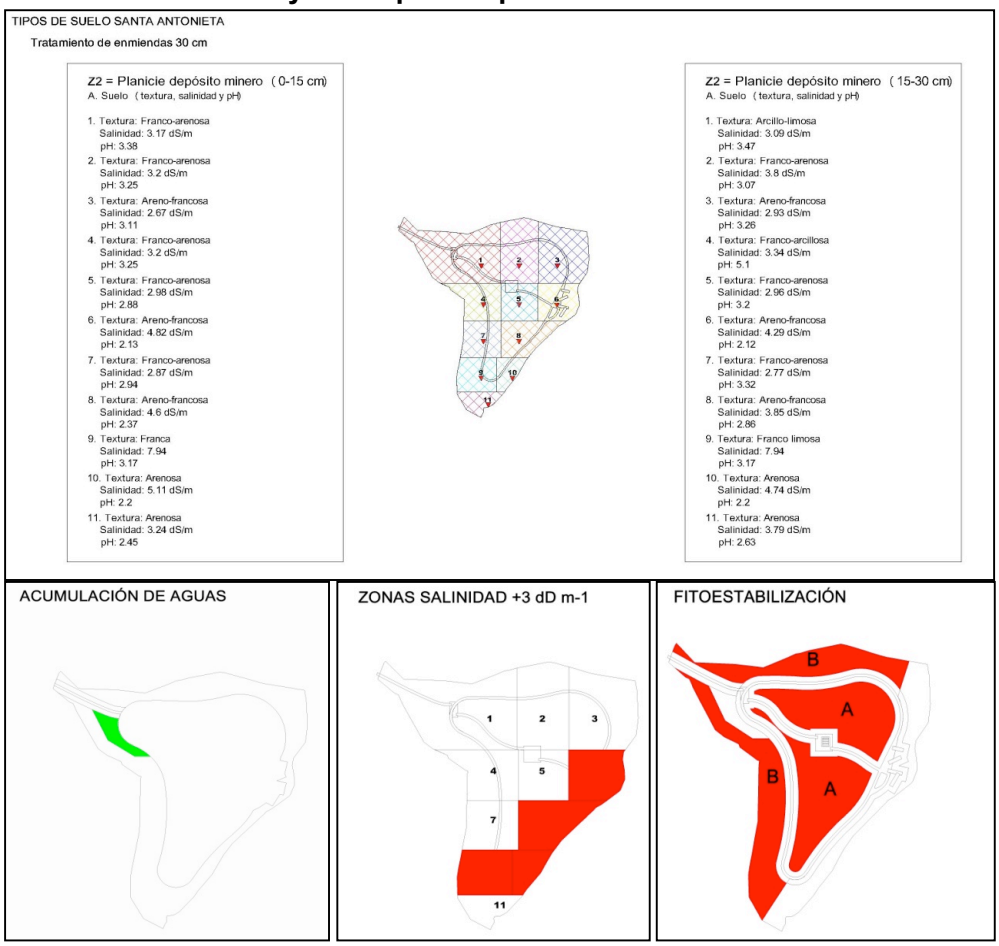
**Las tipologías, usos** o caracterizaciones paisajísticas que se han definido se enumeran quedan definidas en la Figura 5:

**Figura 5. Tipologías o caracterizaciones paisajísticas**



Llegados a este punto y dentro de la propuesta de rehabilitación se definieron y estudiaron todas las restricciones que se podían encontrar en las zonas del depósito antes del inicio de la rehabilitación. Para ello, se recogieron once muestras de la superficie del suelo (0-15 cm de profundidad) para conocer la densidad aparente, el pH, la conductividad eléctrica, el carbono orgánico del suelo, el carbonato de calcio, el nitrógeno total, el total de los metales pesados y la determinación de metales intercambiables (Figura 6).

**Figura 6. Características edáficas y zonas con problemas de encharcamiento, salinidad y susceptibles para fitoestabilización**




Para conseguir la mejora física y química del suelo, así como la inmovilización de metales, se realizó el aporte de los dos subproductos citados, uno generado en la industria de procesamiento del mármol y otro en la actividad ganadera, como es el purín de cerdo. Para facilitar el paso de maquinaria al depósito se creó un camino de acceso. A su vez se realizó una zanja perimetral drenante, para evitar la acumulación de agua en la zona oeste del depósito.

Con el fin de preparar el terreno del depósito minero, para la aplicación de las enmiendas, se realizó el laboreo de los 50 cm primeros de la superficie del suelo. Esta acción fue necesaria debido a la presencia de agentes cementantes, tales como óxidos e hidróxidos de hierro, que provocan la formación de costras, con un espesor de entre 2 y 20 cm, muy endurecido, formando una masa coherente o fuertemente cementado, causando dificultades en la aplicación de enmiendas. La aplicación de las enmiendas se realizó por medios mecánicos. En primer lugar, se agregaron los lodos de mármol (6.7 kg $m^{-2}$) seguido por la aplicación del purín (1.7 L $m^{-2}$). Después de la aplicación de las enmiendas, todos los materiales se mezclaron a una profundidad de 0-50 cm para incorporar las enmiendas en el

suelo del depósito tal y como se aprecia en la Figura 7. Así mismo se llevaron a cabo dos aplicaciones más de purines de 2.6 L $m^{-2}$ y 0.7 kg $m^{-2}$.

**Figura 7. Aplicación de enmiendas**

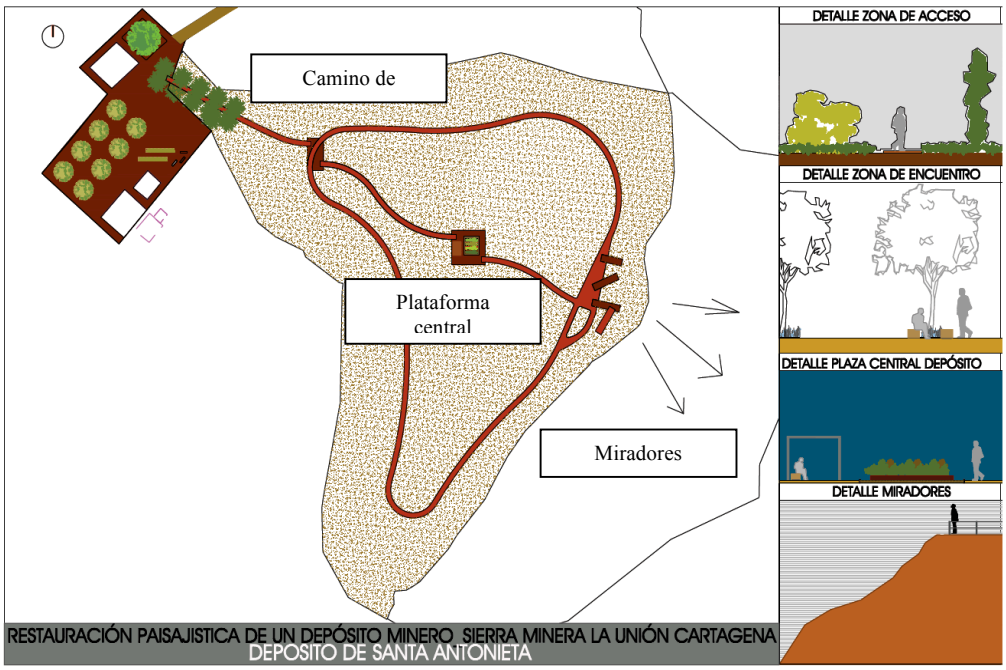
Con el fin de disponer de la información necesaria para seleccionar las especies y poder ser recomendadas para cada zona, se estableció una agrupación de las especies más usuales en clima mediterráneo semiárido, asociaciones paisajísticas, AP, (Figura 8), estableciendo recomendaciones preferenciales para las zonas y sus restricciones de crecimiento, pudiendo consultarse en Parra et al. (2014, 2016).

**Figura 8. Especies vegetales definidas por asociaciones paisajísticas, zonas de uso, y restricciones (+ especies fitoestabilizadoras)**

| ASOCIACIONES PAISAJÍSTICAS | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Especie | AP | Usos | Restricciones | Areas |
| *Lavandula dentata* | AP1 | Z3, Z4, Z5 | +3 dS m-1<br>S. Acidos<br>**6, 8, 9, 10, 12** | **1, 2, 3, 4, 5, 7,11, 13** |
| *Rosmarinus officinalis* | | | | |
| *Cistus albidus* | | | | |
| *Ligeum spartum (+)* | AP2 | Z1, Z2, Z5, Z6 | | **1, 2, 3, 4, 5, 6,7,8,9 10, 11, 12, 13** |
| *Limonium cossonianum* | | | | |
| *Cynodon dactylon* | | | | |
| *Pistacea lentiscus* | AP3 | Z3, Z4, Z6* | Raices<br>Visibilidad<br>**1-11** | **13, 12* Transición** |
| *Tetraclinis articulata* | | | | |
| *Chamaerops humilis* | | | | |
| *Tamarix canariensis* (+)* | | | | |
| *Atriplex halimus* (+)* | | | | |
| *Ligeum spartum (+)* | AP4 | Z1A | **Visibilidad, raiz** | **12 Transición** |
| *Atriplex halimus* (+)* | | | | |
| *Zygophyllum fabago (+)* | | | | |
| *Tamarix canariensis* (+)* | | | | |
| *Helichrisum decumbens* | AP5 | Z6 | Raices<br>Visibilidad<br>**1-11** | **Zonas de suelo contaminado** |
| *Hiparrhenia hirta* | | | | |
| *Phagnalon saxatile* | | | | |
| *Piptaterum miliaceum* | | | | |
| *Sonchus tenerrinus* | | | | |
| *Zygophyllum fabago (+)* | | | | |
| *Dittrichia viscosa (B)* | | | | |

Una vez realizado la selección por zonas, únicamente queda realizar la ejecución del diseño (Figura 9), plasmándose en la consecuente obra civil y la plantación de las especies seleccionadas.

**Figura 9. Diseño paisajístico ejecutado en el depósito de Santa Antonieta**

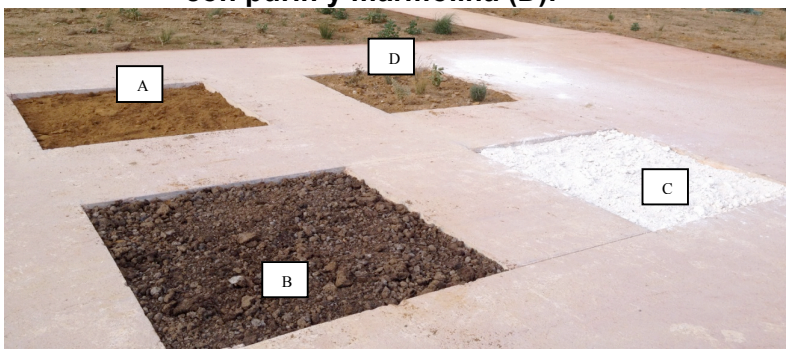



La obra civil realizada en Santa Antonieta siguió el diseño paisajístico generado y se dividió en las siguientes partes:

**Red de senderos:** Se diseñó una red de caminos con la función de itinerarios ambientales. Dicha red está formada por un sendero perimetral y otro central. El camino perimetral transcurre a lo largo de todo el perímetro de la balsa de residuos, y se ha construido con un ancho de 1 metro y 10 cm de espesor de hormigón armado, sobre capa de zahorra compactada de 20 cm de espesor. El hormigón se coloreó en tonos burdeos similares a los encontrados en las inmediaciones de la sierra minera y se le ha dio un acabado raspado anti-resbalamiento. Igualmente se construyó también un camino central, siguiendo las mismas características constructivas que el camino perimetral.

Este camino central atraviesa una plataforma central donde se localizan las parcelas didácticas, constituidas por cuatro parterres que contienen diferentes tipos de suelo (Figura 10), lo que permite a los visitantes observar el crecimiento de las especies de plantas en el suelo original del depósito minero, en suelos originales con mezcla de enmiendas (purines de cerdo y lodos de mármol), suelo original con aporte único de lodos de mármol y suelo original con aporte único de purines de cerdo.

**Figura 10. Parcelas demostrativas con suelo original del depósito (A), suelo original con purín de cerdo (B), suelo original con marmolina (C) y suelo original enmendado con purín y marmolina (D).**



Estos itinerarios permiten a los visitantes observar las plantas que se utilizan con propósitos fitoestabilizadores y las plantas nativas asociadas a ellos con interés paisajístico. A lo largo de estos senderos se han colocados señales y paneles interpretativos (Figura 11) para explicar las tareas desarrolladas, la historia y el patrimonio del lugar, los riesgos ligados a la minería, las principales características del ecosistema, etc.

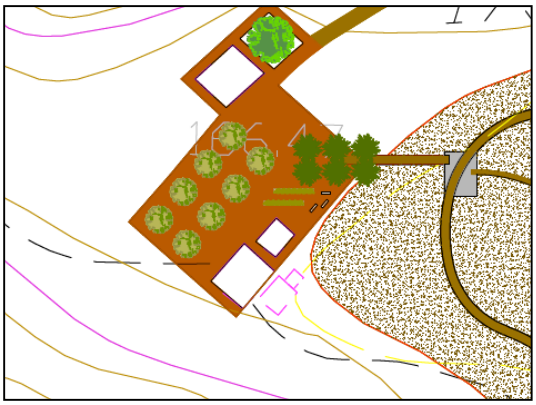
**Figura 11. Ejemplo de paneles interpretativos colocados a lo largo de la red de senderos**

**Miradores:** Los itinerarios ambientales se acompañan de 3 miradores (Figura 12), que permiten a los visitantes observar una panorámica extraordinaria de la zona minera, siendo capaces de comparar el depósito minero regenerado de Santa Antonieta con otros depósitos abandonados y degradados.

**Figura 12. Zona de miradores y señalética de esta zona**

**Zona recreativa:** Se ha diseñado un área recreativa (Figura 13) que coincide con la explanada en donde se sitúan las edificaciones que constituyen el patrimonio arquitectónico del depósito. Desde esta explanada se da inicio de la red de senderos. En esta zona está prevista la inclusión de mobiliario urbano y arboles de sombra que invitarán al visitante a descansar.

**Figura 13. Zona recreativa**



**Zona museística:** Con el fin de desarrollar nuevas oportunidades económicas futuras, se quiere convertir el patrimonio arquitectónico industrial (Figura 14), compuesta por un castillete minero y una sala de maquinas, en una zona museística para uso educativo y que sirva de vínculo entre la naturaleza y el patrimonio humano.

**Figura 14. Imagen del patrimonio arquitectónico industrial existente en Santa Antonieta**

Una vez acometida la obra civil, se realizó la plantación del depósito de Santa Antonieta así como de las zonas adyacentes. En la Figura 15 se puede observar el depósito de Santa Antonieta rehabilitado.

**Figura 15. Imagen del depósito de Santa Antonieta rehabilitado**

## 4. Conclusión

La rehabilitación del depósito mediante el uso de enmiendas y de plantas fitoestabilizadoras posibilitó la estabilidad química y estructural de la superficie del depósito y que pudiera crecer vegetación autóctona en suelos ácidos y contaminados por metales. El beneficio ambiental se traduce a una reducción de los riesgos de derrumbe de taludes, de deriva de metales aérea y por escorrentía, quedando estos estabilizados por la vegetación y con un beneficio social por su uso didáctico y de recreo. El depósito se encuentra rehabilitado desde 2012 y está siendo visitado desde entonces por escolares, y usuarios de todo tipo.

## 5. Bibliografía

Burley, J.B. (2001). Post mining land use reclamation: an introduction from a planning and design perspective. In: *Environmental Design for Reclaiming Surface Mines*. Burley, J.B. (ed.) ISBN 0-7734-7478-1, The Edwin Mellen Press., Lewiston, New York, USA., 1-25.

Choi, Y. (2012). A new algorithm to calculate weighted flow-accumulation from a DEM by considering surface and underground stormwater infrastructure. *Environmental Modelling and Software,* 30, 81-91.

Choi, Y., Park, H.D., & Sunwoo, C. (2008). Flood and gully erosion problems at the Pasir open pit coal mine, Indonesia: a case study of the hydrology using GIS. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment,* 67 (2), 251-258.

Crossman, N.D., & Bryan, B.A. (2009). Identifying cost-effective hotspots for restoring natural capital and enhancing landscape multi-functionality. *Ecological Economics,* 68, 654–668.

De Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein L., & Willemen, L., 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7 (3), 260–272

Hanh, H.T., Kim, J.Y., Bang, S., & Kim, K.W. (2010). Sources and Fate of as in the environmen. *Geosystem Engineering,* 13 (1), 35–42.

Nuong, B.T., Kim, K.W., Prathumratana, L., Lee, A., Lee, K.Y., Kim, T.H., Yoon, S.H., Jang, M., & Duong, B.D. (2011). Sustainable development in the mining sector and its evaluation using fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Process) approach. *Geosystem Engineering,* 14 (1), 43-50.

Ortega, M., Nicolás, E., Esteve, M. A., Torres, A., & Ramirez-Díaz, L. (1993). Prioridades en la restauración e integración paisajística de la Sierra Minera de la Unión Cartagena (Murcia, Sureste de España). Inventario, cartografía y tipología de cortas, balsas y escombreras. En: Ortíz-Silla, R. (ed.). *Problemática ambiental y desarrollo*. Sociedad Española de Geología Ambiental y ordenación del Territorio, 307-316.

Parra, A., Zornoza, R., Conesa, E., Gómez-López, M.D. & Faz A. (2014). Seedling emergence, growth and trace elements tolerance and accumulation by Lamiaceae species in a mine soil. *Chemosphere,* 113, 132–140.

Parra, A., Zornoza, R., Conesa, E., Gómez-López M.D. & A. Faz (2016). Evaluation of the suitability of three Mediterranean shrub species for phytostabilization of pyritic mine soils. *Catena*, 136, 59–65.

Suh, J.W., Choi, Y., Roh, T.D., Lee, H.J., & Park, H.D. (2011). National-scale assessment of landslide susceptibility to rank the vulnerability to failure of rockcut slopes along expressways in Korea. *Environmental Earth Sciences,* 63 (3), 619-632.

Zornoza, R., Faz, A., Carmona, D.M., & Acosta, J.A., Martínez-Martínez, S., de Vreng, A. (2013). Carbon mineralization, microbial activity and metal dynamics in tailing ponds amended with pig slurry and marble waste. *Chemosphere,* 90, 2606-2613.