



**ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS
INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y
LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS
DIFERENTES ADMINISTRACIONES,
UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS
CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES
MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-
LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR**

FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa

Grupo de Investigación:
Contaminación de suelos
Facultad de Química
Universidad de Murcia
Coordinadora: Salvadora
Martínez López. Doctora por la
Universidad de Murcia
ABRIL 2019



Unión Europea

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

Proyecto:

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR.

Identificación del Promotor:

Promotor: **DIRECCIÓN GENERAL DE MEDIO AMBIENTE Y MAR MENOR** de la **Consejería de EMPLEO, UNIVERSIDADES Y MEDIO AMBIENTE DE LA REGIÓN DE MURCIA** DE LA REGIÓN DE MURCIA

EQUIPO TÉCNICO.

Investigador Principal: Salvadora Martínez López. Profesora Asociada de la Universidad de Murcia. Grupo de Investigación Contaminación de suelos. Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología de la Universidad de Murcia. LDA EN CIENCIAS AMBIENTALES & DOCTORA POR LA UNIVERSIDAD DE MURCIA.

Investigador colaborador: Maria José Martínez Sánchez. Catedrática Universidad de Murcia. Grupo de Investigación Contaminación de suelos. Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología de la Universidad de Murcia.

Investigador colaborador: Carmen Pérez Sirvet. Catedrática Universidad de Murcia. I.P. Grupo de Investigación Contaminación de suelos. Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología de la Universidad de Murcia.

Técnico cartografía SIG: Maria del Carmen Gómez Martínez. Licenciada en Ciencias Ambientales.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL DOCUMENTO	5
3. ÁMBITO DEL TRABAJO	7
4. METODOLOGÍA	9
5. ANÁLISIS REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	13
6. RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	82
6.1.- Impactos de la Sierra Minera y su área de influencia (Mar Menor).	88
6.1.1.- Depósitos de estériles mineros.	88
6.1.2.- Drenaje Ácido de mina (AMD).	92
6.1.3.- Contaminación zonas adyacentes a la Sierra Minera. Mar Menor- Mar Mediterráneo.	95
6.1.3.1.- Mar Menor.	95
6.1.3.2.- Mar Mediterráneo.	99
6.1.4.- Transporte por las Ramblas que tributan al Mar Menor.	105
6.1.5.- Erosión Hídrica.	111
6.1.6.- Erosión eólica. Dispersión aire.	112
6.1.7.- Eflorescencias.	115
6.1.8.- Ausencia de vegetación y recubrimiento de suelo de los pantanos y depósitos.	118
6.1.9.- Movilidad potencial y toxicidad de los metales pesados y elementos traza.	119
6.1.10.- Rotura de presas.	123
6.1.11.- Variación de la morfología del terreno y paisaje.	124
6.2.- Medidas correctoras y/o actuaciones correctoras propuestas y/o previstas, en los distintos estudios y publicaciones para la protección del Mar Menor en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión, así como las	

posibles vías de transferencia de metales pesados y elementos traza, a través de las ramblas que tributan al Mar Menor.	125
6.2.1.- Especies vegetales recomendadas para los programas de fitoestabilización que minimicen los riesgos de movilización de metales pesados y elementos traza a las zonas de influencia de la Sierra Minera como es el Mar Menor.....	126
6.2.2.- Evitar la degradación física, química y biológica que se produce en los suelos circundantes de la cuenca del Mar Menor.	130
6.2.3.- Aplicación de enmendantes y creación de tecnosuelos/ tecnosoles para reducir y/o eliminar la movilidad potencial de los metales pesados y elementos traza evitando la transferencia al Mar Menor. 131	
6.2.4- Actuaciones sobre los cauces de las Ramblas para disminuir y/o eliminar la carga contaminantes de las aguas antes de su entrada al Mar Menor.	144
6.2.5- Restauración hidrológica forestal de las cuencas mineras y recuperación de suelos para reducir las aportaciones sólidas al Mar Menor.....	147
6.2.6- Técnicas aplicadas en el estudio de la problemática ambiental de la Sierra Minera y su zona de influencia el Mar Menor.	148
5.2.6.1.- Métodos químicos.	149
6.2.6.2.- Ensayos biológicos.	151
6.2.6.3.- Estudios físicos.....	154
7. CONSIDERACIONES FINALES.....	157
8. BIBLIOGRAFÍA.	159

ANEXO I. FOTOGRÁFICO.

ANEXO II. CARTOGRÁFICO.

1. INTRODUCCIÓN.

El Mar Menor es una laguna hipersalina situada en el sudeste de España, una de las mayores del Mediterráneo, y también de Europa. Este enclave ambiental cuenta con numerosas figuras de protección ambiental que obligan a la administración regional a alcanzar el *mejor estado de conservación favorable para la fauna y la flora típica de la laguna*, es decir, *que la estructura y las funciones específicas necesarias para su mantenimiento a largo plazo existan y puedan seguir existiendo en un futuro previsible*.

Este espacio natural está sometido a diversas presiones e impactos como consecuencia de la intervención antrópica en el territorio desde hace siglos, llegando a su máximo nivel de perturbación en las últimas décadas. Entre las causas de esta degradación, diversos estudios técnicos y científicos apuntan al arrastre de sedimentos con presencia de metales pesados. La minería en la Sierra de Cartagena-La Unión, en el límite meridional de la cuenca vertiente al Mar Menor, se remonta a la época de los fenicios y cartagineses (siglos V-IV a.C.), prolongándose hasta finales del siglo XX. Los vestigios de esta intensa explotación se manifiestan en toda la sierra, con la acumulación de residuos mineros en la cabecera de las cuencas hidrográficas y en los lechos de las ramblas como consecuencia del vertido incontrolado durante la primera mitad del siglo XX, destacando la presencia de grandes depósitos de estériles mineros y escombreras, fundamentalmente en la cuenca de la rambla del Beal en su desembocadura con el Mar Menor y en la Bahía de Portman.

En la Sierra Minera de Cartagena-La Unión y su radio de influencia se han desarrollado diferentes estudios, investigaciones y publicaciones sobre los efectos en el Mar Menor de las explotaciones mineras de la sierra minera de Cartagena-La Unión.

Entre las medidas de conservación de los Espacios Red Natura 2000, la Ley 42/2007, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, en su artículo 46.3, establece que las Administraciones Públicas, en el ámbito de sus competencias deberán fijar las medidas de conservación necesarias, que respondan a las exigencias ecológicas de los hábitats naturales y de las especies presentes en tales áreas.

La Dirección General de Medio Ambiente y Mar Menor en virtud del Decreto n.º 53/2018, de 27 de abril, por el que se establecen los Órganos Directivos de la

Consejería de Empleo, Universidades, Empresa y Medio Ambiente asume, entre otras, las competencias y funciones de ejecución de los proyectos y actuaciones en el Mar Menor relacionados con la protección y regeneración ambiental de su ecosistema, sin perjuicio de las atribuidas a otros centros directivos de la Administración Regional.

En este sentido el Plan de Gestión Integral de los Espacios Protegidos del Mar Menor y la Franja Litoral Mediterránea de la Región de Murcia, en proceso de aprobación, incluye entre sus objetivos:

✚ OG.3. *Establecer medidas para mejorar el estado de conservación de los hábitats y las especies:*

✓ OO.3.4. *Reducir la eutrofización y contaminación.*

Y entre las acciones previstas para dar cumplimiento a este objetivo, incluye entre sus acciones:

✚ AE.24^a. *Control y seguimiento de los niveles hídricos, de nutrientes y contaminantes de los humedales:*

✓ *Prioridad: 1.*

✓ *Ámbito de aplicación: Sector "Laguna del Mar Menor", Sector "Humedales periféricos", cuenca vertiente.*

✓ *Responsable: Consejería competente en materia de medio ambiente en colaboración con Confederación Hidrográfica del Segura y organismos de investigación.*

✓ *Descripción: Esta acción contempla un sistema de monitoreo que incluya, como mínimo:*

- *Estudios de detalle que permitan estimar los flujos de descarga y transferencia de masa desde el acuífero Cuaternario al Mar Menor.*

- *Seguimiento y evaluación de flujos de aguas superficiales, incluyendo las entradas durante episodios de lluvias intensas.*

- *Seguimiento de cargas de sedimentos, contaminantes y nutrientes que entran a la laguna.*

- *Seguimiento de la evolución de la calidad de los suelos y efectos*

de las medidas adoptadas.

- *Caracterización de los regímenes hídricos y dinámica de nutrientes de los humedales;*
- *Identificación de las dinámicas más apropiadas para la conservación de la biodiversidad en los humedales y propuesta de medidas de adecuación;*
- *Seguimiento y evaluación de los problemas de contaminación de las aguas superficiales y los acuíferos;*
- *Identificación de indicadores de seguimiento;*
- *Establecimiento de medidas de control y seguimiento.*

A escala de la Unión Europea, para la conservación de la Red Natura 2000, el Marco de Acción Prioritaria para la Red Natura 2000 en España establece entre sus medidas clave para alcanzar las prioridades de conservación estratégicas para el periodo 2014-2020:

- ✚ *108. Recopilar, consolidar y divulgar el conocimiento existente, actualizar y ampliar información sobre algunos tipos de hábitat y especies Maríno y costeros, y realizar los estudios necesarios para mejorar el conocimiento sobre la gestión necesaria para alcanzar un estado de conservación favorable, de forma coordinada y con la participación de los actores relevantes (científicos, gestores, usuarios, etc. Considerar la necesidad de conocer la tendencia que muestra la línea de costa.*
- ✚ *109. Recopilar información y realizar estudios para conocer las interacciones y el impacto de ciertas actividades humanas sobre los tipos de hábitat y las especies de interés comunitario (p.ej. tráfico marítimo, pesca, fondeo de embarcaciones, buceo autónomo, acuicultura, observación de cetáceos, suministro de combustible y trasvase de hidrocarburos, residuos flotantes, vertidos directos e indirectos, uso de productos fitosanitarios, etc.).*

El objetivo principal de los trabajos que se describen a continuación es la recopilación actualizada del conocimiento científico sobre la Sierra Minera y sus

efectos en el Mar Menor y las líneas de investigación iniciadas, así como la redacción de un informe que incluya las medidas y/o actuaciones correctoras previstas y/o propuestas en dichos estudios para disminuir o eliminar las afecciones y contaminación que esta ejerce sobre la laguna del Mar Menor.

2. JUSTIFICACIÓN DEL DOCUMENTO

Para conocer y evaluar la contaminación del Mar Menor, que se produce por Metales Pesados y Elementos Traza en esta laguna costera, es necesario realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de los principales procesos, impactos, riesgos ambientales, metodologías de estudio, así como las posibles soluciones a la problemática que representa el desarrollo de las actividades mineras y su posterior abandono, llevadas a cabo hasta el año 1990 en el Distrito Minero de Cartagena-La Unión. Se considera, que al tener un conocimiento de la problemática se puede actuar sobre la fuente para evitar, disminuir o eliminar la contaminación que se está produciendo al Mar Menor, procedente de la Sierra Minera de Cartagena-la Unión, principalmente a través de las Ramblas que tributan a la laguna. Además, es necesario conocer los trabajos e investigaciones, que en la zona de estudio se han realizado, para así poder establecer las necesidades de intervención sobre las zonas estudiadas, así como detectar zonas donde falten datos para un mejor conocimiento. De esta manera, se puede realizar una zonificación de la contaminación y realizar una correcta propuesta de la gestión del riesgo de la Sierra Minera, ahorrando esfuerzos y ejecución presupuestaría por parte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Por lo tanto, el Distrito Minero de Cartagena- La Unión y su área de influencia, ha representado y representa en la actualidad un gran desafío ambiental, tanto para las autoridades ambientales, como para la comunidad científica, debido al elevado número de impactos que genera la contaminación, provocada tras el cese de las actuaciones mineras y la incorrecta ó ausencia medidas de restauración de la zona objeto de estudio.

Este desafío ambiental, no ha pasado desapercibido y prueba de ello fue la puesta en marcha de un instrumento específico de estudio y planificación de actuaciones en esta materia que aborde esta particular problemática desde las diversas perspectivas enunciadas, para lo que el Consejo de Gobierno de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, en sesión celebrada el 22 de noviembre de 2017, acordó la creación de un grupo de trabajo para la elaboración del “Plan de Recuperación Ambiental de Suelos Afectados por la Minería”, como instrumento que permita el conocimiento, análisis y evaluación de

los riesgos que puedan derivarse de los residuos procedentes de la minería histórica y los suelos afectados desde las diversas perspectivas competenciales que inciden en la materia.

De esta forma, por encargo del Consejo de Gobierno, con fecha 7 de febrero de 2018 se constituyó este órgano de composición multidisciplinar que, tras realizar un análisis de la situación de partida, comenzó a trabajar en la elaboración de un documento que recogiese la información disponible sobre las actuaciones realizadas y en curso por la Administración Regional en torno a la mencionada problemática, y configurase y planificase las que resulte necesario acometer en el futuro, tanto de forma inmediata como a medio y largo plazo, de acuerdo a un orden de prioridades.

Con este objetivo, el grupo de trabajo mantuvo diversas reuniones y finalmente se llegó a la elaboración del PLAN DE RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE SUELOS AFECTADOS POR LA MINERÍA- PRASAM 2018-2028, que se presentó en fecha 05/10/2018.

En el ámbito científico, este desafío ambiental, que representa la contaminación derivada de la Sierra Minera, se viene desarrollando durante décadas y a través de diferentes organismos de investigación, de ahí el elevado número de proyectos científicos y de investigación, que desde los diferentes organismos públicos se han financiado y las numerosas publicaciones científicas que hay publicadas sobre el conocimiento de la Sierra Minera y el Mar Menor, como se pone de manifiesto en este documento.

3. ÁMBITO DEL TRABAJO.

El ámbito en el que se va a llevar a cabo el trabajo es el espacio protegido Red Natura 2000 "MAR MENOR", clasificado como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC ES6200030) por Acuerdo de Consejo de Gobierno de fecha 28 de julio de 2000 (BORM nº 181, de 5.08.00) confirmado en la Decisión de la Comisión de 19 de julio de 2006 por la que se adopta, de conformidad con la Directiva 92/43/CEE del Consejo, la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea; y como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA ES0000260), por la Resolución de 8 de mayo de 2001 (BORM nº 114, de 18.05.01), en cumplimiento de la Directiva del Consejo de las comunidades europeas 79/409/CEE, de 2 de abril de 1979, derogada por la Directiva 2009/147/CE, de 30 de noviembre, relativa a la conservación de las aves silvestres. Dentro de la ZEPA se encuentra el Paisaje Protegido "Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor", declarado por la Ley 4/1992, de 30 de julio, de Ordenación y Protección del Territorio de la Región de Murcia.

Además, el Mar Menor es Humedal de Importancia Internacional, conforme al Convenio sobre Humedales de Importancia Internacional (Convenio Ramsar), autorizado por Acuerdo de Consejo de Ministros de 15 de julio de 1994; y es Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM) incluida en el lugar denominado "Área del Mar Menor y Zona Oriental mediterránea de la costa de la Región de Murcia". "El Mar Menor y sus humedales asociados" son también Área de Protección de Fauna Silvestre según Ley 7/ 1995, de 21 de abril, de la Fauna Silvestre de la Región de Murcia [Ley 7/1995, de 21 de abril, de la Fauna Silvestre, Caza y Pesca Fluvial (BORM nº102, 4.05.95)].

Según lo anterior, el Mar Menor, es un espacio donde confluyen hasta 10 figuras de protección ambiental aprobadas y otras catalogaciones de interés geológico y ecosistémicos:

Tabla 1.- Figuras de protección ambiental y otras catalogaciones del Mar Menor.

CATEGORÍA			
GENERAL	FIGURA ESPECÍFICA	NOMBRE	CÓDIGO
ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS LEY 4/1992	PARQUE REGIONAL	SALINAS Y ARENALES DE SAN PEDRO DEL PINATAR	ENP000004
	PAISAJE PROTEGIDO	ESPACIOS ABIERTOS E ISLAS DEL MAR MENOR	ENP000008
ESPACIOS PROTEGIDOS RED NATURA 2000	LUGAR DE INTERÉS COMUNITARIO (LIC)	SALINAS Y ARENALES DE SAN PEDRO DEL PINATAR	ES0000175
		MAR MENOR	ES6200030
	ZONA DE ESPECIAL PROTECCIÓN PARA LAS AVES (ZEPA)	ESPACIOS ABIERTOS E ISLAS DEL MAR MENOR	ES6200006
		SALINAS Y ARENALES DE SAN PEDRO DEL PINATAR	ES0000175
ÁREAS PROTEGIDAS POR INSTRUMENTOS INTERNACIONALES	ZONA ESPECIALMENTE PROTEGIDA DE IMPORTANCIA PARA EL MEDITERRÁNEO (ZEPIM)	MAR MENOR Y ZONA ORIENTAL MEDITERRÁNEA DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA	ZEPIM0004
	HUMEDAL DE IMPORTANCIA INTERNACIONAL RAMSAR (HIR)	MAR MENOR	HIR000033
	ÁREAS DE PROTECCIÓN DE LA FAUNA SILVESTRE (APF)	MAR MENOR Y HUMEDALES ASOCIADOS	1
OTRAS CATALOGACIONES			
LUGAR DE INTERÉS GEOLÓGICO (LIG)		MAR MENOR Y LA MANGA	51

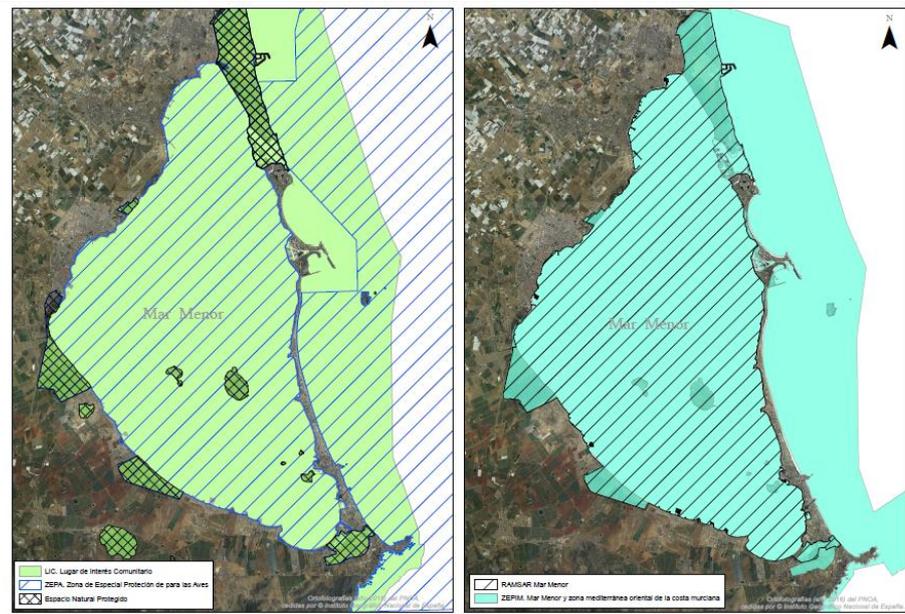


Figura 1.- Figuras de protección ambiental del Mar Menor.

4. METODOLOGÍA.

La realización del *ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACIÓN INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR* sea ha llevado a cabo a través de diferentes acciones.

Las acciones 1 y 2 se han llevado a cabo mediante una recopilación bibliográfica de publicaciones sobre textos digitales y no digitales de estudios e investigaciones realizadas. Para ello se han usado diferentes bases científicas. La búsqueda de artículos científicos se ha utilizado recursos electrónicos restringidos para investigadores como SciFinder, ScienceDirect, Wiley, SpringerLink, SAGEPremier, Oxford Journals, CSIC, WOS, ProQuest, EBSCO, entre otras. También se ha usado el buscador Dialnet para la búsqueda de las Tesis Doctorales publicadas sobre la temática que nos ocupa. Las Tesis Doctorales publicadas en abierto y a las que se ha tenido acceso se adjuntan a este informe como una base de datos (junto a artículos científicos, libros y capítulos de libros). Es necesario hacer mención a las Tesis Doctorales a las que no se tiene acceso pero sí que se han recogido en este trabajo los resúmenes publicados de estos trabajos de investigación. También se han recopilado libros y capítulos de libros de abordan la problemática ambiental de la Sierra Minera y su área de influencia en Mar Menor. Los proyectos de investigación realizados en la zona de estudio también han sido incluidos en este trabajo, quedan recogidos en la Tabla 3 y se ha podido tener acceso a los datos publicados en las páginas web de los grupos de investigación de los diferentes organismos científicos.

En dos acciones posteriores se ha realizado una clasificación y análisis de toda la información recopilada, queda reflejada en la Tabla 2 y su posterior análisis del presente documento. Se han determinado los impactos, así como las medidas correctoras propuestas y/o previstas por los diferentes investigadores en los numerosos trabajos evaluados. Para el tratamiento de estos datos se realizó una clasificación de los trabajos.

En la Figura 2 se muestra la gráfica de la clasificación con la naturaleza de los trabajos revisados.

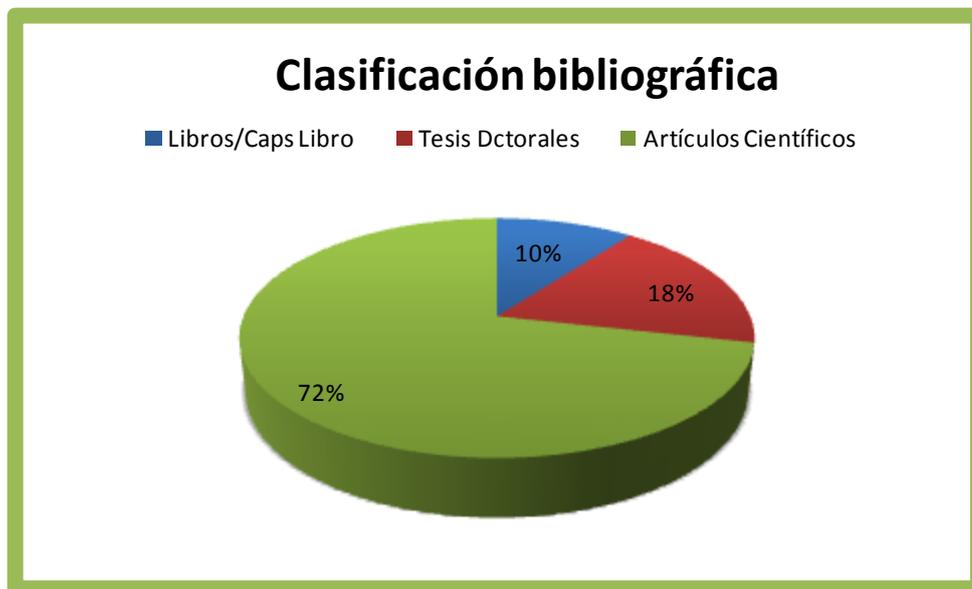


Figura 2.- Clasificación bibliográfica.

En la Figura 3 se muestra la gráfica de la clasificación de los artículos científicos según la temática que hayan abordado.

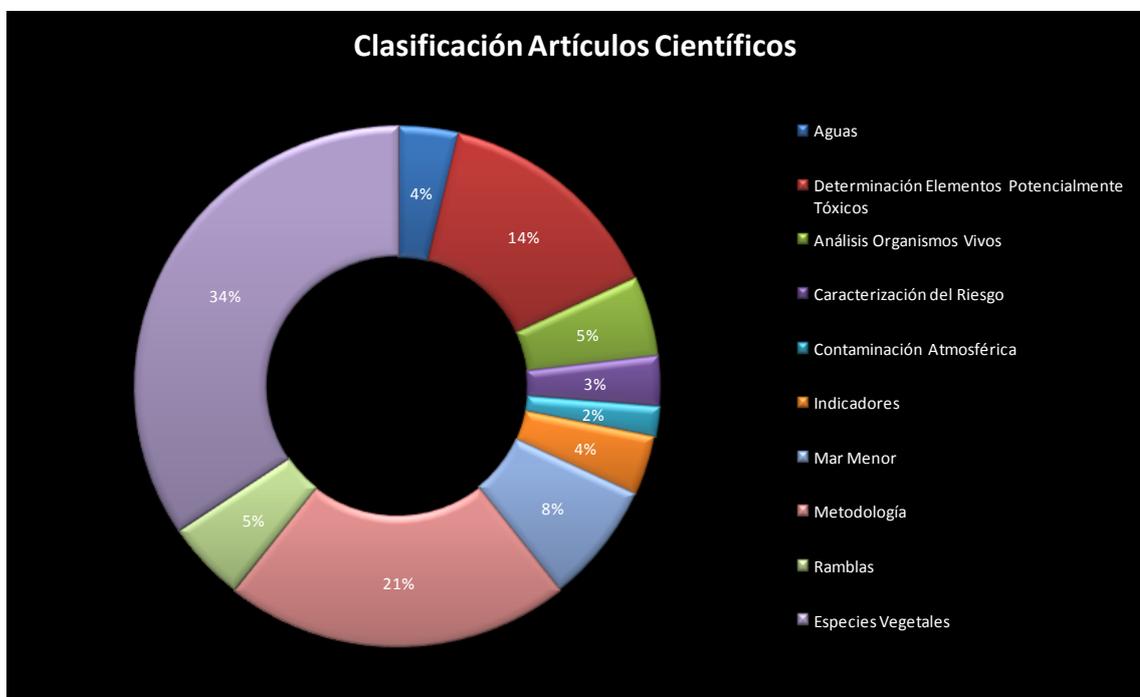


Figura 3.- Clasificación artículos científicos.

De esta forma se puede observar el gran número de trabajos dedicados a la problemática de la Sierra Minera y su área de influencia el Mar Menor y también la Vertiente Mediterránea, que tratan de abordar la búsqueda de materiales y especies vegetales para llevar a cabo proyectos de fitoestabilización y/o fitoextracción en la zona de estudio. También son numerosos los trabajos que emplean diferentes metodologías para dar respuesta a la problemática ambiental de contaminación por elementos potencialmente tóxicos del Distrito Minero de Cartagena-La Unión. Otro grupo importante de investigaciones se han centrado en la caracterización y determinación de los valores de concentraciones de metales pesados y elementos traza de la zona de estudio. También son numerosos los trabajos que han abordado la problemática de contaminación por actividades metálicas que sufre la laguna costera del Mar Menor. Relacionados con estos últimos están los trabajos que evalúan la acción de transporte de metales que se produce a través de las diferentes ramblas que tributan al Mar Menor. Se han establecido otros grupos en la clasificación, según estudian los efectos de la contaminación de la Sierra Minera y su área de influencia en los organismos vivos, en las aguas y en la atmósfera, entre otros.

Otra de las acciones realizadas ha sido la elaboración de la cartografía de la zona de estudio, se ha utilizado información de distintas fuentes con el fin de obtener el resultado raster que mejor se ajuste a la realidad.

La plataforma elegida para la realización de muchos de los procedimientos y análisis que se describen en el trabajo ha sido ArcGIS 10: ArcMap Version 10.2, el cual es un Sistema de Información Geográfica (SIG), moderno y eficaz para las tareas de análisis espacial, que cuenta con un módulo de herramientas que permiten adicionarle capacidades para realizar tareas como geo procesamiento raster, modelamiento y análisis espacial.

La última acción de gabinete ha sido la redacción del presente informe donde se incluye las medidas y/o actuaciones correctoras propuestas y/o previstas, en los distintos estudios y publicaciones para la protección del Mar Menor en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión, así como las posibles vías de transferencia de metales pesados y elementos traza, a través de las ramblas que tributan al Mar Menor.

El trabajo también ha contemplado numerosas salidas de campo a la zona de estudio donde se ha llevado a cabo la contrastación de la información con la situación in situ. Además también se ha realizado un anexo cartográfico y otro fotográfico (fotos propiedad de los autores y otras sacadas de la bibliografía donde se indica su fuente) con los datos obtenidos durante dichas salidas.

5. ANÁLISIS REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

En la Tabla 2 se resume la recopilación bibliográfica de las publicaciones sobre textos digitales y no digitales de estudios e investigaciones realizadas en las diferentes administraciones, Universidad y otros organismos científicos sobre las explotaciones mineras de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión y sus efectos en el Mar Menor. Así como la clasificación, los objetivos y los principales resultados de la información analizada.

Tabla 2.- Resumen recopilación bibliográfica de la Sierra Minera y su área de influencia el Mar Menor.

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
LIBROS/CAPÍTULO LIBRO			
Manteca Martínez, J.I. & Ovejero Zappino, G. 1992	Yacimiento, distrito minero, geología, depósitos minerales	Los yacimientos Zn, Pb, Ag-Fe del distrito minero de la Unión-Cartagena, Bética Oriental. <i>Recursos Minerales de España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC. 1992, ISBN 84-00-07263-4, págs</i>	Se realiza un estudio y análisis detallado sobre la geología y los depósitos minerales del distrito minero de Cartagena-La Unión
Martínez Sánchez, M.J., & Perez Sirvent. C. 1998	Parque minero, Cabezo Rajao, Restauración ambiental, proyecto europeo Interreg Ouverture	Parque minero y ambiental Cabezo Rajao. <i>Dirección General del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. MU-1699-1998</i>	Constituye el primer trabajo que contempla una restauración ambiental basada en criterios de riesgo para el Mar Menor y su zona de influencia. Es un boletín en el que se recoge un resumen del proyecto europeo Interreg Ouverture, con un plan de acción ambiental y una propuesta de recuperación de la zona minera de La Unión y Cartagena.
Marguí, E., et al., 2004	Mining wastes, Metal partitioning, Modified BCR sequential extraction, Toxicity characteristic leaching procedure, DIN 38414-S4, Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, Electrothermal atomic absorption spectrometry	Comparison of three-stage sequential extraction and toxicity characteristic leaching tests to evaluate metal mobility in mining wastes. <i>Analytica Chimica Acta 524 (2004) 151-159</i>	Se utilizó el procedimiento de extracción secuencial de tres etapas, propuesto por BCR para estudiar las formas de los metales contenidos en dos zonas mineras: Valle de Arán (NE España) y Cartagena (SE España). Los análisis de los extractos se realizaron mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente y espectrometría de absorción atómica electrotrémica. Los resultados del estudio indican que las formas más fácilmente movilizadas (intercambiables con ácido) fueron predominantes para Cd y Zn, particularmente en la muestra de Cartagena. En contraste, la mayor cantidad de plomo se asoció con las fracciones de óxido de hierro y manganeso
Pérez Ruzafa, A.,	Ecology, Mar Menor, mining, human	The ecology of the Mar Menor coastal lagoon: A fast changing ecosystem under human pressure. <i>Gönenç, I.E. &</i>	A pesar de que el cese de la actividad minera fue hace más de 50 años, la concentración de metales pesados en los

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
et al., 2005	pressure	<i>Wolflin, J.P. eds. 2005. Coastal lagoons. Ecosystem processes and modeling for sustainable use and development. CRC Press Boca Raton.</i>	sedimentos del Mar Menor es alta, sobre todo en la parte sur de la Laguna y su entrada es constante. Por ejemplo, se encuentran valores de Pb de 4000 µg / g. este proceso está contribuyen a la reducción de la superficie de la laguna
Martínez Sánchez, M.J. & Pérez Sirvent, C., 2007.	Metales pesados, Región de Murcia. Suelos contaminados. Zonas de exclusión	Niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados en suelos de la Región de Murcia. ISBN: 978-84-6909-104-3	Se desarrolla la metodología para llevar a cabo los estudios necesarios para la determinación de los niveles de fondo de metales pesados en suelos de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Además, contiene un capítulo específico donde se estudia la actividad minera del Distrito Minero de Cartagena-La Unión, así como sus procesos y el contenido en metales pesados de las distintas fuentes contaminantes de la Sierra Minera.
Martínez Sánchez, M.J. & Pérez Sirvent, C. 2009	Contaminación, suelo, metales pesados, ramblas, campo Cartagena, Mar Menor	Análisis del estado de la contaminación del suelo en el Sistema Campo de Cartagena- Mar Menor. <i>Instituto Euromediterráneo del Agua. El Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico. ISBN:978-84-936326-8-7</i>	Se expone una recopilación de varias investigaciones realizadas por el equipo de investigación "Contaminación de suelos" de la UMU, referidas a las fuentes contaminantes y vías de transferencia de metales pesados que se producen desde la Sierra Minera al Mar Menor a través de los cauces de las Ramblas que tributan a la laguna
Álvarez Rogel, J., et al., 2009	Humedales, Mar Menor, Aguas, Eutrofización	Papel de los humedales costeros del Mar Menor en la depuración de aguas eutrofizadas: el caso de la Marina del Carmolí. <i>Instituto Euromediterráneo del Agua. El Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico. ISBN:978-84-936326-8-7</i>	Aunque el objetivo del trabajo son los aspectos relacionados con la eutrofización, los autores ponen de manifiesto la importancia de considerar la presencia de residuos mineros, en humedales como el Carmolí y Lo Poyo, previamente a cualquier actuación sobre los regímenes hídricos y la cobertura vegetal, debido al riesgo de movilización de metales pesados y los riesgos de transferencia a la cadena trófica
Benedicto Albadalejo, J., et al., 2009	Contaminación, metales, compuestos órgano-estánicos, Mar Menor	Contaminación por metales y compuestos órgano-estánicos en el Mar Menor. <i>Instituto Euromediterráneo del Agua. El Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico. ISBN:978-84-936326-8-7</i>	Se realiza una revisión de los resultados obtenidos de los estudios de metales pesados en el Mar Menor, así como la identificación de las áreas de conocimiento que deberían ser estudiadas y se proponen medidas y estudios a realizar
Bernal, M. P., et al., 2009	Recuperación, suelos, Mar Menor, actividad minera	Opciones de recuperación de suelos del entorno del Mar Menor afectados por la actividad minera. <i>Instituto Euromediterráneo del Agua. El Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico. ISBN:978-84-936326-8-7</i>	Se expone los resultados obtenidos en una selección de proyectos de investigación, sobre la aplicación de técnicas de fitorremediación basados en el uso combinado de enmiendas y diferentes especies de plantas en los suelos del entorno del Mar Menor afectados por la actividad minera
Perez Sirvent, C. & Martínez Sánchez, M. J, 2009	Rehabilitación, estériles mineros, experiencia, escombreras	Rehabilitación de escombreras y depósito de estériles. Rehabilitación turística y para el ocio. Rehabilitación de espacios mineros. Experiencia española. <i>Editor Rafael Fernández Rubio. 218-230.</i>	Se realiza la descripción exhaustiva de la actividades mineras desarrolladas en e Distrito Minero de Cartagena-La Unión. Se evalúan los impactos y se describen los procesos que se dan en la zona de estudio. Se describe la problemática ambiental de la Bahía de Portmán, así como el proyecto de

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			rehabilitación del entorno
Marín, A., et al. 2009	Interacciones, Mar Menor, nutrientes, entrada metales, ramblas	Interacciones tierra-mar en la laguna costera del Mar Menor. <i>Instituto Euromediterráneo del Agua. El Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico. ISBN:978-84-936326-8-7</i>	Se aborda la problemática del Mar Menor teniendo en cuenta la interacción entre los sistemas terrestres y acuáticos. Además de evalúa y estudia el efecto de la entrada de metales pesados a la laguna, a través de las Ramblas del Beal, Ponce y el Albuñón
Baños González, I & Baños Paez, P. 2013.	Bahía, Portmán, Portus Magnus, mineralogía, contaminación	Portmán: de el Portus Magnus del Mediterráneo occidental a la Bahía aterrada. <i>Editum. ISBN.: 978-84-16038-02-2</i>	Este libro lo componen diferentes capítulos escritos por varios investigadores donde se refleja la enorme huella que la actividad minera ha dejado en la singular Bahía de Portmán. El implacable vertido de setenta millones de toneladas de estériles durante el periodo 1975-1990 desembocó en su ruina y destrucción. El libro se estructura en tres grandes bloques temáticos que recogen diferentes capítulos: aspectos metodológicos, patrimoniales, históricos, jurídicos, sociológicos, ambientales y económicos.
Pérez Sirvent, C. & Martínez Sánchez, M.J., 2015	Descontaminación, gestión, ecoeficiencia, suelos	Gestión ecoeficiente en descontaminación de suelos, incertidumbres asociadas. <i>Innovación en la gestión e Investigación Ambiental. Ed. Salvadora Martínez López. ISBN:978-84-16296-15-6</i>	Se aborda una serie de cuestiones planteadas para la gestión ecoeficiente de los suelos contaminados por metales pesados. Algunas de las conclusiones obtenidas es la prioridad de los tratamientos “in situ” frente a los tratamientos “ex situ” ó la utilización de residuos que contiene filler calizo como enmendante para la recuperación de estos suelos
González Ciudad, E., 2015	Análisis de riesgos, contaminación, suelos, metales pesados	Análisis de riesgos como instrumento en el diagnóstico de la contaminación del suelo. <i>Innovación en la gestión e Investigación Ambiental. Ed. Salvadora Martínez López. ISBN:978-84-16296-15-6</i>	Se aborda la aplicación del análisis de riesgos para la salud de las personas, expuestas a suelos con influencia minera de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. La principal conclusión obtenida es una herramienta para conseguir un diagnóstico exhaustivo de la contaminación presente en el área de influencia minera así como los riesgos existentes
Martínez López, S., 2015	Técnicas de estudio, Arsénico, transferencia, población, ecosistema, suelos	Técnicas de estudio en la transferencia de As del suelo a la población y el ecosistema. <i>Innovación en la gestión e Investigación Ambiental. Ed. Salvadora Martínez López. ISBN:978-84-16296-15-6</i>	Se muestran diferentes técnicas para estudiar la transferencia de As de suelos contaminados de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión a la población y el ecosistema. Se concluye que es más correcto establecer límites máximos y/o permitidos de concentración del metal en función de la fracción biodisponible o lixiviable que en función de la concentración total. Además se pone de manifiesto la necesidad de los cálculos de los factores de Bioacumulación y Desplazamiento de las plantas usadas en los proyectos de fitorremediación de suelos de esta zona minera estudiada
Pérez Espinosa, V., 2015	Residuos, cantera, caliza, descontaminación, aguas, adsorbente	Los residuos de cantera caliza como nuevos materiales adsorbentes para la descontaminación de agua. <i>Innovación en la gestión e Investigación Ambiental. Ed. Salvadora Martínez López. ISBN:978-84-16296-15-6</i>	Se estudia la utilización de filler calizo y hormigón, procedente de los residuos de la construcción y demolición, como materiales adsorbentes de las formas solubles de los elementos potencialmente tóxicos. Los resultados obtenidos en los estudios en batch y en columnas realizados en laboratorio se concluye que son materiales adecuados para la recuperación de aguas y suelos

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			contaminados por metales pesados en zonas de influencia minera
Muñoz Vera, A. & García, C. 2016	Residuos mineros, sedimentos, laguna, Mar Menor	Influencia de los residuos mineros de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión en la evolución de los sedimentos de la laguna costera Mar Menor. <i>Leon, V.M y J.M. Bellido. Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluacion científica de su estado. Madrid, Instituto Espanol de Oceanografia, Ministerio de Economia y Competitividad, 2016. 414 p. Temas de Oceanografia, 9. ISBN 978-84-95877-55-0</i>	Se muestran los resultados del estudio realizado para examinar la influencia de la actividad minera metálica en la composición de los sedimentos del Mar Menor. Los resultados muestran que la dinámica de sedimentación influye en las características de los sedimentos de la laguna como son el tamaño de partícula, la distribución de minerales, elementos así como la materia orgánica
Álvarez Rogel, J., et al., 2016	Residuos mineros, humedales, Mar Menor, mecanismos biogeoquímicos	Eutrofización y contaminación por residuos mineros en humedales del Mar Menor: comprendiendo los procesos biogeoquímicos para plantear posibles actuaciones de manejo. <i>Leon, V.M y J.M. Bellido. Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluacion científica de su estado. Madrid, Instituto Espanol de Oceanografia, Ministerio de Economia y Competitividad, 2016. 414 p. Temas de Oceanografia, 9. ISBN 978-84-95877-55-0.</i>	Se resumen los resultados de proyectos de investigación realizados por el Grupo de Investigación (ETSIA) de la UPCT. Aborda los resultados de los experimentos realizados con suelos y plantas procedentes de humedales de la costa del Mar Menor: la Marína del Carmolí y el saladar de Lo Poyo
García Aróstegui, J.L., et al., 2016	Cuenca, Mar Menor, impactos, hidrogeología	Las aguas subterráneas en el Campo de Cartagena- Mar Menor. <i>Leon, V.M y J.M. Bellido. Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluacion científica de su estado. Madrid, Instituto Espanol de Oceanografia, Ministerio de Economia y Competitividad, 2016. 414 p. Temas de Oceanografia, 9. ISBN 978-84-95877-55-0</i>	Se expone la importancia de un mayor conocimiento hidrogeológico del acuífero multicapa, así como de los patrones y dinámicas de uso y consumo para llevar a cabo una mejor gestión de la cuenca y del Mar Menor. En el trabajo se analiza como el impacto de la minería influye sobre los flujos y calidad de las aguas subterráneas. Se propone soluciones como la declaración de toda la superficie del Distrito Minero de la Sierra de Cartagena-La Unión como una zona vulnerable, con fito-estabilización y tratamiento químico de residuos mineros
Martínez Sánchez, M.J., et al., 2017a	Contaminación, suelos, ramblas, metales pesados, zonas mineras	Contaminación de suelos por metales. <i>Los riesgos ambientales en la Región de Murcia. ISBN: 978-84-17157-45-6</i>	Se pone de manifiesto la grave amenaza que supone para el medio ambiente la contaminación de suelos, provocada por la presencia de elementos potencialmente tóxicos, dado que supone un riesgo para la salud de las personas y a los ecosistemas. Además se analiza la importancia de los estudios de movilidad y bioaccesibilidad de los EPTs sobre la concentración total de metal pesado
Pérez Sirvent, C., et al., 2017	Remediación, suelos, ramblas, metales pesados, zonas mineras	Proposal for the Remediation of soils Affected by Mining Activities in Southeast Spain. <i>ELSEVIER, 2017. ISBN 978-0-12-809588-1</i>	Se expone que la Sierra Minera de Cartagena-La Unión posee valores ecosistémicos muy importantes que requieren de un manejo adecuado. Además se concluye que las técnicas de recuperación deben basarse en la atenuación natural de los impactos y se deben de incluir la neutralización del Drenaje Ácido de Mina, el incremento de la vegetación natural, favorecer el crecimiento de especies tolerantes (pero que no transfiera metales

AUTOR(s) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			pesados a su parte aérea)
Martínez Sánchez, M.J., et al., 2017b	Tecnología, remediación, suelos, elementos potencialmente tóxicos, Portman	Ecoefficient In Situ Technologies for the Remediation of Sites Affected by Old Mining Activities: The case of Potman bay. <i>ELSEVIER, 2017. ISBN 978-0-12-809588-1</i>	Se resume la experiencia del proyecto piloto llevada a cabo para la remediación de la Bahía de Portman. En el trabajo se resalta la importancia de los resultados obtenidos con la aplicación de la tecnología basada en tecnosoles y se pone de manifiesto el interés que muestra esta técnica de remediación y que puede ser aplicada en otros sitios, como puede ser en la zona de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión
TESIS DOCTORAL			
J. Simonneau. 1973 Université Paul Sabatier de Toulouse	Residuos mineros, Mar Menor, ramblas, contaminación	Mar Menor: evolution sedimentologique et geochimique recente en remplissage	El trabajo realizado por Simonneau en 1973 ha servido de base para todos los estudios, que durante más de 40 años, se han realizado para estudiar la contaminación por metales pesados presente en el Mar Menor. El transporte de metales pesados que se da en las ramblas, desde la Sierra Minera al Mar Menor, tras los episodios de lluvias, es tan importante que se estimó en 25 millones de toneladas la cantidad de residuos mineros presentes en la laguna. Se ha llegado a considerar el Mar Menor como un yacimiento minero
José Ignacio Manteca Martínez. 1993 Universidad Complutense de Madrid	Explotación, yacimiento, geología, mineral, minería	De la modelización del Yacimiento a la producción mineral diaria. Seguimiento y control geológico de una explotación minera	Se basa en la aproximación de recursos en base a una modelización del yacimiento y el control geológico del mismo durante su explotación. Para la consecución de objetivos se conjugaron criterios geológicos y geoestadísticos para llegar a un modelo numérico, adaptado a la naturaleza real del yacimiento
Fakher Jabr Mustafa Aukour. 2002 Universidad de Murcia	Metales pesados. Influencia minera, suelos rojos mediterráneos, transferencia a los vegetales	Evaluación de la degradación por sales y metales pesados en los suelos rojos mediterráneos	Se realizó un estudio comparativo de los parámetros de suelos de cultivo que han sufrido aportes de metales pesados y sales solubles con otros suelos que siendo de características edáficas similares no presentan ningún síntoma. Se estudiaron los suelos del Campo de Cartagena y suelos del Norte de Jordania. Los resultados muestran que los suelos de Jordania presentan un mayor grado de conservación de los de Cartagena, sin salinización ni alcalinización elevada, además presentan un contenido en metales muy bajo con respecto a lo suelos de Cartagena.
Augusto Cesar. 2003 Universidad de Murcia	Bahía de Portmán, anfípodos, erizos, contaminación, metales pesados, test	Análisis ecotoxicológico integrado de la contaminación Marína en los sedimentos de la costa de Murcia: el caso de Portmán, Sudeste-España	Se ha evaluado la toxicidad de los sedimentos de la Bahía de Portmán a través de dos grupos de invertebrados Maríños. Los resultados de los análisis de los sedimentos de la Bahía presentan un gradiente de concentración de metales pesados (Fe, As, Zn, Al, Pb). Los resultados de los test de toxicidad realizados con larvas de erizos (<i>Arbacia lixula</i> y <i>Paracentrotus livids</i>) y con anfípodos (<i>Gammarus aequicauda</i> y <i>Microdeutopus grillotalpa</i>) en la bahía de Portmán, mostraron un gradiente

AUTOR(s) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			de toxicidad con la profundidad. Los resultados muestran que los dos anfípodos presentan buena sensibilidad a las sustancias tóxicas de referencia y a la contaminación por metales pesados de los sedimentos analizados. Una de las conclusiones obtenidas es la adecuación de la microscopía electrónica de barrido para la evaluación de la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de larvas de erizos
Cristobal García García. 2004 Universidad Politécnica de Cartagena	Residuos, minero, metalúrgicos, impactos	Impacto y riesgo medioambiental en los residuos minero- metalúrgicos de la Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia- España)	Se aborda perfectamente la problemática de la contaminación provocada por los metales de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión y el Mar Menor. Además se identifican y cartografían todos los elementos minero-metalúrgicos y los resultados muestran que todos contienen elementos peligrosos ó tóxicos en su composición. Como conclusión propone una serie de medidas para poder llevar a cabo la rehabilitación necesaria para disminuir ó eliminar el aporte de contaminación de la Sierra Minera y su área de influencia
Maria Cortes Navarro Hervás. 2004 Universidad de Murcia	Cabezo Rajao, metales pesados, movilidad, biodisponibilidad, contaminación	Movilidad y Biodisponibilidad de Metales Pesados en el emplazamiento minero Cabezo Rajao (Murcia)	Los resultados del estudio de movilidad y biodisponibilidad de metales pesados del Cabezo Rajao concluyen que estos materiales pueden provocar contaminación por metales pesados en suelos y aguas y según el grado y extensión de contaminación esta será: primaria, secundaria y terciaria. Los procesos más influyentes en la movilización y dispersión actual de metales pesados son la oxidación, reducción, disolución y evaporación. También se concluye que la biodisponibilidad de los metales está condicionada por factores como pH y mineralogía y el proceso de atenuación natural de la contaminación está condicionado por la presencia de arcillas, oxihidróxidos de hierro y manganeso, cloruros, hidróxidos y carbonatos
Héctor Miguel Conesa Alcaráz. 2005 Universidad Politécnica de Cartagena	Residuos mineros, plantas, metales pesados, enmendantes, restauración, estabilización	Restauración estabilización de suelos contaminados por metales pesados como consecuencia de actividades mineras en la zona de Cartagena y La Unión	Se evaluaron los riesgos medioambientales de los residuos mineros presentes en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión (Sureste de la Península Ibérica), centrándose en los pantanos de estériles (residuos de los procesos de beneficio de mineral). Se estudiaron medidas restauradoras de los mismos basadas en el establecimiento de plantas y la adición de enmiendas alcalinas combinadas con labores mecánicas de consolidación del terrero como medidas para neutralizar la acidez presente en los residuos de la zona de estudio, y favorecer así el crecimiento de las plantas y reducir la incidencia de la erosión
Francisco José Jiménez Cárceles. 2006	Humedal Marína del Carmolí, residuos mineros, impactos, vegetación, bioindicadores.	Papel de los suelos de los humedales del entorno del Mar Menor en la reducción de impactos ambientales causados por aguas eutrofizadas y residuos mineros caso de la Marína del	Se estudia el agua y el suelo del humedal costero el saladar de la Marína del Carmolí, a orilla de la laguna del Mar Menor. Se estudian los importantes impactos presentes en la laguna como consecuencia de la presencia de residuos mineros procedentes

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
Universidad Politécnica de Cartagena		Carmolí	de las actividades extractivas que se desarrollaron en la cercana Sierra de La Unión-Cartagena. Se estudiaron los cambios producidos en la distribución de la vegetación del saladar y la relación con los impactos que recibe el humedal. Se utilizan las plantas como bioindicadores de los impactos
Lázaro Marín Guirao. 2007 Universidad de Murcia	Ecotoxicología, metales, Mar Menor, plantas vasculares, isótopos estables	Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor	Se estudia la entrada y toxicidad de los metales pesados que se produce al Mar Menor desde la Sierra Minera. Se concluye, que se produce entrada de residuos mineros, durante los episodios de lluvia, a través de las Ramblas que tributan al Mar Menor como son El Beal y Ponce. Como consecuencia, las aguas de la laguna, se vuelven tóxicas, especialmente en las zonas próximas a las desembocaduras. Los sedimentos del Mar Menor también presentan contaminación por metales pesados. La acumulación de metales que presenta <i>Cymodocea nodosa</i> pone de manifiesto la biodisponibilidad de los metales para las plantas vasculares. Las comunidades de invertebrados bentónicos presentaron cierto nivel de perturbación. Se realizaron análisis de isótopos estables (C y N) para estudiar los poblamientos de invertebrados y peces del Mar Menor
Virginia Maria Robles Arenas. 2007 Universidad Politécnica de Cataluña	Hidrogeología, aguas, Sierra Minera, lixiviado, impacto, minería	Caracterización hidrogeológica de la Sierra de Cartagena-La Unión (SE de la Península Ibérica). Impacto de la minería abandonada sobre el medio hídrico	Se han utilizado test de lixiviación para evaluar el riesgo ambiental ligado a la generación de lixiviado de las acumulaciones de residuos. Los resultados muestran que el pH influye aumentado la movilidad de los metales. Se concluye que el impacto generado, en zonas próximas como es el Mar Menor, se debe tanto al vertido directo a las Ramblas (prohibido 1956) como a la erosión que se produce en las zonas desprotegidas de las acumulaciones de residuos minero-metalúrgicos
Andrea Zanuzzi. 2007 Universidad Politécnica de Cartagena.	Residuos mineros, estabilización, metales pesados, aplicación residuos, toxicidad, movilidad.	Reducción de impactos ambientales asociados a suelos contaminados por metales pesados mediante el uso de residuos antropogénicos	Se estudió y evaluó la reducción de los impactos ambientales asociados a la contaminación de suelos por metales pesados consecuencia de la actividad mineral llevada a cabo en la Sierra de Cartagena-La Unión. Para llevar a cabo la consecución de los objetivos se estudió la aplicación de diversos residuos -purín de cerdo, lodo de depuradora y lodo de corte de mármol- en parcelas experimentales. Los resultados muestran que disminuye la movilización y toxicidad de metales pesados en las zonas contaminadas. Se concluye que la mejora de las condiciones de los suelos de la zona de estudio favorece el establecimiento de plantas, lo que permitirá la estabilización y disminución de procesos erosivos que aportan una considerable cantidad de metales pesados a los cursos de agua y suelos próximos, afectando también a la biota y poblaciones cercanas.

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
Pedro José Tovar Frutos. 2008 Universidad de Murcia	Métodos Isotópicos, Ramblas, sistema Campo de Cartagena-Mar Menor	Metodología de diagnóstico físico-químico e isotópico de aguas superficiales y sus fuentes contaminantes	El estudio es un conjunto integrador de analíticas clásicas en la metodología para la caracterización de aguas y vertidos, y de métodos isotópicos, que permiten diferenciar la procedencia de cada analito y la influencia de los distintos sectores y materiales en la composición del agua mediante la comparación de las distintas relaciones isotópicas. Se establece un diagnóstico acerca de la procedencia de aguas superficiales del sistema Campo de Cartagena-Mar Menor en función de la caracterización físico-química e isotópica de las estaciones de muestreo. Se identifica la entrada de aguas a través de las Ramblas, procedente principalmente de lixiviación minera, precipitaciones y canales de drenaje agrícola
Sánchez i Bassols, Marta. 2008 Universidad de Girona	Mar Menor, metales, residuos mineros	Estudi de la mobilitat i biodisponibilitat de pollutants en la zona minera del Campo de Cartagena.	Se analizó las distintas formas en las que los metales estaban unidos al sedimento en la zona sur de la laguna. Los resultados ponen de manifiesto que el Pb y Zn se encontraron asociados con la fracción de óxidos de hierro y manganeso, mientras que el Cd estaba asociado a la fracción más móvil y disponible. Otros elementos como Cu, Ni y As no son considerados móviles, al estar enlazados en la estructura mineral del sedimento. Las concentraciones de metales más altas, de los sedimentos procedentes de la desembocadura de las ramblas que tributan al Mar Menor, con respecto al resto de sedimentos de la laguna ponen de manifiesto el aporte de residuos, procedente de la minería, que se está produciendo
Antonio Maria Cervantes. 2009 Universidad Politécnica de Cartagena	Riesgos, metales, plantas, moluscos, Mar Menor	Aproximación a los riesgos derivados de la presencia de residuos mineros en saladares del entorno del mar menor: dinámica de metales pesados y arsénico y su acumulación en plantas y moluscos	Tras el trabajo realizado se concluye que existen riesgos de toxicidad y de transferencia de metales pesados y As a la cadena trófica en los saladares de la Marina del Carmolí y Lo Poyo, y en el entorno lagunar asociado. Recomienda eliminar las fuentes de contaminantes desde su origen en cualquier proyecto de que se realice en la zona para eliminar la presencia de contaminación. Además se proponen medidas como retirar los estériles presentes en las ramblas y minimizar la erosión de los pantanos, por ejemplo mediante su soterramiento
Maria Luz García Lorenzo. 2009 Universidad de Murcia	Elementos traza, contaminación, minería, bioensayos, test ecotoxicidad	Evaluación de la contaminación por vía hídrica de elementos traza en áreas con influencia de actividades minero-metalúrgicas. Aplicación a la Sierra Minera de Cartagena-La Unión (Murcia)	Se identifican los contaminantes, vías y zonas de dispersión de elementos traza. Entre las conclusiones a destacar; en la Sierra Minera las balsas de estériles de lodos de flotación se han detectado como los focos de contaminación más importantes, así como las vías de dispersión superficial (ramblas, ramblizos y a través de laderas). El Mar Menor es una zona de recepción de estos materiales y éstos pueden actuar posteriormente como focos. Los procesos más importantes en la movilización y dispersión de elementos traza son la

AUTOR(s) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			oxidación-reducción, disolución, hidratación, evaporación y neutralización. Se dan 3 tipos de contaminación: primaria, secundaria y terciaria. Se recomienda utilizar una batería de test en lugar de un único bioensayo para caracterizar los focos y los procesos de atenuación natural de la contaminación
Salvadora Martínez López. 2010 Universidad de Murcia	Arsénico, suelos, minería, transferencia, biodisponibilidad, plantas, riesgo	El Arsénico en suelos con influencia minera en ambientes semiáridos	Se estudia el comportamiento biogeoquímico del Arsénico y la dinámica de sus procesos de contaminación en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión y su área de influencia. Los resultados obtenidos concluyen que aparecen concentraciones altas de As en la desembocadura de las ramblas que tributan al Mar Menor. Cuando los materiales particulados situados en las proximidades de las balsas y ramblas, entran en contacto con las aguas del drenaje ácido de mina reaccionan y se produce la liberación de As. Los suelos encharcados en condiciones reducidas y la adición de materia orgánica fresca o poco evolucionada pueda dar lugar a la liberación de As. Cuando mayor es el contenido de carbonatos del suelo y pH menor es la disponibilidad de As de las especies vegetales estudiadas
José Manuel Veiga Del Baño. 2011 Universidad de Murcia	Cámara climática, filler calizo, suelo, metales, Raman	Análisis, reactividad y optimización de fillers calizos como enmendante en suelos contaminados pero metales pesados	Se utiliza una cámara climática, de temperatura y humedad controladas, para caracterizar suelos contaminados por actividades mineras y enmendados con filler calizo. Además se utiliza la espectroscopia Raman como herramienta complementaria para el estudio cualitativo. Se concluye que la utilización de filler calizo como enmendante en los procesos de estabilización in situ, es muy recomendable. Los resultados obtenidos muestran que en los procesos de sorción, los metales analizados (As, Cu, Zn, Cd y Pb) son retirados de la disolución, en un porcentaje global superior al 95%
Oscar González Fernández. 2011 Universidad Autónoma de Barcelona	Metales, Rayos X, minería, Rambla Beal, plantas	Impacto en áreas de minería metálicas: Aplicación de metodologías analíticas no destructivas al análisis geoquímico	Se realiza un estudio de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión desde un punto de vista medioambiental. Se estudió la Cuenca de la Rambla del Beal, determinando la transferencia de contaminantes metálicos a los suelos y vegetación, el impacto generado por la removilización de sedimentos Marinos, así como el papel que juegan los microorganismos. Entre las conclusiones destaca la recomendación de determinadas especies vegetales para los trabajos de restauración de la zona minera, así como la idoneidad de las técnicas no invasoras de fluorescencia de Rayos X es el estudio de metales de espacios mineros
Maria Nazaert González Alcaráz. 2012	Suelo, planta, agua, fitorremediación, humedales, metales, residuos mineros	Dynamics of nitrogen, phosphorus and metals in eutrophic wetlands affected by mine wastes. Effects of liming on plant growth and metals mobility	Se estudian las condiciones que afectan a la movilidad de los metales pesados en el sistema suelo-agua-planta de los humedales contaminados por residuos mineros, concretamente Marfina del Carmolí y Lo Poyo. Se concluye que para los proyectos de

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
Universidad Politécnica de Cartagena			gestión de estos espacios mediante el uso de plantas es muy importante tener en cuenta las características particulares del sistema suelo-planta-agua, el sistema hídrico y régimen de inundaciones, así como el tipo de contaminante (nitrógeno, fosforo y metales)
Dora María Carmona Garcés. 2012 Universidad Politécnica de Cartagena	Eflorescencias, lixiviación, estabilización, material alcalino, acidez	Recuperación de suelos acidificados y contaminados por minería metálica: ensayos en columna	Se aborda el estudio del contenido en metales y se identifican las zonas donde se dan los mayores riesgos de transporte y movilidad de los metales. Se identifican zonas con condiciones oxidantes y muy ácidas donde se puede dar la mayor movilización de metales. Se concluye que la Rambla de las Matildes (El Descargador) aporta una gran cantidad de contaminantes y sedimentos a humedales que concluyen al Mar Menor. Se recomienda la utilización de materiales alcalinos para llevar a cabo una estabilización química que permita la recuperación de los suelos degradados por la minería
Horacio Rafael Cortez Condori. 2012 Universidad Complutense de Madrid	Metales, microorganismos, residuos minero metalúrgicos, Distrito Minero Cartagena-La Unión.	Atenuación natural de la contaminación por metales pesados producida por un residuo minero sulfurado	Se estudió la interacción metal-suelo-microorganismo a través de la evaluación de los procesos naturales de atenuación de la contaminación, por metales pesados, de suelos afectados por residuos de la industria minero-metalúrgica como los del distrito Minero de Cartagena-La Unión. Los resultados mostraron la presencia de pirita como principal componente sulfurado. Partiendo de aquí, el estudio de las interacciones del sistema metal -suelo-microorganismos se planteó con el uso de microorganismos con capacidad Fe- y S-oxidante crecidos a partir del propio suelo contaminado
Sebla Kabas. 2013 Universidad Politécnica de Cartagena	Contaminación, metales, SIG, fitorremediación, planificación paisajística	Integration of landscape reclamation, planning and design in a post-mining district: Cartagena-La Unión, (SE SPAIN)	Se estudiaron dos balsas de estériles mineros; el Lirio (pH= 5.4) y el Gorguel (pH=7.4). Los resultados muestran alta contaminación por Cd, Pb y Zn, así como alto riesgo de movilización de metales. En el trabajo se utiliza un enfoque basado en SIG para identificar las zonas de mayor riesgo que deben ser prioritarias para la recuperación. Los resultados de las aplicaciones de residuos de mármol + lechada de cerdo, ponen de manifiesto la efectividad en el crecimiento de la vegetación nativa, así como la mejora de las condiciones del suelo. Tras el estudio de la vegetación que crece de forma natural en la zona, <i>Piptatherum miliaceum</i> (L.) Cosson presenta buenas características para ser utilizada como fitoestabilizadora y <i>Zygophyllum fabago</i> L. en los programas de fitorremediación. El trabajo presenta una planificación paisajística conceptual que aborda todo el conjunto del Distrito Minero
Tania Pardo.	Enmienda orgánica, A. <i>halimus</i> , compost, alperujo, purín cerdo,	Recuperación de suelos contaminados por elementos traza mediante fitotecnologías de estabilización	En este trabajo se estudió el efecto de la aplicación de técnicas de fitoestabilización basadas en el uso de enmiendas orgánicas y plantas autóctonas, sobre las propiedades que

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
2013 Universidad de Salamanca	minería		determinan la salud de los suelos mineros contaminados por elementos traza. Los resultados ponen de manifiesto que la utilización tanto de compost de alperujo como de purín de cerdo, y especialmente en combinación con <i>A. halimus</i> , puede ser una estrategia eficaz para la recuperación de la salud de los suelos pobres con elevados niveles de elementos traza propios de la Sierra Minera de La Unión. La fitotecnología que se ha investigado puede ser aplicable a gran escala
Eva González Ciudad. 2014 Universidad de Murcia	Riesgos, salud, Tecnosoles, minería	Evaluación en Nave Cerrada de los Riesgos para la Salud en Tecnosoles Procedentes de Residuos de Minería Polimetálica	Se identifican los peligros asociados a los materiales representativos de la Bahía de Portman, en relación con las características físico-químicas y mineralógicas, así como la evaluación de riesgos por vía ingesta, inhalación y dérmica. En el trabajo se despejan las incertidumbres para el diseño de Tecnosoles para la recuperación de espacios mineros polimetálicos contaminados para uso residencial. Se concluye que el carbonato cálcico es un enmendante efectivo en los procesos de inmovilización de EPTs, Los suelos con una composición mineralógica rica en natrojarosita y copiapita, junto con una fracción granulométrica fina, pH ácidos y alta concentración de As biodisponible, presenta un riesgo cancerígeno global alto
Víctor Pérez Espinosa. 2014 Universidad de Murcia	Filler calizo, columnas, Tecnosoles, Barreras, ETPs, inmovilización	Inmovilización de Elementos Potencialmente Tóxicos en Zonas Mineras Abandonadas mediante la Construcción de Tecnosoles y Barreras Reactivas Permeables	Se evalúa la inmovilización de elementos potencialmente tóxicos en zonas mineras abandonadas y recuperadas mediante tecnologías de descontaminación, estabilización in situ, a partir de sus lixiviados de flujo vertical y lateral. Se concluye que el filler tiene efecto estabilizante en los suelos, disminuyendo la alteración de los materiales, y por tanto la movilización, además, su granulometría fina influye en el aumento de la velocidad de estabilización. Se obtienen % de retención cercanos al 99% de EPTs en los ensayos realizados en columnas. Tras la experiencia realizada, estudiando la variabilidad temporal de los lixiviados, los Tecnosoles con filler calizo, con el paso del tiempo, son estables
Jorge Marimón Santos. 2015 Universidad de Murcia	Valorización, residuos mineros, lodos mármol, microtox, bioensayos	Valorización de residuos industriales en el desarrollo de técnicas de tratamiento innovadora en suelos contaminados de la Región de Murcia	Se desarrolla una técnica de recuperación de suelos contaminados por actividades mineras mediante valorización de residuos de lodos de corte de mármol y con inmovilización in situ. Se concluye que las propiedades que presentan los lodos de mármol: elevado contenido en carbonato cálcico, pH elevado, granulometría muy fina, se obtengan unos resultados excelentes de inmovilización de EPTs. Los resultados obtenidos con bioensayos realizados con el método Microtox, ponen de manifiesto, que los residuos ricos en carbonato cálcico son viables para producir compuestos estables con los metales y reducir el riesgo para el

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			ecosistema biótico
Rubén Moreno González. 2015 Universidad de Murcia	Microcontaminantes, orgánicos, emergentes, Mar Menor	Fuentes y distribución de microcontaminantes orgánicos regulados y emergentes en la laguna costera del Mar Menor	Las actividades mineras realizadas a cielo abierto han dado lugar a pozos, balsas y pantanos mineros que, aún tras el cese de actividad en la zona, siguen vertiendo residuos a las ramblas, principalmente a la rambla de El Beal y Rambla de Ponce. Esto es debido a que la mayor parte de ellos no se han restaurado y por la acción del viento y las lluvias torrenciales continúan erosionándose, transportando y depositando los residuos mineros en el Mar Menor
Alfonso Parra Torres. 2015 Universidad Politécnica de Cartagena	Depósito minero, movilidad de metales, enmiendas, fitoestabilización, modelo de ayuda a la toma de decisión.	Metodología para la valorización paisajista y rehabilitación ambiental de zonas mineras mediante el uso de modelos de ayuda a la toma de decisión	Se aborda una estrategia de recuperación de depósitos mineros con fines ambientales y culturales. Se concluye que las plantas <i>O. lanceolata</i> y <i>C. humilis</i> son adecuadas para proyectos de fitoestabilización de zonas mineras, dado que acumulan metales en sus raíces pero no los transfieren a su parte aérea por otro lado, se concluye que el tratamiento del suelo contaminado con carbonato de calcio y estiércol de cerdo reduce las fracciones intercambiables y extraíbles de los metales pesados del suelo. Finalmente se da al depósito minero un uso recreativo y educativo
Isabel María Párraga Aguado. 2015 Universidad Politécnica de Cartagena	Ecofisiológicos, colonización, fitomanejo, fitoestabilización, metales, balsas	The importance of edaphic niches and spontaneous vegetation for the phytomanagement of mine tailings under semiarid climate	Se estudian los factores edáficos y ecofisiológicos relacionados con la colonización espontánea de las balsas mineras, con el fin de proponer recomendaciones para el fitomanejo. Entre las conclusiones del trabajo destacan: en los trabajos de fitoestabilización de balsas mineras se deben de identificar los nichos favorables o apropiados para el crecimiento de la vegetación y tener en cuenta el uso de combinaciones de especies, con diferentes estrategias de vida para favorecer la creación de una comunidad estable y resistente. Especies adaptadas a las condiciones de clima semiárido como <i>P. halepensis</i> es recomendable para llevar a cabo la fitoestabilización de balsas mineras
Luis Alberto Alcolea Rubio. 2015 Universidad Politécnica de Cartagena	Geodisponibilidad, erosión eólica, metales, Mar Menor	Geoavailability of Ni, Cu, Zn, As, Cd, and Pb in the Sierra de Cartagena – La Unión (SE Spain)	Se estudia la geodisponibilidad de los metales traza en la Sierra Minera y se concluye que está regulada por la meteorización fisicoquímica de los residuos minero-metalúrgicos, así como por la oxidación de los sulfuros metálicos asociados a los yacimientos de Pb-Zn. También se concluye que el balance de masas de metales traza geodisponibles en el Mar Menor reveló que la erosión eólica transfirió el 81 % de la entrada total de metales provenientes de la Sierra Minera, las aguas subterráneas un 16% y un 3% la escorrentía superficial
Inés Aguado Juan. 2015	Arsénico, especies vegetales de consumo, Tecnosoles, residuos mineros, filler calizo	Transferencia de elementos traza potencialmente tóxicos en cultivos desarrollados en suelos con influencia minera	Se realiza un estudio experimental en invernadero para modelizar los procesos que pueden tener lugar en suelos restaurados de origen minero. El estudio se desarrolla con

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
Universidad de Murcia			diferentes especies vegetales de consumo, lechuga “Baby”, puerro, cebolla, brócoli, alfalfa, lechuga “Iceberg” y acelga. Se utiliza suelo natural y Tecnosoles (con diferente proporción de suelo minero y otros materiales como tierra vegetal, residuos de la construcción, filler calizo). Se concluye que son precisos estudios de la contaminación para el uso agrícola del suelo influenciado por la contaminación minera para disminuir el nivel de exposición de As en la dieta. Se asemeja el efecto de los Tecnosoles, con filler calizo y RCDs, a la atenuación natural de la contaminación que existe en los emplazamientos mineros cuando existen suelos con carbonato cálcico y arcilla
Ana Muñoz Vera. 2016 Universidad Politécnica de Cartagena	Minería, Mar Menor, Ramblas, metales pesados, bioconcentración, medusas	Impactos de los residuos de la minería metálica sobre el ecosistema Marino del Mar Menor	Se pone de manifiesto la entrada de residuos mineros, que se produce a la laguna del Mar Menor a través de las ramblas tras los episodios de lluvias torrenciales. Se concluye que la dinámica sedimentaria ha influido en el tamaño de partícula de las diferentes áreas de la laguna, así como en la distribución de minerales, elementos y materia orgánica. Se utilizan 2 especies de medusas para determinar la biodisponibilidad de elementos traza en el Mar Menor y se obtienen niveles de bioconcentración de metales como Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sn y Pb extremadamente altos
María Guadalupe Rosique López. 2016 Universidad Politécnica de Cartagena	Desechos mineros, riesgos, problemas ambientales, marco normativo, contaminación	Gestión de los residuos y suelos contaminados provenientes de la minería metálica: aspectos técnicos, problemas ambientales y marco normativo	Se aborda la problemática que presentan los desechos mineros, poniendo de manifiesto los riesgos que representan para los ecosistemas y los seres humanos y la forma en que pueden ser mitigados a través de la correcta gestión mediante planes o programas de remediación. A modo de conclusión se expone que en el marco normativo relativo a los suelos y residuos de la minería metálica, es necesario la asunción de los principios y metodologías científico-técnicas, así como de aspectos fundamentales como los de la toxicidad, biodisponibilidad, procesos y dinámicas de dispersión de los contaminantes, estabilidad de los depósitos de residuos, riesgos por contacto directo y efectividad de las labores de restauración y/o sellado de estos depósitos
Fabián Moreno Barriga 2017. Universidad Politécnica de Cartagena.	Fitoestabilización, biochar, mármol, tecnoles, residuos mineros, contaminación, secuestro carbono	Formación de suelos en depósitos de residuos mineros mediante la aplicación de biocarbón y fitoestabilización factores reguladores del secuestro de carbono y de la formación de agregados estables	Se estudió y evaluó la efectividad de la aplicación de residuos de biochar y mármol, de forma independiente y en combinación con el desarrollo de la vegetación, para rehabilitar los depósitos de la mina de residuos contaminados, evaluando su efecto en la formación de agregados (estructurados formación de suelo) y retención de carbono estable con tecnologías de nueva creación. Se aporta conocimiento al uso de la fitoestabilización asistida con biochar para la formación de tecnosoles a partir de los residuos mineros, minimizando los riesgos

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			ambientales y contribuyendo al secuestro de carbono
Elena Arco Lázaro. 2017 Universidad de Murcia	Enmienda, orgánica, inorgánica, elementos traza, compost	Implicación de Enmiendas Orgánicas e Inorgánicas en la Adsorción y Biodisponibilidad de Elementos Traza en Suelos	Se estudia los efectos de la utilización de enmiendas orgánicas e inorgánicas en la inmovilización de elementos traza de suelos contaminados de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Algunas de las conclusiones obtenidas son que las enmiendas orgánicas en suelos contaminados por actividades mineras favorece el crecimiento de especies vegetales, además disminuye la toxicidad en las plantas (inmovilización de elementos traza en suelo). Se pone de manifiesto que un compost procedente de purín de cerdo es más eficiente que un fertilizante húmico en la disminución de la contaminación por elementos traza del suelo
Ana Vanessa Caparrós Ríos. 2017 Universidad Politécnica de Cartagena	Saturación, presas de relaves, reológico, licuefacción	Rheology of Pb-Zn post-flotation wastes in the Sierra de Cartagena – La Unión (SE Spain)	Se estudia la influencia significativa que tiene el grado de saturación sobre la estabilidad geotécnica de las presas de relaves. Se explica el patrón reológico de las suspensiones preparadas a partir de los materiales procedentes de las presas de relaves de Pb-Zn que sufrieron licuefacción estática y deslizamiento (<i>El Descargador, Peña del Águila</i>) o procesos de licuefacción menores (<i>La Peraleja</i>) en la Sierra de Cartagena – La Unión (SE de España)
David Sánchez Bisquert. 2017 Universidad Politécnica de Cartagena	Polvo atmosférico, transporte, contaminación, salud ambiental, movilización	Caracterización y dispersión del material aerotransportado en el entorno de la antigua zona de minería metálica de Cartagena-La Unión: Impactos y riesgos	Se determina la presencia o ausencia de material procedente de los suelos y residuos minero-metalúrgicos, en el polvo atmosférico depositado y aerotransportado en la comarca del Mar Menor-Campo de Cartagena, así como su posible influencia sobre la salud ambiental de la zona. Se concluye que se produce una movilización de elementos traza de los suelos afectados por la minería desde la Sierra Minera hacia zona periféricas mediante transporte eólico horizontal a baja altura
María Gabarrón Sánchez. 2017 Universidad Politécnica de Cartagena	Propiedades fisicoquímicas, usos, salud, ecosistemas, polvo, suelo, metales	Environmental and health risk assessment of metal pollution in different land uses	Se pone de manifiesto que condiciones como el origen del metal, el uso del suelo y sus propiedades fisicoquímicas condicionan el impacto generado por los metales sobre la salud y los ecosistemas. Se han estudiado varios escenarios, siendo uno de ellos el minero. Se concluye que tanto el suelo como el polvo de los dos núcleos de población, de las dos zonas mineras de la Región de Murcia, están enriquecidos en metales que provienen de la erosión de los residuos mineros con el consiguiente riesgo para la salud humana. El enriquecimiento de metales también fue encontrado en suelos agrícolas y naturales
Carmen Hernández Pérez.	AMD, humedales, elementos potencialmente peligrosos, minería,	Trazabilidad de elementos potencialmente peligrosos en humedales con influencia minera	Se aborda la problemática de los drenajes de aguas ácidas, que se producen en las inmediaciones de la Bahía de Portmán, intentado dar una solución viable y

AUTOR(s) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
2017 Universidad de Murcia	metales		coeficiente a través del estudio de movilización de metales en plantas acuáticas utilizadas en fitorremediación de humedales artificiales. Entre las conclusiones obtenidas a destacar esta el comportamiento de los Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs) en las rizosferas va a estar condicionado por la proporción y tipo de arena así como proporción de material calizo presente. El empleo de microscopia electrónica de barrido es muy útil para estudiar la situación e interacciones de los EPTs en la planta
AUTOR(s) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
ARTÍCULOS (REVISTAS CIENTÍFICAS)			
Auernheimer, C., et al., 1996	Lead pollution, Bivalve Shells, Mediterranean Sea, Spain	Lead pollution in bivalve shells: Mar Menor, Spain. doi.org/10.5169/seals-74041	Se estudia el plomo contenido en las conchas de bivalvos de la laguna del Mar Menor. La zona sur de la laguna presenta alta concentración de Pb. Los resultados muestran que las conchas de <i>Cerastoderma edule</i> y <i>Veneris aurea</i> contienen alta concentración de Pb (influencia Rambla del Beal) y superiores a los contenidos a las muestras de las mismas especies de la zona norte (Lo Pagan) y a las muestras control (Pinet y Santa Pola). El exoesqueleto calcáreo de estos organismos es un buen indicador de la presencia de elementos en el agua.
Marín Guirao et al, 2005 a	Metals, Toxicity, Bioaccumulation, Amphipods, Sea urchins, Seagrass, Coastal lagoon, Mediterranean Sea.	Assessment of sediment metal contamination in the Mar Menor coastal lagoon (SE Spain): Metal distribution, toxicity, bioaccumulation and benthic community structure. Ciencias Marinas (2005), 31(2): 413–428	Se estudia la biodisponibilidad de los metales pesados de los sedimentos del Mar Menor, procedentes, de la actividad minera desarrollada en las montañas situadas en su orilla sur. Para la determinación se realizan bioensayos de toxicidad, empleando tres especies de erizos Marinos y dos especies de anfípodos, y por medio de medidas de bioacumulación en la fanerógama Marina <i>Cymodocea nodosa</i> . Los resultados muestran que los metales pesados se encuentran en los sedimentos, en concentraciones importantes, y los encontrados en los tejidos fanerógama Marina pone de manifiesto la biodisponibilidad de los mismos
Marín Guirao et al, 2005 b	Coastal lagoon, <i>Cymodocea nodosa</i> , Heavy metals, Bioconcentration factor, Bioavailability, Biofilm	Effects of mining wastes on a seagrass ecosystem: metal accumulation and bioavailability, seagrass dynamics and associated community structure. Marine Environmental Research 60 (2005) 317–337	Se realizó un estudio comparativo entre 2 especies de <i>Cymodocea nodosa</i> que crece sobre sedimentos contaminados por actividades mineras (desembocadura de la Rambla del Beal y de Ponce), y 2 de referencia que crecen en el Mar Menor, alejadas de la zona de las desembocaduras de las ramblas. Se estudió la acumulación de Zn, Pb y Cd en diferentes partes de la planta, así como los parámetros de los sedimentos que regulan la disponibilidad de metales, la estructura de los fondos Marinos, así como las comunidades de macroinvertebrados asociados. Los resultados muestra que <i>Cymodocea nodosa</i> acumula metales de los sedimentos y refleja sus biodisponibilidad

AUTOR(s) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			para esta pradera Marína. La mayor concentración de metales aparece en la biopelícula de la hoja debido a la formación de complejos entre los metales y las sustancias poliméricas extracelulares que forman el biofilm. Se concluye que la pradera Marína de <i>Cymodocea nodosa</i> como la biopelícula en las hojas de la planta pueden usarse como herramientas ambientales en la laguna del Mar Menor. El primero es un indicador útil para la contaminación del sedimento, mientras que este último parece ser un buen centinela de la calidad del agua
Conesa, H.M., et al., 2006	Mine tailings, Heavy metals, Phytostabilization, Semiarid climate	Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena-La Unión mining district (SE Spain). Science of the Total Environment 366 (2006) 1-11	Se estudió las características edáficas del suelo, así como la concentración de metales (Cu, Pb y Zn) en plantas que crecen, de forma natural, en suelos afectados por la actividad minera abandonada. Los resultados muestran que no se encontraron especies hiperacumuladoras. Las concentraciones más altas se encontraron en <i>Zygophyllum fabago</i> (530 mg/kg zinc), <i>Helichrysum decumbens</i> (390 mg/kg plomo), y <i>Tamarix sp.</i> (11 mg/kg cobre). El análisis del suelo donde crece <i>Lygeum spartum</i> , resultado de pH=3 y se obtuvo una baja concentración de metales en sus hojas (40 mg/kg zinc y 41 mg/kg plomo)
Navarro, M.C., et al., 2006	Cadmium, Lead, Arsenic, Bioavailability, Abandoned mining sites	Lead, cadmium and arsenic bioavailability in the abandoned mine site of Cabezo Rajao (Murcia, SE Spain). Chemosphere 63 (2006) 484-489	Se estudió la aplicación de un método in vitro, sobre las muestra del antiguo distrito minero del Cabezo Rajao. Este método simula las condiciones fisiológicas del proceso digestivo y proporciona información sobre los niveles de metales (Cd, Pb y As) que se pueden ingerir y ser asimilados por los humanos. Además del contenido en metales pesados, también se determina pH, textura y composición mineralógica. Los resultados muestran que los valores de pH varían de 3.1 a 8.4 con un valor medio de 5.4. El contenido medio en metales (mg kg ⁻¹) fue 2632 para Pb, 1.65 Cd y 279.9 As mg kg ⁻¹ . Cd fue el metal con mayor biodisponibilidad tanto en la fase estomacal como en la intestinal, seguido de Pb y As. Se concluye que la matriz de correlación de Pearson sugirió que el pH y la composición mineralógica son factores importantes que controlan la biodisponibilidad de los metales de los materiales de sitios abandonados de minería
García, G., et al., 2007	Zinc pollution, Leaching, Mobility, Groundwater, Risk	Leaching and transport of Zn through soil profiles in a seasonal river of a mining area in SE Spain. Global NEST Journal, Vol 9, No 3, pp 214-223	Se estudia el comportamiento de los metales en suelos y sedimentos del cauce de la Rambla del Beal. Los resultados muestran que los cambios en las condiciones ambientales pueden movilizar grandes cantidades de zn, principalmente los procesos de reducción-oxidación. La laguna del Mar Menor es una cuenca que está sufriendo procesos de regresión debido a que una gran parte de los sedimentos Marínos están cubiertos por sedimentos continentales, principalmente de origen

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			minero
Marín Guirao, L., et al., 2007	Coastal lagoon, Heavy metals, Mining waste, Stormwater runoff, Water toxicity	Pulse-discharges of mining wastes into a coastal lagoon: Water chemistry and toxicity. Chemistry and Ecology Vol. 23, No. 3, June 2007, 217–231	Se estudia la entrada de residuos mineros, que se produce al Mar Menor, a través de dos Ramblas: Beal y Ponce, tras dos episodios de lluvias torrenciales y durante un periodo seco. Los resultados muestran que las escorrentías se caracterizan por la generación de drenajes ácidos de mina, además están cargadas de partículas y metales disueltos que causan toxicidad en las aguas de la laguna. Los metales disueltos aparecen principalmente en las zonas cercanas a las desembocaduras de las Ramblas y se eliminan rápidamente de la columna de agua, mientras que los materiales particulados son transportados más lejos y afectan a un área mayor. Se resalta la importancia que supone la eliminación de las entradas de residuos mineros al Mar Menor, a través de estrategias de remediación que deben de ser desarrolladas por las autoridad competentes
Conesa, H.M. & Jiménez Cárceles, F.J., 2007	Coastal lagoon, Nutrients, Metals, Agriculture, Mining, Urban growing	The Mar Menor lagoon (SE Spain): A singular natural ecosystem threatened by human activities. Review. Marine Pollution Bulletin 54 (2007) 839–849	Se realiza una revisión bibliográfica de los estudios realizados por los investigadores, durante más de dos décadas, de los impactos de las actividades humanas sobre la laguna, así como de los trabajos de los niveles de contaminación y los efectos generados. Con respecto a los impactos provocados, por la entrada de metales pesados, procedentes de las actividades históricas mineras, se concluye que es necesaria la estabilización de las zonas de residuos mineros localizados en las cabeceras de las ramblas para minimizar la entrada de sedimentos contaminados por metales pesados al Mar Menor. Además, se recomienda que son necesarias las acciones de limpieza y eliminación de los lechos de las ramblas
Romero Díaz, A. & García Fernández, G., 2007	Metales pesados, Erosión eólica, Hídrica, Ramblas, Zona minera	Contaminación por erosión eólica e hídrica de las áreas limítrofes a la antigua zona minera de la Unión-Cartagena. Revista Murciana de Antropología, N° 14, 2007 Págs. 77-96	Se determina la cantidad de metales pesados que son transportados por el viento (erosión eólica) o por las aguas de escorrentía (erosión hídrica), mediante el uso de colectores que evalúan la cantidad de material movilizado. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la movilidad que se produce, de los sedimentos localizados en las balsas de lodos por el viento, y los metales pesados asociados a ellos. Se hace necesario conocer las fuentes de contaminación y áreas de afección para proponer soluciones que minimicen los efectos. Según los casos, algunas propuestas para eliminar los efectos adversos son la revegetación, el cubrir las áreas fuente, su inmovilización o eliminación
Conesa, H.M., et al., 2007a	<i>Lygeum spartum</i> , Acid soil, Mine tailings, Heavy metals, Phytostabilization	Growth of <i>Lygeum spartum</i> in acid mine tailings: response of plants developed from seedlings, rhizomes and at field conditions. Environmental Pollution 145 (2007) 700-707	Se estudia la idoneidad de <i>Lygeum spartum</i> que es una especie nativa de áreas mediterráneas semiáridas que crece espontáneamente en los suelos ácidos de mina, para los programas de fitoestabilización. Los resultados muestran que acumula los metales en grandes

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			concentraciones y que cuando se trata en suelo con enmendante calizo, aumenta el pH del suelo, disminuye la concentración de sales disueltas y resulta una menor acumulación de metales en sus tejidos. Se concluye que <i>Lygeum spartum</i> es un buen candidato para fitoestabilización incluso en suelo sin enmendar
Conesa, H.M., et al., 2007b	Mine tailings, Heavy metals, Metal tolerant plants, Revegetation, Semiarid climate	Dynamics of metal tolerant plant communities' development in mine tailings from the Cartagena-La Unión Mining District (SE Spain) and their interest for further revegetation purposes. Chemosphere 68 (2007) 1180-1185	Se estudió la dinámica de las comunidades vegetales que crecen en los suelos contaminados de la Sierra Minera y determinar si es posible una revegetación natural de los suelos afectados. Los resultados muestran que las especies vegetales presentan diferentes estrategias de colonización de suelos contaminados por metales pesados. Se muestra que la vegetación espontánea, que se adapta a la toxicidad del metal y a la sequía, evita la transmisión al aire y la producida por la erosión eólica de los metales presentes en el suelo y de esta forma mitigar la propagación de la contaminación a las áreas cercanas. Se concluye que las especies estudiadas, especialmente <i>L. spartum</i> , <i>P. miliaceum</i> <i>D. viscosa</i> , <i>H. decumbens</i> , <i>B. fruticulosa</i> , <i>Z. fabago</i> , <i>P. halepensis</i> deben de ser tenidas en cuenta en los programas de revegetación y estabilización de las zonas mineras abandonadas
Ottenhof, C.J.M., et al., 2007	Mine wastes, Reclamation, Trace elements, Soluble salts, Soil organic matter	Soil organic matter from pioneer species and its implications phytostabilization of mined sites in the Sierra de Cartagena (Spain). Chemosphere 69 (2007) 1341-1350	Se estudio la contribución a la acumulación de materia orgánica del suelo por parte de las especies vegetales pioneras de la Sierra de Cartagena. Los resultados muestran que especies pioneras como <i>Lygeum spartum</i> , <i>Sarcocolla ramosissima</i> y <i>Phragmites australis</i> contribuyen al aumento de materia orgánica del suelo (C/N). Se concluye que la presencia de <i>P. australis</i> en varios sitios lo convierte en un buen candidato para ser usado en los programas de recuperación de suelos contaminados con contaminados con hostiles
Conesa H.M., et al., 2007c	Mine tailings, DTPA, Heavy metals, Phytoremediation, Plant uptake	Initial studies for the phytostabilization of a mine tailing from the Cartagena-La Unión Mining District (SE Spain). Chemosphere 66 (2007) 38-44	Se estudiaron dos especies de plantas vegetales, que crecen de forma natural en los suelos contaminados, por las actividades mineras abandonadas; <i>Hyparrhenia hirta</i> y <i>Zygophyllum fabago</i> , así como sus suelos rizosféricos. Se realizó el método DTPA y los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el Zn y el Cu extraíbles con DTPA se correlacionan positivamente con la absorción de la planta. Ambas especies pueden soportar altas concentraciones de metales en sus suelos rizosféricos y no absorben grandes concentraciones de metales a sus tejidos. Son adecuadas para la estabilización de los suelos mineros y además presentan bajo riesgo de entrada de metales a la cadena trófica
Pérez Sirvent, C.,	Cutting marble sludge, Heavy metal, Polluted sediment, Microtox®	Metal-contaminated soil remediation by using sludges of the marble industry: Toxicological evaluation.	Se estudió el efecto, desde un punto de vista ecotoxicológico, de la adición de lodos de corte de mármol, en la fracción móvil de los

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
et al., 2007	bioassay, Remediation	Environment International 33 (2007) 502–504	metales de contenidos en los suelos contaminados de las zonas mineras. El estudio se realizó sobre dos sedimentos derivados de actividades mineras en Bahía de Portman (SE, España) que fueron mezclados con lodos de corte de mármol. Los resultados obtenidos por lixiviación muestran que la adición de lodo de corte de mármol (carbonatos principalmente), a un sedimento contaminado de metales pesados influye en la disminución de las formas disponibles del metal. El contenido de carbonato parece desempeñar un papel en la estabilización química de los metales y en una disminución de toxicidad de los sedimentos
González Fernández, O., et al., 2007	Cartagena, EDXRF, Tri-axial geometry, Metals, Mine tailings, Trace elements	Elemental analysis of mining wastes by Energy dispersive X- Ray Fluorescence (EDXRF). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 262 (2007) 81–86	Se estudió la concentración de (K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr and Pb) en dos zonas de estériles mineros de Cartagena-La Unión (Portman y Marques de Pejer). Se utilizó la técnica de Rayos X (EDXRF). Los resultados obtenidos de Cr, Ni, Cu, Zn y Pb fueron comparados con la legislación del aquel momento: Europea (Directiva 1999/31/CE) y Española (Real Decreto 1481/2001) para determinar el riesgo ambiental de estos residuos y comprobar si pueden ser clasificados como residuos inertes. Los resultados muestran que las concentraciones de Pb y Zn de estos residuos mineros sobrepasan los niveles establecidos por la legislación para ser considerados inertes y pone de manifiesto su potencial peligrosidad. Se concluye que esta técnica de fluorescencia de Rayos X es válida y rápida para el análisis de residuos de las balsas mineras de la zona estudiada de Cartagena-La Unión
Murcia, F. J., et al., 2007	Mining soil, Amendment, Demolition wastes, Soil evolution, Assessment, microbiology	Assessment of mining soil improvement after construction and demolition wastes amendment additions evaluated by microbiological analysis. Global NEST Journal, Vol 9, No 3, pp 224-228, 2007	Se estudió la evolución de los suelos afectados por la actividad minera (El Lirio y La Esperanza), tras la aplicación de residuos con carbonatos, residuos de la construcción y demolición y lodos de depuradora. La evolución se estudió a través de la comunidad microbiana. Los resultados ponen de manifiesto que la adición de enmiendas del suelo a los suelos mineros conduce a cambios en algunas propiedades del suelo y características, tales como pH, nitrógeno total y metales biodisponibles. Estos cambios representan una mejora de las condiciones del suelo que le permita soportar el crecimiento de los microorganismos. Los suelos mostraron, en general, un bajo número de microorganismos, pero cualquiera de las enmiendas aplicadas (en cualquiera de las concentraciones) conducen a un aumento significativo en los conteos de las diferentes comunidades microbianas, lo que puede considerarse como una mejora del suelo causada por estas enmiendas
Marín Guirao, L.,	Stable isotopes, Heavy metals,	Carbon and nitrogen stable isotopes and metal concentration in food webs	Se estudian metales pesados en estaciones de muestreo situadas a diferentes distancias

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
et al., 2008	Biomagnification, Food webs, Coastal lagoon	from a mining-impacted coastal lagoon. Science of the Total Environment 392 (2008) 118-130	de los vertidos de los residuos mineros. Los resultados muestran mayor biodisponibilidad de metales para los organismos, tras la ingesta de sedimentos, en las zonas más cercanas a las descargas mineras (influencia Rambla del Beal). Los límites reglamentarios establecidos en la legislación española sobre productos del mar son superados en la mayoría de las muestras estudiadas. Los resultados muestran que no se produce biomagnificación
González Fernández, O., et al., 2008	Cartagena, Mining, leaching, Metals, XRF.	Metals' leaching from mining sediments to the hydrologic media at the Cartagena-La Unión mining district. Geo-Temas 10, 2008 (ISSN: 1567-5172)	Se analiza el contenido en Cr, Cu, As, Zn y Pb de un sondeo de Sedimentos de la Rambla del Beal usando la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos X. Los resultados muestran concentraciones de metales altas, superando los niveles establecidos por la legislación para ser considerados suelos contaminados para todos los metales estudiados excepto para Cr. La mineralogía es un factor muy importante que controla la lixiviación de los metales
Jiménez Cárcelos, F.J.& Álvarez-Rogel, J., 2008	Soluble phosphorus, Wastewater, Mine wastes, Mar Menor, Salt marsh soils	Phosphorus fractionation and distribution in salt marsh soils affected by mine wastes and eutrophicated water: A case study in SE Spain. Geoderma 144 (2008) 299-309	Se estudió la distribución y destino del fósforo, en los suelos de la Marina del Carmolí, afectada por los desechos mineros y las aguas residuales. Se analizaron las muestras de agua de la Rambla del Miedo y Rambla del Carmolí. El contenido en carbono orgánico y fósforo de la Rambla del Miedo es algo y representa una entrada importante de los mismos al humedal. La Rambla de Miranda presenta concentraciones bajas
Conesa, H.M., et al., 2008	Metal extractability, Metal solubilities, Tailings, Sequential extractions	Metal extractability in acidic and neutral mine tailings from the Cartagena-La Unión Mining District (SE Spain). Applied Geochemistry 23 (2008) 1232-1240	Se utilizó el método de las extracciones secuenciales para estudiar la solubilización de los metales presentes en las balsas mineras del Distrito Minero de Cartagena-La Unión. Se utilizó un residuo minero ácido y otro básico. Los resultados muestran que en los residuos ácidos se extrajo más del 15% con 0.1 M NaNO ₃ , y agua destilada, mientras que el básico menos del 1%, utilizando los mismos reactivos. Se concluye que cuando se aplican extracciones secuenciales, para estudiar la solubilidad de los metales de los residuos de mina se pueden obtener resultados engañosos debido a la fuerte capacidad de intercambio de cationes de algunos extractantes puede inducir cambio de pH y por lo tanto cambia significativamente la solubilidad del metal
Faz, A., et al., 2008	Acid drainage, Column leaching experiment, Mine soil, Marble waste, Pig manure, Remediation, Spain	Pig Manure Application for Remediation of Mine Soils in Murcia Province, SE Spain. The Scientific World JOURNAL (2008) 8, 819-827	Se estudió la utilización de lodos de la producción de cerdos, para reducir el proceso de drenaje ácido de mina, provocado por la movilización de metales pesados en las zonas mineras así como mejorar las condiciones del suelo y favorecer el establecimiento de la vegetación. Se utilizó el estiércol de cerdo, los lodos de depuradora y la cal como enmiendas del suelo. Los resultados muestran que el estiércol de cerdo puede ser

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			utilizado para remediar suelos contaminados; aumenta inicialmente el pH del suelo y disminuye la movilidad del metal. Presenta el inconveniente que después de 21 semanas, el lixiviado era ligeramente ácido aunque la movilidad de los metales era baja. Las adiciones de 7 y 14% de estiércol de cerdo fueron insuficientes para mantener un pH neutro en el lixiviado por lo tanto, se recomienda la aplicación continua del estiércol de cerdo
Pérez Sirvent, C., et al., 2008	Cadmium, Lead, Hyperaccumulator plants, Soil contamination, Phytoremediation, Transfer factor, Bioavailability	Uptake of Cd and Pb by natural vegetation in soils polluted by mining activities. Fresenius Environmental Bulletin. Volume 17. No 10b.2008	Se estudió el potencial de cinco especies vegetales (<i>Glaucium flavum</i> , <i>Zygophyllum fabago</i> , <i>Limonium carthaginens</i> , <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> , <i>Dittrichia viscosa</i>) para acumular metales pesados en proyectos de fitorremediación de suelos contaminados por actividades mineras. Se determinaron los contenidos totales de metales pesados en suelo, solubles, biodisponibles y en plantas. Los resultados muestran concentraciones medias en los suelos: Cd (2-165 mgkg ⁻¹), Pb (550-990 mgkg ⁻¹). Las concentraciones de metales determinadas en las especies vegetales muestran que <i>Dittrichia viscosa</i> y <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> son las especies que más Cd y Pb acumulan. Presentan un factor de transferencia >1 por lo que uso uno se hace recomendable en los procesos de fitoextracción. El resto de especies evaluadas presenta un factor de transferencia <1 por lo que no se consideran plantas hiperacumuladoras. Estas plantas no acumulan altas concentraciones de metales pero son hipertolerantes a las altas concentraciones de metales pesados del suelo por lo que pueden ser usadas para reducir los efectos de la erosión y lixiviación de los metales pesados de zonas mineras abandonadas
García, G., et al., 2008	Zn, Mobility, Geochemistry, Hazard, Mining soils	Zn mobility and geochemistry in surface sulfide mining soils from SE Spain. Environmental Research 106 (2008) 333-339	Se estudió los peligros para el medio ambiente y la salud provocados por el Zn, en relación con la geoquímica y la movilidad de los metales en suelos superficiales de la Bahía de Portman. Los resultados muestran que la mineralogía de los suelos estudiados reveló mayor presencia de cuarzo, pero también de otros silicatos, sulfatos, carbonatos y sulfuros. Respecto a los minerales de Zn, la presencia de esfalerita como principal sulfuro de Zn, y de la goslarita como sulfato de Zn, y de la smithsonita como Zn. La fracción de Zn disponible no excedió 2000 ppm en términos absolutos, y cuando se hace referencia a la fracción disponible (fracciones solubles en agua e intercambiables), estos valores no superan 800 ppm. Se concluye, que si bien existe un nivel de contaminación significativo en esta área, el riesgo inmediato para el medio ambiente puede evaluarse como moderado. Cabe destacar que estos suelos superficiales han sido sometidos a procesos de

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			<p>concentración de esfalerita, cuyos mecanismos deben estar relacionados con el flujo ascendente de agua capilar y al arrastre de cristales de esfalerita y sales de Zn por procesos electrocinéticos y coloidales. Estos procesos pueden estar basados en la contaminación ambiental por la erosión del viento y el agua, y por lo tanto directamente asociados a contaminación ambiental y riesgos por metales libres</p>
<p>Navarro, M.C., et al., 2008</p>	<p>Abandoned mines, Metal transport, Calcareous soils, Water runoff</p>	<p>Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone. Journal of Geochemical Exploration 96 (2008) 183–193</p>	<p>Se estudió la dispersión e influencia de los metales solubles y particulados presentes en los materiales de una zona minera abandonada, el Cabezo Rajo. También se evaluó la influencia de estos residuos mineros en las zonas adyacentes y en el Mar Menor. En las muestras de suelos mineros se determinaron: pH, EC, CaCO₃, tamaño de grano, composición mineralógica y contenido de metales pesados, mientras que en agua se analizó pH, EC, metales solubles y sales. Los resultados muestran concentraciones de Pb=8.3 g kg⁻¹, Zn= 12.5 g kg⁻¹, Cd= 40.9 mg kg⁻¹, Cu=332.1 mg kg⁻¹ y As=314.7 mg kg⁻¹ en suelos mineros y de Pb=1.5 mg l⁻¹, Zn= 50.3 mg l⁻¹, Cd= 13.6 g l⁻¹, Cu=17.2 mg l⁻¹ y As=1.7 mg l⁻¹ en muestras de agua. Los resultados ponen de manifiesto que los metales se pueden dispersar de forma descendente y a través de la pendiente de las balsas mineras tras los episodios de lluvia. Los resultados de los suelos de los alrededores del Mar Menor, muestra que se produce un transporte soluble y particulado de los materiales, especialmente de Pb y Zn, sin embargo, se concluye que la presencia de altas cantidades de carbonatos en los suelos de alrededor de las zonas mineras estabiliza los metales estudiados</p>
<p>Martínez Sánchez, M.J., et al., 2008</p>	<p>Contaminated sediments, Metal mobility, BCR sequential extraction procedure, Acid volatile sulfides (AVS)</p>	<p>Assessment of the mobility of metals in a mining-impacted coastal area (Spain, Western Mediterranean). Journal of Geochemical Exploration 96 (2008) 171–182</p>	<p>Se realizó un estudio sobre la movilización de metales (Zn, Pb y As) de sedimentos contaminados en la Bahía de Portman. Se realizó un procedimiento de extracción secuencial, sulfuros volátiles ácidos (AVS), SEM, difracción de rayos X y microscopía electrónica (SEM-EDS). Se aplicó tanto a muestras como a los residuos de las extracciones. Sulfuros volátiles ácidos (AVS) y también se determinaron los metales extraídos simultáneamente (SEM). Difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido acoplada con una espectrometría de dispersión de energía (SEM-EDS) se aplicaron a la caracterización tanto de muestras crudas como de residuos. Los metales asociados a los sedimentos mostraron un comportamiento diferente dependiendo de la fase mineralógica a la que estaban vinculados. Zn fue el metal más móvil, mientras que Pb y As mostraron una menor movilidad. La fracción de metales asociada a las jarositas presentó una alta estabilidad bajo diferentes condiciones fisicoquímicas, mientras que los metales se</p>

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			asocian con fases mineralógicas que de procesos de alteración supergénica presentan una alta movilidad. Se concluye, que los resultados obtenidos pueden ser útiles para evaluar tanto a corto como a largo plazo las actividades para la eliminación el impactos ambientales, así como de apoyo para una futura remediación de la zona
García Lorenzo, M.L., et al., 2009	Sediments, Microtox, Phytotoxicity, Ostracods, Heavy metal	Ecotoxicological evaluation for the screening of areas polluted by mining activities. Ecotoxicology (2009) 18:1077-1086	Se estudió la aplicabilidad de tres bioensayos que representan varios niveles tróficos. Se realiza un screening ecotoxicológico en los sedimentos contaminados por las actividades mineras. Los resultados muestran, que los bioensayos utilizados, el test de ostrácodos fue el más sensible. <i>Vibrio fischeri</i> luminiscente fue menos sensible a los tóxicos de los sedimentos que los ensayos de fitotoxicidad. Al aumentar la concentración de metal movilizable en los sedimentos se observa un incremento de toxicidad en los bioensayos realizados. Se concluye, que la batería de prueba se puede utilizar como una herramienta rápida y sensible para evaluar la contaminación de metales pesados en sedimentos
Tsakovski, S., et al., 2009	Heavy metals, Sediments, Mar Menor coastal lagoon, Pollution fate, Environmental modeling, Tucker3 model,	N-way modelling of sediment monitoring data from Mar Menor lagoon, Spain. Talanta 80 (2009) 935-941	Se estudia la aplicación del modelado de Tucker3 sobre un conjunto de datos de monitoreo de sedimentos del Mar Menor. El objetivo del estudio es modelar e interpretar la proporción de metales pesados en partículas en suspensión y fracciones de sedimentos resultantes de procesos de sedimentación. Se puede concluir las concentraciones de metales pesados en partículas en suspensión del sedimento aumentan en orden Cu> Mn> Zn≈Pb> Cd. También se pone de manifiesto la importante influencia antropogénica de la actividad minera de la zona
Conesa, H.M., et al., 2009a	Phytostabilization, Phytomanagement, Mine tailings, Metal uptake, Metal tolerance	Effects of Increasing Dosages of Acid Mining Wastes in Metal Uptake by <i>Lygeum spartum</i> and Soil Metal Extractability. Water Air Soil Pollut (2009) 202:379-383	Se estudió el crecimiento de <i>Lygeum spartum</i> en macetas y bajo condiciones controladas. Se analizó el contenido en metales pesados en el experimento colocando diferentes proporciones de suelo contaminado por residuos mineros (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). Se concluye que <i>Lygeum spartum</i> sólo sobrevivió con el tratamiento del 25%. En todos los tratamientos y para todos los metales, las plantas acumularon mayores concentraciones en las raíces que en los brotes. Es importante controlar la erosión del viento y del agua, que se produce en las superficies descubiertas, dado que se produce una dispersión de metales tóxicos que pueden suponer un riesgo de entrada de metales a la cadena trófica
Martínez Pagán, P., et al., 2009	Electrical resistivity imaging (ERI) method, Mining tailing pond, Reclamation, Heavy	A multidisciplinary study for mining landscape reclamation: A study case on two tailing ponds in the Region of Murcia (SE Spain). Physics and	Se determinó la movilidad de Pb, Cu, Zn y Cd en dos balsas mineras del Sureste Español: Brunita y San Cristóbal. Los resultados muestran que las concentraciones

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
	metals, Colum leaching, Drill core	Chemistry of the Earth 36 (2011) 1331-1344	de Pb y Zn superan las concentraciones máximas permitidas por la legislación europea. La aplicación del método Electrical resistivity imaging (ERI) en Brunita muestra alguna región de resistividad eléctrica más baja, lo que se describe como una ocurrencia de fallas debido a rupturas sufridas en las balsas. Por las rupturas se puede dar la circulación del drenaje ácido de mina que contiene gran concentración de metales. En San Cristóbal no se detectaron fracturas. Se concluye que la acción de recuperación futura debe basarse en la reducción de la movilidad de los metales, mediante la aplicación de residuos de mármol a largo plazo y en gran escala, lo que aumenta el pH y previene la formación de drenaje ácido de mina
Maria Cervantes, A., et al., 2009	Coastal lagoons, Polluted sediments, Mining wastes, Gastropods, Bivalves	As, Cd, Cu, Mn, Pb, and Zn Contents in Sediments and Mollusks (<i>Hexaplex trunculus</i> and <i>Tapes decussatus</i>) from Coastal Zones of a Mediterranean Lagoon (Mar Menor, SE Spain) Affected by Mining Wastes. Water Air Soil Pollut (2009) 200:289–304	Se estudiaron muestras de sedimentos y moluscos (<i>Hexaplex trunculus</i> y <i>Tapes decussatus</i>) que fueron tomadas de 16 parcelas costeras del Mar Menor. Se determinaron las concentraciones de metales y arsénico. Los resultados muestran que los sedimentos tenían valores máximos (en mg kg ⁻¹ d.w. de peso seco [d.w.]) de 7,132 para Zn; 6,975 para Pb; 5,039 para Mn; 501 para As; 74 para Cu; y 9.1 para Cd. Los especímenes de <i>H. trunculus</i> se recogieron de todas las parcelas de muestreo, y los resultados de las concentraciones resultantes en mg kg ⁻¹ d.w.: Zn (883- 3,130), Pb (0.09 - 222), Mn (7.6 -17.7) As (144 - 418), y Cd (<Ld -8.4) en tejidos blandos incremento significativamente cuando las concentraciones en los sedimentos aumenta. <i>H. trunculus</i> aparentemente regulaba la asimilación de Cu (concentraciones entre 17.7 y 47.2 mg kg ⁻¹ d.w.) en sus tejidos blandos. <i>T. decussatus</i> era muy escaso o incluso ausente en las zonas con sedimentos con alta concentración de metales y As. Se concluye que <i>H. trunculus</i> puede ser utilizado como un buen indicador de contaminación por As, Mn, Pb, Cd y Zn en los sedimentos sumergidos del Mar Menor. Se concluye que son necesarios estudios específicos para determinar el riesgo de entrada de metales a la cadena trófica
Conesa, H.M., et al., 2009b	Phytostabilisation, Phytomanagement, Mine tailings, Metal uptake, Neutron radiography, Metal tolerance	Response of native grasses and <i>Cicer arietinum</i> to soil polluted with mining wastes: Implications for the management of land adjacent to mine sites. Environmental and Experimental Botany 65 (2009) 198-204	Se estudiaron tres plantas nativas que crecen en suelos contaminados <i>Lygeum spartum</i> , <i>Piptatherum miliaceum</i> , <i>Cicer arietinum</i> , bajo condiciones controladas y con diferentes proporciones de suelo contaminado. Los resultados muestran que la producción de biomasa de las dos primeras disminuye de forma proporcional a la adición de suelos contaminados, mientras que <i>Cicer arietinum</i> disminuye en relación con respecto al tratamiento control. Se concluye que el contenido en Cd que presentan la especie <i>Cicer arietinum</i> puede representar un riesgo de entrada de metales tóxicos a la cadena trófica, dado que estas especies son consumidas por ganado y fauna

AUTOR(s) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			silvestre y suponen un riesgo para la salud humana
Cesar, A., et al., 2009	Metal contamination, Sediment toxicity tests, Benthic index, Weight of evidence, Integrative assessment	Integrative ecotoxicological assessment of sediment in Portmán Bay (southeast Spain). Ecotoxicology and Environmental Safety 72 (2009) 1832–1841	Se estudió la naturaleza, el alcance de la contaminación por metales y las respuestas de las comunidades naturales a la contaminación que presentan los sedimentos de la Bahía de Portman. Se determinaron las propiedades físico-químicas de los sedimentos la toxicidad usando dos especies de erizos de mar (<i>Arbacia lixula</i> y <i>Paracentrotus lividus</i>). Los resultados muestran que los análisis univariantes y multivariantes presentan una correlación positiva entre la concentración del metal y los asociados a los efectos biológicos (pruebas de toxicidad de erizos de mar e índices bentónicos). Los efectos de la contaminación por sedimentos en la estructura de la comunidad bentónica son visibles entre las estaciones de muestreo y son muy importantes para determinar la extensión y la importancia ambiental de la contaminación por sedimentos mineros. Se concluye que son herramientas valiosas para apoyar las acciones de gestión de este ecosistema dado que proporciona una buena visión sobre la biodisponibilidad de contaminantes in situ
Conesa, H.M., et al., 2009	Mine tailings, Lettuce, Metals, Biofortification	In Situ Heavy Metal Accumulation in Lettuce Growing Near a Former Mining Waste Disposal Area: Implications for Agricultural Management. Water Air Soil Pollut (2010) 208:377-383	Se ha realizado un estudio en un cultivo de lechuga situado en las proximidades de una antigua mina tapada con el fin de determinar la captación de metal por los cultivos. Los resultados ponen de manifiesto que la tapa que cubría los suelos de mina había sido erosionada. Por otro lado, las hojas de lechuga mostraron concentraciones de Pb dentro estándar para la salud humana (<0.3 mgkg ⁻¹ en peso fresco). Para micronutrientes esenciales como el Cu y Zn, las hojas tenían un contenido óptimo (10-28 mgkg ⁻¹ , Cu, 60-85 mgkg ⁻¹ Zn). Se concluye que es un seguimiento continuo en las tierras de cultivo cercanas a las zonas de residuos mineros para prevenir los riesgos en la salud alimentaria. De ven en cuando se deben de realizar trabajos de monitoreo sobre las zonas mineras que han sido tapadas y rehabilitadas
Robles Arenas, V.M., & Candela, L., 2010	Fractured aquifer, Open-pit and underground mining, Sierra de Cartagena-La Unión, Acid mine drainage, Semi-arid zone, hydrology	Hydrological conceptual model characterisation of an abandoned mine site in semiarid climate. The Sierra de Cartagena-La Unión (SE Spain). Geologica Acta, Vol. 8, Nº 3, 2010, 235-248	Se realiza un estudio de caracterización y control del régimen de las aguas subterráneas de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Los resultados muestran que las aguas presentan concentraciones de sulfatos y pH ácido. Son necesarios estudios hidroquímicos para determinar las condiciones geoquímicas de las aguas de mina
Maria Cervantes, A., et al., 2010	Mobilisation, Arsenic, Potentially harmful metals, Salt marsh soils	Rhizosphere and flooding regime as key factors for the mobilisation of arsenic and potentially harmful metals in basic, mining-polluted salt marsh soils. Applied Geochemistry 25	Se estudió el efecto de la rizosfera, de dos especies vegetales (<i>Sarcocornia frutescens</i> y <i>Phragmites australis</i>) y de los regímenes de inundación en suelos de marismas salinas (Marina del Carmolí), que están afectados por las actividades mineras. Los resultados

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
		(2010) 1722-1733	muestran que cambios en las condiciones redox (de 300 mV a 100 mV) y el pH después de los períodos de inundación y rehumedecimiento, pueden movilizar los elementos contaminantes en la solución del suelo y pueden estar disponibles para las plantas o ser lixiviados al suelo. La presencia de rizosferas puede inducir cambio de pH y de estados de oxidación. Se concluye que para evitar el riesgo de movilización de As, en las marismas saladas contaminadas por metales, se debe tener en cuenta la dinámica de las inundaciones
Dassenakis, M., et al., 2010	Zinc, Lead, Manganese, Ferrum, Mar Menor, Lagoon, Marine flora, Benthic fauna	The impact of mining activities on the hypersaline Mar Menor lagoon. Desalination and Water Treatment. 13 (2010) 282-289 January	Se estudia los niveles de Zinc y Plomo en la columna de agua de la cuenca del Mar Menor. Los valores más altos se midieron en las estaciones más cercanas a las corrientes que fluyen a través de las cuencas de drenaje de las zonas con residuos mineros. Los niveles de Zn y Pb encontrados en la carne del molusco <i>Ostrea edullis</i> revelan la contaminación por metales pesados en el ecosistema de la laguna
Conesa, H M., et al., 2010a	Phytostabilization, Tailings erosion, Studies, Contamination	The Cartagena-La Unión mining district (SE Spain): a review of environmental problems and emerging phytoremediation solutions after fifteen years research. J. Environ. Monit., 2010, 12, 1225-1233	Se realiza una revisión bibliográfica para estudiar los impactos generados por los residuos de mina de las actividades mineras abandonadas, así como sus posibles soluciones. La erosión eólica e hídrica que se produce en las zonas afectadas por la actividad minera debe de ser controlada. De ahí la importancia de los programas de fitoestabilización para proteger la superficie mediante el crecimiento de especies vegetales, aunque a veces también es necesario obras de ingeniería para evitar el colapso. Es necesario evitar la entrada de metales a la cadena trófica y prevenir los riesgos para la salud. Todas estas acciones deben de involucrar no sólo a los gobiernos locales y regionales, sino también a las comunidades locales (por ejemplo, agricultores, planeadores urbanos)
Pérez Sirvent, C., et al., 2010	Sediments, Microtox, Phytotoxicity, Ostracods, Heavy metals	Toxicity of sediments and their leachates in samples from Portman Bay (Se, Spain). Fres Fresenius Environmental Bulletin. Volume 19. No 2.2010	Se estudió la aplicación de varios bioensayos para determinar la toxicidad de los sedimentos recogidos en la Bahía de Portman contaminados por actividades mineras. Se realizaron tests de toxicidad en elutriado (<i>Vibrio fischeri</i>), mientras que en el sedimento (especies de plantas <i>Sorghum saccharatum</i> , <i>Lepidium sativum</i> y <i>Sinapis alba</i> y de crustáceos <i>Heterocypris incongruens</i>). Los resultados muestran que todas las muestras de lixiviados no fueron tóxicas para el bioensayo de <i>Vibrio fischeri</i> . Sin embargo, los sedimentos fueron tóxicos para las plantas y ostrácodos. Los resultados del análisis de correlación mostraron que la toxicidad fue positiva con el contenido total de Pb y Zn, y con As soluble
Herrera, G., et al., 2010	Monitoring, Insar, Deformation, Slope instabilities,	Mapping ground movements in open pit mining areas using differential SAR interferometry. International. Journal of Rock Mechanics & Mining	Se presenta la aplicación de la técnica (coherent pixel technique CPT), empleada en la cartografía de pendientes inestables de las áreas mineras. Para el estudio de los

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
	Subsidence Mining	Sciences 47 (2010) 1114-1125	movimientos de terreno de la zona de minera también se han analizado factores geográficos y geológicos que intervienen en los movimientos. Los resultados del análisis detallado de estos datos ha permitido ilustrar las ventajas y desventajas de la utilización de esta técnica
Conesa, H.M., et al., 2010b	DGT, Metal, Bioavailability, Gorguel, Belleza	Suitability of using diffusive gradients in thin films (DGT) to study metal bioavailability in mine tailings: possibilities and constraints. Environ Sci Pollut Res (2010) 17:657–664	Se utilizó la técnica de gradientes difusivos en películas delgadas (DGT) para evaluar la disponibilidad de los metales in situ. Se estudiaron tres tipos de materiales procedentes de las balsas mineras de Belleza y el Gorguel, con diferentes pHs; pH ácido 3, pH 5.5, y pH neutro de 7.2. Los resultados mostraron alta concentración de metales (7.000 mg kg ⁻¹ Pb, 9.000 mg kg ⁻¹ Zn, y 380 mg kg ⁻¹ Cu). Los resultados muestran que las concentraciones de metales absorbidas por los dispositivos de la DGT se vieron afectadas por los diferentes pH de las muestras analizadas. Se concluye que el uso de DGT en suelos mineros puede ser una herramienta prometedora para estudiar las concentraciones de metales biodisponibles en las balsas de residuos mineros, pero tiene que ser utilizado con cuidado cuando se trata de sedimentos con pH ácido. La competencia con otros cationes que están presentes a muy altas concentraciones pueden dificultar la acumulación de metales, por las resinas quelantes. Por lo tanto se deben de tener en cuenta las condiciones particulares de cada balsa minera
Pérez Sirvent, C., et al., 2010	Remediating, Heavy metals, Bahía Portman, Bioensayo	Use of Marble Cutting Sludges for Remediating Soils and Sediments Contaminated by Heavy Metals. Environmental Progress & Sustainable Energy (Vol.30, No.4) DOI 10.1002/ep	Se estudió, la aplicación de los lodos de mármol a los suelos contaminados por metales pesados de las actividades mineras, como una posible forma de remediación. Se analizaron dos muestras de sedimentos de la Bahía de Portman y 2 muestras de una zona altamente industrializada como el Valle de Escombreras. Los sedimentos contaminados fueron mezclados los lodos de corte de mármol. Los resultados muestran que la adición de lodos disminuye la disponibilidad de los metales estudiados (Pb, Zn y Cd), se debe principalmente a su contenido en carbonatos. Las soluciones de lixiviados sometidas al bioensayo de Microtox resultaron efecto no tóxico. Se concluye que el contenido en carbonatos juega un papel importante en la química de estabilización de metales y disminuye la toxicidad de este tipo de sedimentos
Brotons, et al., 2010	Heavy metals, Land degradation, Mining wastes, Pollution, southeast Spain, Wind erosion	Wind erosion on mining waste in southeast Spain. Land Degrad. Develop. 21: 196–209 (2010)	Se estudió la cantidad de material movilizado por el viento y el contenido en metales pesados de las balsas de estériles mineros del área de Cartagena- La Unión. Debido al tamaño de grano de los residuos mineros, son propensos a la erosión eólica. Como consecuencia de su composición con metales pesados, el material erosionado puede ser un potencial contaminante del suelo y del aire. Esto significa que son

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			contaminantes potenciales tanto de la atmósfera como de los suelos circundantes, sin mencionar el alto riesgo que representan para las poblaciones cercanas. Se diseñaron colectores específicos para medir los sedimentos transportados por el viento en las trampas de polvo. Se colocaron a tres alturas (21, 42 y 63 cm.) Y en ocho direcciones de viento (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW). Los resultados muestran una alta concentración de metales pesados, especialmente zinc y plomo, que podrían tener efectos perjudiciales en las ciudades cercanas, la agricultura y en zonas de playa
Carrasco, L., et al., 2010	PLFA, Microbial Community Structure, <i>Lygeum spartum</i> , <i>Piptatherum miliaceum</i> , Mine Tailings	Estimation by PLFA of Microbial Community Structure Associated with the Rhizosphere of <i>Lygeum spartum</i> and <i>Piptatherum miliaceum</i> Growing in Semiarid Mine Tailings. Microb Ecol (2010) 60:265–271	El objetivo de este estudio fue comparar la composición de la comunidad microbiana y biomasa asociada a la rizosfera de una especie gramínea perenne (<i>Lygeum spartum</i> L.) con la de otra anual (<i>Piptatherum miliaceum</i> L.) que crecen en los suelos contaminados por estériles mineros de la Sierra Minera de Cartagena. Los resultados muestran que la cantidad total de ácido graso fosfolípido (PLFA) es significativamente mayor en el suelo de la rizosfera de la anual. Los resultados del análisis PLFA para perfiles de comunidades microbianas y su estado de estrés, tanto de las especies vegetales perennes como anuales indican que ambas especies de gramíneas son adecuadas para su uso en programas de revegetación de suelos de estériles mineros de ambientes semiáridos
Navarro García, G., et al., 2010	Biomonitorización, Metales pesados, Contaminación, Mar Menor, <i>Phalacrocorax carbo sinensis</i>	Biomonitorización de la contaminación por metales pesados mediante cormoranes grandes (<i>Phalacrocorax carbo sinensis</i>) de la laguna costera del Mar Menor. Comunicación técnica. Conama 2010. Congreso Nacional de Medio Ambiente.	Se estudió la importancia que representan las aves para la biomonitorización de la contaminación por metales pesados (cromo, manganeso y selenio) en la Laguna costera del Mar Menor. El estudio se realizó en varios tejidos (hueso, pluma, riñón, hígado y músculo de <i>Phalacrocorax carbo sinensis</i> juveniles grandes hallados muertos en el Mar Menor. Los aportes de metales procedentes de la presión urbanística, los efluentes de la agricultura intensiva y los residuos de la actividad minera al Mar menor pueden pasar a la red trófica y dar lugar a la biomagnificación. Los resultados obtenidos están acorde con otros autores en otras localizaciones geográficas. Se han determinado niveles elevados de Cr y Mn en las plumas. En riñón e hígado se produce la mayor acumulación de Se y resto de metales. Se concluye que la utilización de <i>Phalacrocorax carbo sinensis</i> para biomonitorización de metales pesados es adecuado
Serrano, F., et al., 2010	Sterile mining, Heavy metals, Air pollution, cancer	Environmental pollution by sterile miners in a tourist area under development: sierra minera de Cartagena-La Union (southeast of Spain). Cuadernos de Turismo, n° 25, (2010); pp. 11-24 Universidad de Murcia ISSN: 1139-7861	Se estudió la situación de las escombreras y pantanos mineros de lavado en la Sierra minera de Cartagena-La Unión, como potenciales áreas de riesgo para la salud de las poblaciones de la sierra minera y áreas adyacentes, así como la población turística. Se alerta sobre la relación entre elevadas concentraciones de determinados metales

AUTOR(s) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			pesados y la incidencia de algunos tipos de cáncer, puesta de manifiesto por diferentes trabajos y se muestran los elevados porcentajes de cáncer de pulmón y pleura en los municipios de Cartagena y La Unión, en relación a los encontrados en el resto de la Región. Se concluye que no puede establecerse una relación directa entre las concentraciones de metales pesados movilizados por erosión eólica, analizados en esta investigación y la incidencia de estos tipos de cáncer en el distrito minero, pero la coincidencia no deja de ser, cuanto menos, alarmante, e invita a la realización de un estudio epidemiológico riguroso
Pardo, T., et al., 2011	Organic residues, Recycling, Soil health, Microbial activities, Heavy metals, Arsenic	Effects of compost, pig slurry and lime on trace element solubility and toxicity in two soils differently affected by mining activities. Chemosphere 84 (2011) 642-650	Se estudió el potencial del compost de alperujo (residuos sólidos oliva molida) y el purín de cerdo, como enmienda orgánica para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados, en la zona minera de La Unión (Murcia). Se realizó un test de toxicidad para los parámetros microbianos, así como la solubilidad del As y metales pesados en suelos tratados y no tratados. Los resultados muestran que la adición de las enmiendas orgánicas incrementa la comunidad microbiana, así como su actividad (incluida la nitrificación) y la germinación de semillas. Se concluye que son buenos candidatos para las estrategias de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados
Martínez Sánchez, M.J., et al., 2011	Chemical extraction methods, Bioavailable arsenic, Plant uptake, Mine soils, Sediments,	Evaluation of arsenic in soils and plant uptake using various chemical extraction methods in soils affected by old mining activities. Journal of Geochemical Exploration 193 (2018) 22-31	Se estudió la concentración de arsénico y su solubilidad, en suelos afectados por actividades mineras del SE español. También se determinó su absorción por las especies de plantas que crecen de forma natural sobre ellos. Para estudiar la biodisponibilidad se utilizaron extracciones química selectivas que simulan diferentes condiciones ambientales (naturales o potenciales) y su relación con la composición mineralógica. Los resultados muestran que se obtienen buenas correlaciones entre el contenido de As con los diferentes métodos aplicados y el contenido de As en las plantas estudiadas. Se recomienda el uso de extracciones con HCl y medio oxidante para correlacionar el As contenido en las raíces de las plantas y BCR para el contenido de As en las hojas. El As muestra diferentes grados de movilización y depende de las propiedades del suelo
Acosta, J.A., et al., 2011	Heavy metal, Multivariate analysis, GIS, Reclamation, Tailing pond, Soil pollution,	Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behavior in mine sites for future reclamation. Journal of Geochemical Exploration 109 (2011) 8-17	Se estudiaron las propiedades de los suelos de dos balsas de estériles mineros (Lirio y Gorguel) para una futura recuperación. También se analizaron la concentración total de metales (Pb, Cu, Zn y Cd), los extraíbles con DTPA y los solubles en agua. Los resultados mostraron que las dos balsas presentan alta contaminación por metales. El porcentaje alto de Cd extraíble sugiere un alto riesgo de movilidad a través de la

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			captación de las plantas. Las altas concentraciones de Zn y Cd soluble, especialmente en Lirio, ponen de manifiesto que pueden ser movilizados por el agua de escorrentía y llegar contaminar suelos y aguas subterráneas. Las propiedades del suelo influyen en la movilidad del los metales, especialmente en pH, ácido en el Lirio y básico en el Gorguel. Se recomienda que el programa de recuperación del Gorguel, incluya acciones para reducir las sales solubles generadas por el proceso de oxidación, lo que reduciría la movilidad de metales pesados. Se adoptó un enfoque basado en SIG para identificar los sitios de mayor riesgo, donde se deben de realizar los mayores esfuerzos de recuperación y el monitoreo
González Fernández, O., et al., 2011a	Overbank sediments, XRF, Mining, Cartagena, Metals, Pollution	Geochemical and mineralogical features of overbank and stream sediments of the Beal wadi (Cartagena-La Unión mining district, Se Spain): Relation to former lead zinc mining activities and its environmental risk. Water Air Soil Pollut (2011) 215:55–65	Se estudió la dispersión de metales pesados y elementos en los sedimentos del lecho de la Rambla del Beal, y en los sedimentos de la zona de inundación (sedimentación lateral) que se produce tras las lluvias intensas características de la zona de estudio. Los resultados muestran una mayor homogeneidad en los sedimentos de lecho en el fondo de la rambla que los sedimentos de la llanura de inundación. Estos resultados se traducen en: diversos procesos de acumulación, diferentes procesos de transporte químico, la importante acumulación de metales pesados en los sedimentos de la llanura de inundación y sus potenciales efectos hacia suelos y sedimentos de la zona baja de la rambla. Se concluye que en los sedimentos laterales del cauce, no se evidencia mecanismos de dilución, sino un lavado intenso que pone de manifiesto la mayor movilidad de metales
González Fernández, O., et al., 2011b	<i>Piptatherum miliaceum</i> , <i>Ditrichia viscosa</i> , <i>Hirsfeldia incana</i> , Cartagena-La Unión, X-ray fluorescence, Metals	Distribution of metals in soils and plants around mineralized zones al the Cartagena-La union mining district (SE Spain). Environ Earth Sci (2011) 63:1227–1237	Se estudió la Rambla del Beal, en su zona de cabecera para determinar los procesos de contaminación así como la absorción de metales de las plantas que crecen de forma natural en la zona: <i>Piptatherum miliaceum</i> , <i>Ditrichia viscosa</i> y <i>Hirsfeldia incana</i> . Los resultados muestran características del suelo de pH neutro, no obstante se determinaron niveles de movilidad de Pb no habituales en esas condiciones de pH. Las concentraciones de Pb determinadas en las especies vegetales estudiadas, pone de manifiesto su potencial uso para ensayos de revegetación. Se concluye que estas plantas son recomendables para procesos de fitorremediación
González Fernández, O., et al., 2011c	Heavy metals, DIN38414-S4, Cartagena- La Union, Wadi, <i>Hirsfeldia incana</i> , <i>Ditrichia Viscose</i> , <i>Piptatherum miliaceum</i>	Lead, Zinc, Arsenic and Copper Pollution in the Alluvial Plain of a Mining Wadi: The Beal Case (Cartagena-La Unión Mining District, SE Spain). Water Air Soil Pollut DOI 10.1007/s11270-011-0753-5	Se estudió la distribución y movilidad de metales pesados en la zona no saturada de la llanura aluvial de la Rambla del Beal mediante sondeos y muestras de suelo. También se estudió la transferencia a las mismas especies estudiadas en otro trabajo en la cabecera de la Rambla (<i>Hirsfeldia incana</i> , <i>Ditrichia viscosa</i> y <i>Piptatherum miliaceum</i>). Se utilizaron técnicas de

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			fluorescencia de rayos X y difracción de rayos X. La movilidad potencial de los metales se evaluó utilizando pruebas de lixiviación (DIN 38414-S4). Los resultados muestran que Cu, Pb, Zn, As valores por encima los límites máximos aceptables por la legislación. Con respecto a la movilidad de los metales, los valores obtenidos para Pb, Zn y As superan los límites establecidos por la Unión Europea para lixiviados DIN 38414-S4. Los porcentajes de lixiviación de Pb, Cu y As (<2%) no son altos a diferencia del Zn (hasta el 60% del contenido total de metales) lo que implica un potencial riesgo de contaminación
González Fernández, O., et al., 2011d	Cartagena-La Unión, Electrical tomography, Mineralogy, X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), Geochemistry, Mining, Vadose zone	Distribution of Metals in Vadose Zone of The Alluvial Plain in a Mining Creek Inferred from Geochemical, Mineralogical and Geophysical Studies: the Beal Wadi Case (Cartagena-La Unión Mining District, SE Spain). Water Air Soil Pollut (2011) 221:45–61	Se estudió la afección que presenta el cauce de la Rambla del Beal (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, Ti and Zn), como consecuencia de las actividades mineras abandonadas de la zona. Para determinar las características geoquímicas, la composición química y las propiedades eléctricas, se utilizaron técnicas analíticas de estados sólidos (Fluorescencia de Rayos X, Difracción de Rayos X, 2 D tomografía eléctrica). Los resultados geoquímicos muestran que el espesor medio de sedimentos mineros en la llanura aluvial es de 1.60 m. Tras los análisis de lixiviación se obtienen valores muy altos lo que indica un alto potencial de movilización de metales. Se concluye que las técnicas geofísicas presentan un importante valor para delimitar la extensión de las capas sedimentarias subsuperficiales afectadas por contaminación minera
Marguí, E., et al., 2011	Geochemistry, Mining, Phytoremediation, Soil, X-ray fluorescence spectrometry	X-ray fluorescence spectrometry used to assess the dispersion of metals within mining environments. Boletín Geológico y Minero, 122 (2): 273-286 ISSN: 0366-0176	Se realizó un estudio de revisión bibliográfica sobre la aplicación de la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos-X en el estudio de la dispersión de metales en áreas mineras. Los resultados muestran que entre sus ventajas destacan: es un análisis rápido, simultáneo y multielemental, es un análisis no destructivo, permite la determinación de elementos mayoritarios y minoritarios en muestras ambientales, se puede realizar el análisis directamente sobre muestras sólidas, se ha mejorado la sensibilidad instrumental de los equipos que permite determinar metales como Pb y Cd a niveles traza. Además, a partir de los datos de metales obtenidos en el análisis de las muestras de suelos afectados por actividades mineras, se concluye que existe riesgo de dispersión de metales provenientes de la deposición incontrolada de los residuos mineros
Pérez Sirvent, C., et al., 2011	Antimony, Soils, Mining soils, Bioavailability, Plant uptake	Antimony distribution in soils and plants near an abandoned mining site. Microchemical Journal 97 (2011) 52-56	Se estudió la distribución y movilidad del antimonio en los suelos de la zona minera abandonada de Cartagena. Se determinó la composición mineralógica para estudiar el comportamiento de sus principales fases mineralógicas. Los resultados muestran una concentración total de Sb de (5-40 mg kg ⁻¹)

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			<p>¹), la mayor movilidad del metaloide, se obtiene con el método de extracción química simple complejante-reductor que simula las condiciones de la zona. Los resultados ponen de manifiesto la baja disponibilidad del Sb para las plantas. Esto se comprobó analizando tanto el contenido de Sb de las hojas como de las raíces de las plantas que crecen en la zona; <i>Ecballium Elaterium</i>, <i>Dittrichia viscosa</i>, <i>Limonium angustibracteatum</i>, <i>Sarcocornia fruticosa</i>, <i>Hyparrhenia sinaica</i>, <i>Thymelaea hirsuta</i>, <i>Teucrium dunense</i>, <i>Oxalis pes-caprea</i>, <i>Oxalis pes-caprea</i>, <i>Salsola oppositifolia</i>, <i>Helichrysum decumbens</i>, <i>Glaucium flavum</i>. Los resultados obtenidos para en las hojas presentan un nivel máximo de 1.5 mg kg⁻¹, aunque la mayoría están < 0.5 mg kg⁻¹. Se concluye que la planta presenta una barrera efectiva contra el Sb, que se incorpora sólo en pequeñas proporciones, por lo que el riesgo para la biota es bajo. En los estudios de Sb es muy importante determinar la mineralogía de los suelos dado que este metaloide se encuentra asociado a filosilicatos y óxidos de hierro en estos suelos mineros</p>
Kabas, S., et al., 2011	Landscape design, Mine tailing, Phytostabilization, reclamation	Integration of Landscape Reclamation and Design in a Mine Tailing in Cartagena-La Unión, SE Spain. INTERNATIONAL JOURNAL of ENERGY and ENVIRONMENT. Issue 2, Volume 5, 2011	Se estudió como se puede desarrollar un diseño paisajístico óptimo para la recuperación de un suelo minero considerando el proceso de fitoestabilización como una Técnica de recuperación, y cómo se pueden integrar los esfuerzos de recuperación en el diseño del paisaje, teniendo en cuenta no sólo el criterio científico si no también aspectos culturales y humanos. El uso de enmendantes y la fitoestabilización con especies de plantas vegetales reduce el riesgo medioambiental de la zona, inmovilizando los metales, evitando su propagación a los alrededores y previniendo la erosión
Conesa H.M. & Faz, A., 2011	Mining contamination, Semiarid climate, Phytostabilization, Plant uptake	Metal Uptake by Spontaneous Vegetation in Acidic Mine Tailings from a Semiarid Area in South Spain: Implications for Revegetation and Land Management. Water Air Soil Pollut (2011) 215:221-227	Se estudió una zona afectada, por la contaminación minera y tres plantas que crecen de forma natural en esta zona afectada por la contaminación de metales pesados; <i>Lygeum spartum</i> , <i>Piptatherum miliaceum</i> y <i>Helichrysum decumbens</i> . Se determinó la absorción de metales por las plantas. Las concentraciones totales de metales en el suelo fueron altas (9.800 mg kg ⁻¹ Pb y 7.200 mg kg ⁻¹ Zn). Los resultados muestran que las especies seleccionadas no absorben metales en grandes concentraciones y por tanto son buenas candidatas para los trabajos de fitoestabilización, no representan riesgo de afección a la cadena trófica
Lambrechts, T., et al., 2011	Heavy metal, Mobility, Plant uptake, <i>Lolium multiflorum</i> , CaCl ₂ -selective extraction,	Assessment of Heavy Metal Bioavailability in Contaminated Soils from a Former Mining Area (La Unión, Spain) Using a Rhizospheric Test. Water Air Soil Pollut (2011) 217:333-	Se utiliza un biotest rizoférico en la planta <i>Lolium multiflorum</i> , que crece en dos suelos contaminados por actividades mineras, de la Sierra Minera (Cabezo y Brunita). Entre otras de concluye que el Hierro interfiere en

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
	Biotest	346	la absorción de metales pesados por la raíz. Se concluye que el test rizosférico ofrece la ventaja para estudiar las interacciones entre la raíz y el suelo y constituye una herramienta útil para la evaluación de la biodisponibilidad de metales pesados. Y que el estudio de la biodisponibilidad de metales pesados no debe basarse en una sola medida, sino en estudios diferentes y complementarios
Rodríguez R., et al., 2011	Ángulo de fricción interna, Características geológico-geotécnicas, Lodos de flotación, Residuos mineros, Rotura de presas de lodos de flotación	Características geológicas y geotécnicas de los lodos de flotación de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión (SE España). Boletín Geológico y Minero, 122 (2): 127-144. ISSN: 0366-0176	Se realizó una caracterización geológico-geotécnica de los lodos de flotación (LF), de 8 presas de la Sierra Minera Cartagena-La Unión. De aplicaron ensayos granulométricos, medida del peso específico de las partículas sólidas, determinación del índice de plasticidad, medidas de permeabilidad in situ y de laboratorio, corte directo y humedad. Los resultados muestran que los LF estudiados presentan una granulometría limosa-arenosa, un grado de saturación elevado. Las principales causas de fallos ó rotura de las presas que se han detectado son debida a: 1) deslizamiento del talud, 2) sobrepaso de agua, 3) erosión del dique, 4) subsidencias o colapso del terreno
Carrasco, L. et al., 2011	Aggregate stability, <i>Bacillus cereus</i> , Labile C fractions, Water-soluble carbohydrates, Wetting-dry cycle	Soil acidity determines the effectiveness of an organic amendment and a native bacterium for increasing soil stabilisation in semiarid mine tailings. Chemosphere 74 (2009) 239-244.	Se estudió la estabilización de las superficies de las balsas de residuos mineros para controlar la propagación de metales pesados debido a la vulnerabilidad a la erosión del agua y del aire que presenta. Se realizó un experimento en invernadero para evaluar el efecto de la adición de desechos de remolacha azucarera tratados con <i>Aspergillus niger</i> e inoculación con una bacteria nativa, <i>Bacillus cereus</i> , sobre la estabilización de los agregados del suelo de dos residuos mineros ácidos, semiáridos, con diferentes grado de acidez, durante los períodos de riego y secado. Los resultados ponen de manifiesto que estos métodos de estabilización están restringidos para los suelos mineros que presentan una acidez moderada
De la Fuente, C., et al., 2011	Metal-contaminated soils, Soluble organic matter, Polyphenols, Mn solubility, Phytotoxicity	Impact of fresh and composted solid olive husk and their water-soluble fractions on soil heavy metal fractionation; microbial biomass and plant uptake. Journal of Hazardous Materials 186 (2011) 1283-1289.	Se evaluó el efecto de la adición de un material de desecho orgánico (cáscara de olivo fresca) como enmienda para la remediación de suelos contaminados por metales pesados de la zona minera de Cartagena- La Unión. El experimento se realizó sobre un suelo calcáreo y se utilizó <i>Beta maritima</i> L. como una especie indicadora para los efectos del tratamiento sobre la solubilidad del metal. Se concluye que la cáscara de olivo compostada puede ser un material apropiado para el desarrollo de las estrategias de biorremediación, especialmente la fitoestabilización y fitoinmovilización. Además se mejora la actividad microbiana del suelo
Alcolea, A., et al.,	Acid rock drainage, Tailings, pH control, Environmental,	Heavy metal removal of intermittent acid mine drainage with an open limestone channel. Minerals	Se evalúa la efectividad del tratamiento pasivo (colocación de roca caliza en el cauce de la rambla: OLC) para el tratamiento de

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
2012	Pollution	Engineering 26 (2012) 86–98	las áreas mineras abandonadas, contrarrestando así el drenaje ácido de mina que se produce tras las lluvias en las Ramblas. Los resultados muestran que el tratamiento con (OLC) reduce la entrada de metales pesados al Mar Menor, por la Rambla del Beal, en un orden de magnitud. Es una solución efectiva para mitigar los efectos que se producen por el drenaje ácido de mina en las zonas semiáridas del Mediterráneo
Zornoza, R., et al., 2012a	Hydrolase activities, Metal pollution, Microbial biomass, Organic amendments, Remediation	Plant Cover and Soil Biochemical Properties in a Mine Tailing Pond Five Years After Application of Marble Wastes and Organic Amendments. Pedosphere 22(1): 22-32, 2012	Se estudió un suelo contaminado por actividades mineras, que presenta altas cantidades de oxihidróxidos de Fe, sulfatos y metales pesados, lo que da lugar a que permanezcan desnudos y con un contenido bajo en materia orgánica. Se estudió el efecto del tratamiento con residuos de mármol, estiércol de cerdo y lodos de depuradora transcurridos 5 años. Los resultados demostraron que todas las propiedades bioquímicas del suelo, así como la cobertura vegetal y la riqueza fueron mayores en los suelos tratados que en los suelos no tratados (control)
Zonoza, R. et al., 2012b	Heavy metals, Abandoned mine, Metal dispersal, Bioavailability, Bioaccumulation	The Effect of Former Mining Activities on Contamination Dynamics in Sediments, Surface Water and Vegetation in El Avenque Stream, SE Spain. Water Air Soil Pollut (2012) 223:519-532	Se estudian los metales pesados de los sedimentos, aguas superficiales y plantas de la Rambla del Avenque. Los resultados muestran que los contenidos totales de metales pesados están por encima de los límites marcados por la legislación Europea. Los resultados de la concentración de los metales analizados en las aguas superan los establecidos por la OMS. La vegetación está adaptada y no presenta acumulación de metales en los tejidos estudiados
Pérez Sirvent, C., et al., 2012	Arsenic, Antimony, <i>Dittrichia viscosa</i> , Atomic fluorescence spectrometry (HG-AFS), Mine soils	Distribution and bioaccumulation of arsenic and antimony in <i>Dittrichia viscosa</i> growing in mining-affected semiarid soils in southeast Spain. Journal of Geochemical Exploration 123 (2012) 128-135	Se estudió la acumulación de Arsénico y Antimonio (metaloides que causan problemas ambientales y de salud humana) en <i>Dittrichia viscosa</i> (L) que crece de forma natural en los suelos contaminados por actividades mineras ubicadas en la Sierra Minera, (SE España). Los resultados muestran que los contenidos de As, tanto en suelo como en plantas son mayores que el Sb. Se concluye que <i>Dittrichia viscosa</i> (L) puede considerarse una planta adecuada para la fitorremediación, ya que transfiere arsénico y antimonio del suelo a la raíz pero no se traslada en gran cantidad a las partes aéreas, que son las que comen los animales
Clemente, R., et al., 2012	Compost, Pig slurry, Phytoremediation, Arsenic, Trace elements	The use of a halophytic plant species and organic amendments for the remediation of a trace elements-contaminated soil under semi-arid conditions. Journal of Hazardous Materials 223-224 (2012) 63– 71	Se estudió los efectos de la aplicación de un enmendante orgánico (compost) y del purín de cerdo, en un suelo de la Sierra Minera altamente contaminado por metales (As, Cd, Cu, Mn, Pb y Zn) y sobre el arbusto halófito <i>Atriplex halimus</i> . Los resultados muestran que la enmienda (compost) aumenta los nutrientes del suelo y de materia orgánica, así como el desarrollo de una biomasa microbiana del suelo (efectos que son mejorados por la presencia de A. halimus). El purín tiene efectos sobre el aumento y

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			revegetación de <i>Atriplex halimus</i> . La acumulación de As en las hojas <i>Atriplex halimus</i> , dificulta su uso en tareas de fitoestabilización, y hace que sea necesario una evaluación ecotoxicológica, para poder ser utilizada en programas de remediación de suelos contaminados de áreas semi áridas
Kabas, S., et al., 2012	Mine tailing pond, Metal mobility, Amendments, Reclamation, Phytostabilization, <i>Piptatherum miliaceum</i> (L.) Cosson	Effect of marble waste and pig slurry on the growth of native vegetation and heavy metal mobility in a mine tailing pond. Journal of Geochemical Exploration 123 (2012) 69-76	Se estudia el efecto de los residuos de mármol y el purín de cerdo sobre el crecimiento de la vegetación nativa y la movilidad de los metales pesados, en las zonas mineras abandonadas de la Sierra Minera. Los resultados muestran que las parcelas modificadas con purín de cerdo y el crecimiento y desarrollo de especies vegetales mejora la calidad del suelo y disminuye la disponibilidad de metales. Entre las especies estudiadas <i>Piptatherum miliaceum</i> (L.) Cosson mostró las mejores características para la fitoestabilización del Pb. Se concluye la efectividad de una cobertura vegetal para la persistencia de la recuperación de suelos mineros en condiciones semiáridas mediterráneas
Martínez Sánchez, M.J., et al., 2012	Trace elements, Accumulator, Phytoremediation, Translocation factor, Soil contamination	Trace element accumulation in plants from an aridic area affected by mining activities. Journal of Geochemical Exploration 123 (2012) 8-12	Se estudió la concentración de elementos traza en raíces y hojas de cinco especies de plantas (<i>Limonium carthaginens</i> , <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> , <i>Dittrichia viscosa</i> , <i>Glaucium flavum</i> y <i>Zygophyllum fabago</i>) que crecen en suelos contaminados por actividades mineras para determinar en qué parte de la planta se acumulan más metales. Los resultados mostraron que <i>Zygophyllum fabago</i> podría actuar como un acumulador para Fe y <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> puede acumular Fe, As y Mn. Las otras especies de plantas recolectadas de los sitios mineros fueron tolerantes a la contaminación de elementos traza (presentan un Factor de Bioconcentración y Translocación <1). Aunque estas especies no acumulan metales en grandes cantidades pueden ser recomendables para reducir la erosión y lixiviación de los metales
García Lorenzo, M.L., et al., 2012a	Trace elements, Spatial Distribution, Soil contamination, Mining activities, GIS	Spatial distribution and sources of trace elements in sediments affected by old mining activities. Environ Monit Assess (2012) 184:7041-7052	Se estudió la distribución y la variabilidad espacial, de elementos trazas a lo largo de las zonas abandonadas, dado que las balsas de estériles mineros suponen una fuente importante de contaminación ambiental. Se identificaron las fuentes de contaminación a nivel regional, local y a una escala detallada. Los resultados ponen de manifiesto que el modelo conceptual que se utilizó confirmó la dispersión de oligoelementos. Con los resultados obtenidos y la utilización de Sistemas de Información Geográfica, se estableció tres tipos de contaminación: primaria, secundaria y terciaria, en función de la distancia a las fuentes de contaminación así como a los procesos de atenuación natural que se producen en el área estudiada

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
García Lorenzo, M.L., et al., 2012b	Trace elements, Hydric dispersion, Soil contamination, Mining activities, Mapping	Trace elements contamination in an abandoned mining site in a semiarid zone. Journal of Geochemical Exploration 113 (2012) 23–35	Se estudió los elementos traza contenidos en la formas de dispersión hídrica y las zonas de recepción del distrito minero abandonado de la Sierra Minera Cartagena-La Unión. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que en función de la distancia a las fuentes de contaminación, la composición mineralógica y química, se pueden establecer tres tipos de contaminación: primaria, secundaria y terciaria. La movilización hídrica del elemento traza que se produce durante las lluvias, representan una importante vía de contaminación de la zona estudiada. Los elementos pueden ser movilizados si están presentes en fases solubles. Los óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, sulfatos hidratados y jarositas son los principales productos de los procesos de erosión que están implicados en la contaminación primaria. El proceso de oxidación-reducción es el más importante en la movilización y dispersión de elementos traza, junto con los procesos de disolución y evaporación. Los procesos de atenuación natural tienen lugar cuando el material es capaz de amortiguar o neutralizar el drenaje. Se concluye que la metodología SIG aplicada permite visualizar y confirmar el modelo conceptual establecido
Navarro, M.C., et al., 2012	Chemical, Mineralogical, Waste materials, Weathering, Mining area	Weathering processes in waste materials from a mining area in a semiarid zone. Applied Geochemistry 27 (2012) 1991–2000	Se realizó una caracterización química y mineralógica de residuos mineros presentes en el Cabezo Rajao del Distrito minero de Cartagena. Los resultados muestran que en rocas inalteradas, la mineralogía se caracteriza contener plagioclasa, piroxeno, magnetita, ilmenita, anfíbol, biotita y cuarzo. Los contenidos de elementos traza presentan valores inalterados. En los residuos mineros, el pH varió de ácido a ligeramente ácido el contenido de elementos traza fue generalmente alto, especialmente para Pb y Zn, aunque también aparece concentración de As. Los resultados de difracción de rayos X sugirieron que estas muestras tienen una mineralogía compleja, incluyendo productos de alteración. Los materiales superficiales en el área de estudio se vieron afectados por los procesos de meteorización, generando ensamblajes supergénicos, incluyendo óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, carbonatos, hidratados, sulfatos y jarosita. Se concluye que el conocimiento de los procesos geoquímicos que tuvieron lugar en el pasado y que aún están teniendo lugar proporcionan una herramienta importante para evaluar los problemas ambientales asociados a esta zona
Martínez Alcalá, I., et al., 2012.	<i>Lupinus albus</i> , Rhizosphere, Root degradation, Phytoremediation, Soil metal pollution	Efficiency of a phytoimmobilisation strategy for heavy metal contaminated soils using white lupin. Journal of Geochemical Exploration 123 (2012) 95–100	Se ha estudiado la viabilidad del uso del lupino blanco (<i>Lupinus albus L.</i>) en las técnicas de fitoimmobilización de metales pesados de los suelos contaminados de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Al ser una especie anual, se plantea la problemática que puede haber cuando los

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			metales pesados absorbidos por la planta y almacenados en las raíces pueden incorporarse nuevamente al suelo durante la degradación de las raíces. En este trabajo se han utilizado tres suelos contaminados con metales (calcáreo, neutro y ácido). Los resultados ponen de manifiesto que las cantidades de metales pesados liberados en el suelo después de la degradación de la raíz fueron muy bajas en comparación con la concentración total de metales en el suelo. Los resultados obtenidos confirman la viabilidad del uso de <i>L. albus</i> para técnicas de fitoinmovilización de metales
Párraga Aguado, I.M., et al., 2013	Mining contamination, Semiarid climate, Phytostabilisation, <i>Pinus halepensis</i>	Assessment of metal (loid)s availability and their uptake by <i>Pinus halepensis</i> in a Mediterranean forest impacted by abandoned tailings. Ecological Engineering 58 (2013) 84-90	Se determina la influencia del suelo, en la disponibilidad de metales en un bosque mediterráneo, afectado por la minería. Se estudia el <i>Pinus halepensis</i> como una especie de planta adecuada para la fitostabilización. Un suelo con pH alcalino y contenido de minerales carbonatados reduce la disponibilidad y el riesgo de los contaminantes. Para la fitoestabilización de los suelos mineros se buscan una planta adecuada que posea sistemas radiculares más grandes, para que pueda proporcionar una mejor retención del suelo y que presente baja acumulación de metales. Se concluye que <i>Pinus halepensis</i> es un buen candidato, además la adición de orgánicos, la caída de agujas y el gran follaje, creando un acolchado al suelo que disminuye la erosión
Martínez Sánchez, M.J., et al., 2013	Oral bioaccessibility, Arsenic, Bioaccessibility factor, Risk characterization	Importance of the oral arsenic bioaccessibility factor for characterising the risk associated with soil ingestion in a mining-influenced zone. Journal of Environmental Management 116 (2013) 10-17	Se estudió el arsénico bioaccesible de los suelos con influencia minera del Sureste Español. El arsénico es un metaloide carcinogénico y, por lo tanto, el riesgo de ingesta accidental deben ser evaluado al estudiar áreas con altos niveles de este elemento. Se determinó el riesgo potencial de ingesta de suelo en dos fracción (<2 mm y <250 mm), teniendo en cuenta las posibles usos de los suelos (residencial / agrícola) y posibles receptores (adultos y / o niños), así como las propiedades y composición mineralógica de los suelos. Los resultados mostraron que el uso de un enfoque conservador para calcular la ingesta química diaria (CDI), basada en las concentraciones totales de arsénico, puede sobrestimar el riesgo que existe en la zona, lo que conduce a problemas en la gestión de suelos contaminados. Se concluye que es muy importante considerar la cantidad de As bioaccesible en la fracción <250 mm antes de permitir el uso de terrenos cercanos a cursos de agua temporales para uso residencial en playas o para agricultura
González Alcaráz, M. N., et al, 2013a	Mar Menor, Redox potential, Spolic Technosols, Metal speciation	Phytomanagement of strongly acidic, saline eutrophic wetlands polluted by mine wastes: The influence of liming and <i>Sarcocornia fruticosa</i> on metals mobility. Chemosphere 90 (2013) 2512–2519	Se estudió el efecto de combinar tratamiento enmendantes y vegetación para los trabajos de fitorremediación de humedales salinos, ácidos y contaminados por residuos mineros. Se utilizó la especie halófito <i>Sarcocornia fruticosa</i> . Los resultados ponen de manifiesto, que con el tratamiento del

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			suelo, se produce la inmovilización de Zn, Cu y Pb pero no de Mn y Cd soluble que se aumentan. Se concluye, que el tratamiento de enmendante más vegetación puede aumentar el riesgo de movilización de metales a largo plazo
Gómez Ros, J.M., et al., 2013	Assessment, Restoration success, Mediterranean mining area, Heavy metals	Assessment of restoration success of former metal mining areas after 30 years in a highly polluted Mediterranean mining area: Cartagena-La Unión. Ecological Engineering 57 (2013) 393-402	Se estudia la movilidad del metal en las zonas mineras, donde se llevó a cabo la primera restauración ecológica, en el Distrito Minero de Cartagena-La Unión en 1982, mediante el sellado se los residuos mineros con una capa de tierra de 0, 5m que favorecía el crecimiento natural de la vegetación. Los resultados muestran que 30 años después el sellado no impidió el ascenso de los metales pesados a la superficie del suelo y que se han alcanzado niveles superiores a los permitidos en la legislación. Además, se han encontrado altas concentraciones de metales en las plantas silvestres de la zona como <i>Dittrichia viscosa</i> , <i>Tetraclinis articulata</i> , <i>Thymelaea hirsuta</i> , <i>Teucrium capitatum</i> , <i>Hyparrhenia hirta</i> . Los autores opinan, que las acciones de recuperación que se están realizando en la Sierra Minera, en los últimos años, están utilizando enmiendas y / o fitostabilización, que son una técnicas suaves para aplicar en suelo no muy contaminados y que no parecen ser apropiadas para estos suelos mineros. En su opinión, este tipo de acciones deben realizarse después de un sellado efectivo de los residuos mineros que aseguran una inmovilización de metales pesados y por lo tanto la no contaminación de la superficie del suelo
Párraga Aguado, I.M., et al., 2013	Phytostabilisation, Metals, Semiarid climate, Revegetation, Plant facilitation	The importance of edaphic niches and pioneer plant species succession for the phytomanagement of mine tailings. Environmental Pollution 176 (2013) 134e143	Se estudiaron, nichos edáficos en suelos afectados por la actividad minera de áreas semiáridas, que pueden ser favorables para el crecimiento de las plantas. Se obtiene información para los procedimientos de fitoestabilización. Propiedades de los nichos edáficos como pH, salinidad, ó textura condicionan el crecimiento de especies vegetales. Estas propiedades juegan un papel más importante incluso que el contenido en metales. Los programas de fitoestabilización deben tener en cuenta estas propiedades, para así identificar los nichos favorables para conseguir el establecimiento de la planta
González Alcaráz, M.N., et al., 2013b	Amendment, Denitrification, Nitrogen, Salt marsh, <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Phragmites australis</i>	Nitrate removal from eutrophic wetlands polluted by metal-mine wastes: Effects of liming and plant growth. Journal of Environmental Management 128 (2013) 964-972	Se determinó el efecto del tratamiento con enmendante y plantas (<i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Phragmites australis</i>) para la eliminación de NO ₃ , en humedales con pH ácido y contaminados por residuos procedentes de las minas metálicas abandonadas. Se concluye que la efectividad del enmendante para la eliminación de NO ₃ , en humedales afectados por contaminación minera, depende de la presencia de las plantas, su crecimiento y la producción de compuestos orgánicos en su rizosfera

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
González Alcaráz, M.N., et al., 2013c	Liming, Mar Menor, Mine wastes, Redox potential, <i>Sarcocornia fruticosa</i> , Spolic Technosols	When liming and revegetation contribute to the mobilisation of metals: Learning lessons for the phytomanagement of metal-polluted wetlands. Journal of Environmental Management 116 (2013) 72-80	El objetivo de este estudio fue identificar la efectividad del encalado en combinación con la vegetación para el Recuperación de suelos salinos, ligeramente ácidos, de humedales eutróficos afectados por desechos mineros, bajo fluctuaciones condiciones de inundación. Se utilizó la especie halófila <i>Sarcocornia fruticosa</i> . Los resultados muestran que el tratamiento con material calizo favoreció el crecimiento de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , aumentó el pH y disminuyó Eh. La enmienda fue efectiva para reducir Mn, Zn y Cd soluble pero no Cu y Pb. Se concluye que la combinación de enmendante y planta puede aumentar el riesgo de movilización de metales. En los procesos de recuperación de humedales se debe de tener en cuenta el metal, las condiciones de inundación, así como la presencia de plantas
González Alcaráz, M.N., José Álvarez Rogel, J., 2013d	Mar Menor, Mine wastes, Phytomanagement, Redox potential, <i>Sarcocornia fruticosa</i> , Spolic Technosols	Liming and vegetation favor Fe-mobilization in eutrophic wetland soils affected by mine wastes. Ecological Engineering 53 (2013) 183-193	Se estudió el efecto del enmendante y la vegetación en la dinámica del Fe, en suelos de humedales, afectados por residuos mineros y bajo diferentes regímenes de inundación. La especie vegetal <i>Sarcocornia fruticosa</i> . El tratamiento enmendante disminuye el Eh y aumenta el contenido de Fe soluble. Se concluye que la combinación de enmendante y vegetación mejora la movilización del Fe en suelos de humedales contaminados por residuos mineros
Zornoza, R., et al., 2013	Organic wastes, Mine soils stabilization, Carbon mineralization, Microbial activity	Carbon mineralization, microbial activity and metal dynamics in tailing ponds amended with pig slurry and marble waste. Chemosphere 90 (2013) 2606-2613	Se estudió el efecto a corto plazo, de la aplicación de enmienda de lodo porcino solo y junto a residuos de mármol, sobre la mineralización de la materia orgánica, actividad microbiana y la estabilización de metales pesados en dos balsas de residuos mineros (El Gorguel y El Lirio). Los resultados muestran que la aplicación de enmiendas condujo a una rápida disminución de la fracción intercambiable de metales, excepto para Cu, con disminuciones de hasta 98%, 75% y 97% para Cd, Pb y Zn, respectivamente. Las actividades enzimáticas aumentaron después de la aplicación de la enmienda orgánica. Se concluye que estas técnicas de remediación mejoran el estado microbiológico del suelo y reducen la disponibilidad de los metales. La aplicación combinada de estiércol de cerdo y residuos de mármol redujo la degradabilidad de los compuestos orgánicos
Martínez Martínez, S., et al., 2013	Tailing ponds, Heavy metals, Soil contamination, Sequential extraction, Natural soils	Assessment of the lead and zinc contents in natural soils and tailing ponds from the Cartagena-La Unión mining district, SE Spain. Journal of Geochemical Exploration 124 (2013) 166-175	Se estudiaron 7 balsas de estériles mineros y dos áreas naturales (suelos desarrollados en caliza ferruginosa y suelos desarrollados en caliza laminada) del distrito minero de Cartagena, en la zona del Avenque. Las muestras se caracterizaron geoquímicamente. Los resultados ponen de manifiesto que los suelos naturales están altamente contaminados por Pb y Zn y los desarrollados sobre caliza ferruginosa más que los de caliza laminada. Además las

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			muestras de la superficie presentan más enriquecimiento de metales que las muestras del subsuelo. Considerando la mineralogía, análisis estadístico, concentración de metales pesados en el suelo (en los perfiles y el análisis de extracción secuencial de Pb y Zn se puede concluir que los altos niveles de Pb y Zn en los suelos desarrollados sobre calizas laminadas y ferruginosas pueden deberse a orígenes geogénicos y antropogénicos. Debido a las altas concentraciones de Zn soluble en agua y disponible de Pb y Zn, en la mayoría de las balsas estudiadas, se recomienda realizar la recuperación para reducir la movilidad de Zn y disminuir la disponibilidad de Pb y Zn
Martínez Sánchez, M.J., et al., 2013	Sedimentos mineros, granoselección, Difracción Rayos X, magnetita	Las Arenas de la Bahía de Portman: ¿Residuo o Mena de Hierro?. Macla 17, p. 69-70.	Se estudian las arenas de la bahía de Portman y se evalúa su idoneidad como menas de hierro o como un residuo. Los resultados muestran que los materiales estudiados muestran un elevado contenido en metales pesados, asociados a fases no solubles en agua, y que han sido calificados como residuos inertes o no peligrosos, en ocasiones. Por otra parte, se destaca el alto contenido en minerales de hierro, así como en este metal, lo que lo hace adscribible a las menas de hierro. Se concluye que el elevado contenido en magnetita en numerosos puntos, puede ser considerado un placer de magnetita
Pérez Sirvent, C., et al., 2013	Difracción Rayos X, Zonas mineras, Grupos mineralógicos, Calidad del suelo	Composición Mineralógica de los de los Suelos, Indicador para la delimitación de las Zonas de Influencia Minera. Composición Macla 17, p. 87-88.	Se realiza un estudio en la Sierra Minera y LoPoyo, zonas afectada por la deposición de residuos procedentes de la actividad industrial minera, los cuales incluyen a) materiales que han estado sometidos a un tratamiento industrial (hidro metalurgia) y b) escombreras. Los resultados ponen de manifiesto que los suelos con contaminación primaria se encuentran asociados a diversas formas minerales con diferente grado de cristalización (Goethita, Siderita, Hematites, Jarositas y Natrojarosita) y otros alterables (Pirita, Jarositas mal cristalizadas y otros Óxidos, Hidróxidos y Oxihidróxidos mal cristalizados, así como amorfos). Cuando estos minerales se encuentran lejos del foco, no pueden ser considerados como minerales geogénicos sino que se encuentran en estos sitios debido a una actividad antrópica
Rodríguez Martín, J.A., et al., 2014	Mine tailing, Multivariate geostatistics, Nematode trophic groups, Heavy metal pollution, Metabolic footprints	Effect of mine tailing on the spatial variability of soil nematodes from lead pollution in La Union (Spain). Science of the Total Environment 473-474 (2014) 518-529	Se caracterizó el contenido de plomo (total y DTPA) y otro parámetros (N, P, K, pH, Materia Orgánica, CaCO ₃ , fracción granulométrica) en lo suelos afectados por las actividades mineras del distrito minero de Cartagena-La Unión. Se utilizaron métodos geoestadísticos multivariados en relación con la diversidad de nematodos. Se midieron los grupos tróficos y las huellas metabólicas de los nematodos del suelo. Los resultados cuantificaron altas concentraciones de plomo: 8500 mg kg ⁻¹ concentración total y 340 mg kg ⁻¹ para DPTA. Aunque la diversidad de nematodos

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			era amplia (81 taxones), su diversidad, abundancia y huellas metabólicas se redujeron significativamente en el área minera. Se concluye que la abundancia total de nematodos se correlaciona negativamente con el contenido de Pb en el suelo y se encontró una relación positiva con el contenido en materia orgánica, N, P y K. Las poblaciones de nematodos se han adaptado bien a la alta concentración de Pb después de un largo periodo minero
Bes, C. M., et al., 2014	Trace elements, Pore water, Speciation, Ecotoxicity, Environmental risk	Assessment of the environmental risks associated with two mine tailing soils from the La Unión-Cartagena (Spain) mining district. Journal of Geochemical Exploration 147 (2014) 98–106	Se estudió el riesgo ambiental asociado a la posible diseminación de los contaminantes presentes en los suelos afectados por las actividades mineras abandonadas. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos, concentraciones de elementos traza (TE), solubilidad y especiación, así como la ecotoxicidad de los suelos de dos zonas diferentes, con pH ácido y otro neutro (El Descargador y El Gorguel) en el distrito minero de La Unión-Cartagena (SE España). Los resultados muestran que todos los suelos presentan concentración alta de metales totales, solubles y extraíbles, así como iones libres. Las formas predominantes en el agua son los complejos de los sulfatos y organo-metálicos. En el caso del Arsénico, $H_2AsO_4^-$ es la forma predominante en las muestras de suelos ácidos. Los resultados mostraron una elevada toxicidad para diferentes especies de plantas (judías, girasol y lechuga) y organismos acuáticos (la mortalidad fue muy alta para ambos <i>Thamnocephalus platyurus</i> y <i>Vibrio fischeri</i>), debido a la alta salinidad y contenido de TE. Se concluye que es necesaria la remediación de los suelos para reducir el riesgo ambiental que plantean
García Lorenzo, M.L., et al., 2014	Isotope, mining, Portman Bay, Sierra Minera, Sulphate, efflorescences	Isotope geochemistry of waters affected by mining activities in Sierra Minera and Portman Bay (SE, Spain). Applied Geochemistry 51 (2014) 139-147	El estudio evalúa los procesos que afectan a las aguas de la Bahía de Portman mediante el análisis de isótopos estables, concretamente H y O, así como S y O de la disolución de los sulfatos. También se analizan las aguas de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Los resultados isotópicos sugieren que los sulfatos procedentes de la Sierra Minera y de la Bahía de Portman tiene un origen similar, principalmente derivados de la oxidación del sulfuro y el transporte de los sulfatos hidratados
García Lorenzo, M.L., et al., 2014	Ecotoxicity, Environmental risk, Immobilisation, Limestone filler, Metal(loid)s, Mining activity	Application of a plant bioassay for the evaluation of ecotoxicological risks of heavy metals in sediments affected by mining activities. J Soils Sediments (2014) 14:1753–1765	Se evaluó la efectividad del bioensayo en plantas (Phytotoxkit®) para determinar los riesgos ecotoxicológicos que presentan los suelos afectados por actividades mineras abandonadas. Estos sedimentos fueron mezclados con filler calizo en diferentes proporciones: 10, 20 y 30%. Los resultados obtenidos para el análisis de la concentración total, soluble y aplicación de bioensayo, concluyen la baja concentración de metal, similar a cuando ocurre un proceso

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			de atenuación natural de la contaminación debido a la mezcla de materiales ricos en carbonatos de los suelos circundantes. El bioensayo dio baja toxicidad en las muestras analizadas. El ensayo de toxicidad es una herramienta adecuada para el screening de suelos contaminados por actividades minera y la mezcla de sedimentos con relleno de piedra caliza podría aplicarse a la remediación de estos suelos contaminados
Párraga Aguado, I.M., et al., 2014a	Semiarid climate, Ecological diversity, Phytostabilisation, Salinity	Assessment of the employment of halophyte plant species for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas. Ecological Engineering 71 (2014) 598-604	Se estudió los criterios de selección de especies de plantas para la fitoestabilización de residuos mineros en áreas semiáridas, centrándose en la idoneidad del empleo de especies de plantas halófitas espontáneas y no halófitas. Los resultados muestras que las muestras de suelo analizadas bajo las plantas halófitas mostraron una mayor conductividad eléctrica, carbono orgánico y concentraciones de sales extraíbles en agua que las no halófitas. Mientras que las no halófitas mostraron mayores concentraciones de metales en sus hojas o bretes. Se concluye que para mejorar la sostenibilidad de una comunidad vegetal, a largo plazo, es conveniente la combinación de halófitos con especies de plantas no halófitas
Martínez López, S., et al., 2014	Arsenic, Ingestion risk analysis, Mining soil, Phytoremediation, Revegetation projects, Transfer factor	Screening of wild plants for use in the phytoremediation of mining-influenced soils containing arsenic in semiarid environments. J Soils Sediments (2014) 14:794-809	Se estudió el riesgo de entrada de Arsénico a la cadena trófica, a través de las plantas y fauna natural que habita en los suelos contaminados por metales pesados de las zonas mineras abandonas. Se utilizaron 165 muestras de suelo y el mismo número de plantas. Los mamíferos seleccionados fueron la oveja y el ratón. Los resultados de estudiar los factores de bioconcentración y de translocación muestran que la transferencia de As depende de las especies vegetales y las características de suelo (pH contenido en carbonato, concentración metal principalmente). Se concluye que plantas como <i>Dittrichia viscosa</i> no representan riesgo de ingesta de As al ser consumidas por la fauna estudiada y que son recomendables para los programas de recuperación de suelos. Otras especies como <i>Arthrocnemum Macrostachyum</i> y <i>Glaucium flavum</i> , pueden usarse pero con precaución. Y se desaconseja el uso <i>Helichrysum decumbens</i> , <i>Carduus bourgeanus</i> , <i>Lygeum spartum</i> para estos fines. Se concluye que en un programa de fitorremediación se debe de estudiar la contribución que la planta aporta de As a la dieta de los animales, este indicar puede ser usado para la selección de especies vegetales
Martínez Fernández, D., et al., 2014	<i>Dittrichia viscosa</i> , <i>Nicotiana glauca</i> , <i>Silybum marianum</i> , Soil amendments, Soil remediation, Pore water	Comparison of compost and humic fertiliser effects on growth and trace elements accumulation of native plant species in a mine soil phytorestation experiment. Ecological Engineering 73 (2014) 588-597	Se estudió la respuesta de tres especies nativas (<i>Dittrichia viscosa</i> , <i>Nicotiana glauca</i> y <i>Silybum marianum</i>) de los suelos contaminados por las actividades mineras abandonas, así como la aplicabilidad de un compost hecho con purín de cerdo y un fertilizante húmico preparado a partir de él.

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			Los resultados obtenidos concluyen que el uso de compost y la utilización de plantas como <i>D. viscosa</i> o <i>S. marianum</i> , se pueden considerar una buena combinación la remediación por fitoestabilización de suelos contaminados en condiciones semiáridas
Párraga Aguado, I. M., et al., 2014b	Aleppo pine, Mine tailings, Stable isotope, Semiarid, Phytomanagement, Phytostabilisation	Elemental and stable isotope composition of <i>Pinus halepensis</i> foliage along a metal (loid) polluted gradient: implications for phytomanagement of mine tailings in semiarid areas. Plant Soil (2014) 379:93–107	Aunque el uso de <i>Pinus halepensis</i> en los programas de revegetación de suelos afectados por la actividad minera está muy extendido, su uso no ha sido investigado a fondo. Se estudia el estado ecofisiológico y la composición elemental de poblaciones espontáneas de <i>Pinus halepensis</i> para usarlo en programas de fitorremediación. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la baja concentración de fósforo en los suelos afectados por residuos mineros, lo que limita el desempeño fisiológico de <i>Pinus halepensis</i> . La composición isotópica de carbono y oxígeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) de agujas de pino indicaron que los árboles de los suelos mineros estaban menos estresados por el agua que los de los alrededores o zonas de control. Se concluye que <i>Pinus halepensis</i> es adecuado para los programas de fitoestabilización por su resistencia y buena adaptación a la baja fertilidad del suelo, a la salinidad y al clima semiárido
Kabas, S., et al., 2014	Mine tailing, Amendments, Soil Properties, Vegetation establishment	Marble wastes and pig slurry improve the environmental and plant-relevant properties of mine tailings. Environ Geochem Health (2014) 36:41–54	Se estudió el beneficio de la aplicación de residuos de mármol y purines de cerdo en dos zonas mineras; El Gorguel y El Lirio. Los resultados muestran una reducción en la biodisponibilidad de los metales en la zona del El Lirio. Los dos sitios mostraron incrementos en la estabilidad de los agregados, materia orgánica (N total y C orgánico) aunque el N total es mayor en El Gorguel que en El Lirio. Se concluye que el pH del suelo influye significativamente en la movilidad de los metales, pero un año después del tratamiento del suelo, no se aprecian mejoras en las propiedades para la planta como la capacidad de intercambio catiónico y la estabilidad de los agregados
Párraga Aguado, I.M., et al., 2014c	Lamiaceae, Mine tailing pond, Metal uptake, Amendments, Phytoremediation	Seedling emergence, growth and trace elements tolerance and accumulation by Lamiaceae species in a mine soil. Chemosphere 113 (2014) 132-140	Se estudiaron tres especies de Lamiaceae (<i>Lavandula dentata</i> , <i>RosMarínus officinalis</i> y <i>Thymus vulgaris</i>), que crece de forma natural, en los suelos de las zonas mineras abandonadas, para estudiar su uso en programas de fitoestabilización. También se estudio el efecto de enmendante con carbonato cálcico y estiércol de cerdo. Los resultados indican que la tasa de supervivencia de las semillas y el desarrollo radicular es negativo cuando se planta en suelo minero sin tratar, por el contrario en el suelo tratado se reduce la fracción intercambiable y extraíble de los metales del suelo. <i>L. dentata</i> y <i>R. officinalis</i> se relacionó con la inmovilización de elementos traza. Las enmiendas redujeron la acumulación de Zn en todas las especies, pero aumentaron la translocación de Pb y As en <i>L. dentata</i> y <i>T. vulgaris</i> , aunque los niveles estaban por

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			debajo de los umbrales de toxicidad. Las especies estudiadas pueden utilizarse para la fitostabilización de suelos ácidos contaminados
Párraga Aguado, I.M., et al., 2014d	Metal (loid) contamination, Tolerant plant species, Rhizosphere amelioration, Stable isotopes, Plant stress	Evaluation of the environmental plasticity in the xerohalophyte <i>Zygophyllum fabago</i> L. for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas. Chemosphere 161 (2016) 259-265	Se estudia la contribución de <i>Zygophyllum fabago</i> , una especie pionera, para mejorar las condiciones del suelo afectado por las actividades mineras del sureste español. Se evaluó mediante el análisis del estado nutricional y ecofisiológico. Se concluye que <i>Zygophyllum fabago</i> , mejora la actividad microbiana del suelo y la fertilidad, aumentando el contenido en carbono, en las proximidades de la rizosfera. Presenta una alta plasticidad para adaptarse a las condiciones de baja fertilidad y superar las restricciones asociadas a la estación seca y características que presentan los suelos mineros
Pérez Sirvent, et al., 2014	Heavy metals, Risk assessment, Mining activities, Soil contamination	A preliminary zonation to support the remediation and the risk bassessment of an area contaminated by potentially toxic elements in Murcia Region (SE, Spain). Procedia Earth and Planetary Science 10 (2014) 388 - 391	Se caracterizaron, a través de un análisis físico, químico y mineralógico, los materiales de la bahía de Portman, tanto en superficie como en profundidad para realizar una zonificación preliminar del área afectada Los resultados muestran que los residuos consistente principalmente en materiales minerales (galena, pirita y esfalerita), filosilicatos, además de siderita, óxidos de hierro y, a veces, productos de alteración tales como jarosita, alunita, caolinita y greenalita. Además, presentan un alto contenido en elementos traza, pH ácido y minerales de los procesos erosivos. Los resultados de la caracterización aplicada permitieron establecer una zonificación preliminar del riesgo en el área, y este fue el punto de partida para delinear el proyecto de remediación
Acosta, J.A., et al., 2014	ERI method, Reclamation Works, Tailing pond, Heavy metal	Assessment of environmental risk of reclaimed mining ponds using geophysics and geochemical techniques. Journal of Geochemical Exploration 147 (2014) 80-90	Se estudiaron muestras para obtener los resultados de tres balsas mineras, que fueron recuperadas mediante su recubrimiento para reducir la erosión y el transporte. Se utilizaron técnicas geofísicas y geoquímicas. Se determinaron sus propiedades, los metales extraíbles con DTPA y los solubles en agua. El método de imágenes de resistividad (ERI) ayudó a identificar los procesos de erosión, el espesor de los residuos de los materiales y su contacto con las capas mineras. Según el método ERI, las tres balsas mineras estudiadas, (Las Lajas, La Encontrada y El Beal) experimentaron erosión por la acción del agua. Los esfuerzos deben centrarse en volver a cubrir estas áreas para reducir la erosión y la movilidad de los metales de las capas mineras. El lecho de roca no presentó ninguna discontinuidad que pudiera permitir el transporte de metales pesados a horizontes más profundos
Martínez Sánchez,	Technosols, Limestone filler, Immobilization technique, Heavy	Critical zone remediation by using environmental geoengineering projects. Procedia Earth and Planetary Science	Se estudió una técnica de inmovilización in situ, de sedimentos contaminados por metales pesados, de la Bahía de Portman. El

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
M.J., et al., 2014a	metals	10 (2014) 392 - 398	desarrollo del tecnosol se realizó son sedimentos originales contaminados, otros mezclados con un 50% de filler calizo, grava para evitar el ascenso capilar y suelo natural que permite el crecimiento de las especies vegetales. También se aplicó el bioensayo de microtox. Los sedimentos previos a la técnica de remediación mostraron pH ácido, alto EC y elevado contenido de elementos traza. Los resultados obtenidos después de la inmovilización mostraron que las muestras de sedimento tenían valor de pH neutro (promedio 8.3), baja conductividad eléctrica (1.32 dS m ⁻¹) y baja concentración de elementos traza. Además, el bioensayo realizado con microtox, no dio resultados de ecotoxicidad. Se puede concluir que el uso de filler calizo es una excelente opción, para la remediación de sedimentos contaminados por metales pesados dado que desaparece o disminuye el riesgo para la salud humana y el ecosistema. Además la técnica diseñada permite optimizar la proporción del enmendante, lo cual supone un gran ahorro de costos del proyecto en áreas afectadas por actividades mineras
Martínez Sánchez, M.J., et al., 2014b	Potentially toxic elements, Limestone filler, Ecotoxicity, Mining activity, Immobilization, Environmental risk	Heavy metal immobilisation by limestone filler in soils contaminated by mining activities: Effects on metal leaching and ecotoxicity. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2014	Se estudió la toxicidad de los elementos potencialmente tóxicos (EPTs), de los tecnosoles formados por suelos afectados por la actividad minera y filler calizo. Se utilizaron sedimentos contaminados por metales pesados de la Bahía de Portman, mezclados con filler calizo a diferentes proporciones. 10, 20 y 30%. Los resultados muestran que el material estabilizado tiene pH neutro y baja concentración de (As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn) solubles. Los resultados de aplicar el bioensayo Microtox®, indican bajos niveles de toxicidad en las muestras estabilizadas. Se concluye, que la formación de tecnosoles con filler calizo, puede considerarse una buena herramienta para la detección de contaminación por EPTs, en áreas afectadas por las actividades mineras, al tiempo que proporcionan información sobre los posibles procesos de atenuación
García Lorenzo, M.L., et al., 2014	Potentially toxic elements, Selective extractions, Soil contamination, Mining activities, Mobility indicators	Mobility indices for the assessment of metal contamination in soils affected by old mining activities. Journal of Geochemical Exploration 147 (2014) 117–129	El comportamiento del elemento potencialmente tóxico (PTE) se evaluó mediante extracciones químicas individuales que simulan cuatro condiciones: PTE en condiciones de lluvia; drenaje de ácido minero; y un ambiente anóxico y oxico. La evaluación de la contaminación del suelo se llevó a cabo utilizando el factor de contaminación (FQ) y el índice de carga de contaminación (PLI) para los contenidos totales. También se utilizan los índices de extracción. Los resultados muestran que la concentración total de PTE en los suelos fue alto y este contenido disminuye conforme aumenta la distancia a la fuente contaminante. Y que con la extracción en medio ácido se da el mayor contenido de PTE extraído. La composición mineralógica

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			es un muy factor importante, que debe tenerse en cuenta en la evaluación de la movilidad PTE, dado que las fases minerales reaccionan de manera diferente en las situaciones propuestas dependiendo de su naturaleza química. Se concluye que los índices propuestos pueden constituir un primer intento de definir áreas riesgo potencial ambiental alto donde se necesita actuar de forma urgente. Además, la metodología propuesta podría ser una herramienta valiosa para priorizar estas intervenciones
Párraga Aguado, I.M., et al., 2014e	<i>Aleppo pine</i> , Metal (loid) allocation, Mining pollution, Nutrient redistribution, Phytomanagement, Semiarid climate, Stable isotopes	Metal (loid) allocation and nutrient retranslocation in <i>Pinus halepensis</i> trees growing on semiarid mine tailings. Science of the Total Environment 485-486 (2014) 406-414	Se estudió el ciclo interno del metaloide y el riesgo de acumulación del mismo en los residuos de los árboles de <i>Pinus Halepensis</i> , que crecen en las zonas mineras del clima semiárido de España. Los resultados muestran que metales como Cd, Cu, Pb y Sb fueron inmovilizados en los tallos leñosos de <i>Pinus halepensis</i> . La caída de hojarasca mostró altas concentraciones de As, Cd, Sb, Pb y Zn, que de este modo regresan a la tierra. Se concluye que se debe de considerar la fertilización con fósforo para mejorar el crecimiento del pino en las zonas contaminadas por residuos mineros. Esta especie es factible para los trabajos de fitoestabilización, pero requiere de un monitoreo de los elementos traza liberados en sus residuos para evitar la transferencia de metaloides a la cadena trófica
Pardo, T., 2014a	Heavy metals, Arsenic, Organic amendments, Ecotoxicological bioassays, Soil functional diversity	Evaluation of the phytostabilisation efficiency in a trace elements contaminated soil using soil health indicators. Journal of Hazardous Materials 268 (2014) 68-76	Se evaluó la eficiencia de una estrategia de remediación en un suelo de mina altamente contaminado con Elementos Trazas (TE). Se determinaron los parámetros microbiológicos, ecotoxicológicos y fisicoquímicos del suelo. Se llevó a cabo un experimento de fitostabilización de campo de 2,5 años utilizando compost de residuos de almazaras de oliva, purín de cerdo y cal hidratada como enmiendas, y un arbusto halófito nativo (<i>Atriplex halimus L.</i>) para comprobar sus efectos. Los resultados muestran que la adición de las enmiendas aumentó el pH del suelo y redujo la disponibilidad de TE. Además se favorece el desarrollo de la cobertura vegetal y el incremento de la biomasa microbiana. Se concluye que el uso de compost y purín de cerdo junto con <i>A. halimus</i> es una estrategia efectiva de fitoestabilización de las zonas mineras contaminadas por elementos traza de ambientes semiáridos
Pardo, T., 2014b	Soil remediation, Organic amendments, Metals, Arsenic, Phytorestation, Bituminaria bituminosa	The use of olive-mill waste compost to promote the plant vegetation cover in a trace-element-contaminated soil. Environ Sci Pollut Res (2014) 21:1029-1038	Se estudió el efecto de la aplicación de un compost maduro (alperujo + estiércol de vaca 10:1) como enmienda de suelos, en programas de fitorestauración de suelos afectados por la actividad minera, contaminados por oligoelementos (As, Cd, Cu, Mn, Pb y Zn). También se estudió el efecto de un fertilizante inorgánico para hacer una comparación. Además se seleccionó <i>Bituminaria bituminosa</i> , que es

AUTOR(s) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			una leguminosa que crece de forma natural en estos suelos mineros. Los resultados al final del experimento (2 años) muestran una colonización espontánea con mayor cobertera vegetal en las parcelas modificadas con compost. Se concluye que se aconseja el uso de compost como enmendante para la promoción de cobertera vegetal para la fitoestabilización de suelos mineros en ambientes semiáridos que presentan moderada contaminación
Martínez López, S., et al., 2014	Arsénico, Composición Mineralógica, Suelos de Mina	Relación del Arsénico, Hierro, Manganeso con la Mineralogía de los Suelos con Influencia Minera del Sureste de España (Murcia). Macla 18, p. 84-86	Se estudió la relación del arsénico, con hierro y manganeso en 142 muestras afectadas por contaminación de residuos mineros. Se dividió la zona de estudio en tres áreas: A1 (vertiente Mar Menor), A2 (parte central Sierra Minera) y A3 (vertiente Mediterránea). Los resultados muestran que el A1 coincide con la menor concentración media tanto de As como Fe y Mn con respecto a las otras Áreas, coincidiendo el Área 3 con los valores medios más altos de concentración para As y Fe, alcanzándose los más elevados para el Mn en el Área 2. As y Fe presentan patrones de concentración similares en los suelos estudiados y son diferentes al Mn especialmente en el Área 2
Martínez Sánchez, M.J., et al., 2014	ETP, Alteración Supergénica, Suelos de Mina, Sulfuros Metálicos	La Rambla de El Avenque-Gorguel (Murcia): Un Caso de Estudio para la Zonificación de Riesgos por Elementos Potencialmente Tóxic. Macla 18, p. 87-89	Se estudia la Rambla del El Avenque-Gorguel como caso de estudio para la Zonificación de EPT. Los resultados muestran que se puede realizar una estimación de riesgos a priori para una zonificación posterior: En la Zona 1 (cabecera de la rambla), se pueden estimar una movilización natural intensa, dispersión eólica intensa, movilización potencial por oxidación-reducción de sulfuros intensa y movilización potencial vía bioaccesibilidad intensa. Se concluye que sería imprescindible hacer una evaluación antes de proponer cualquier cambio de uso. Para la Zona 2 (zona de alta pendiente), no hay signos de contaminación fuera del cauce de la rambla, luego la estimación es que el riesgo es aceptable en la mayor parte del territorio, cuidando las zonas del cauce
Alcolea, A., et al., 2015	Rainwater pollution, Total deposition, Sierra Minera de Cartagena-La Unión, Sulfidic mine waste, Short-range transport	An assessment of the influence of sulfidic mine wastes on rainwater quality in a semiarid climate (SE Spain). Atmospheric Environment 107 (2015) 85-94	Se estudia el efecto de los residuos mineros de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión en sus áreas de influencia, tras los episodios de lluvias torrenciales, así como el transporte a la atmósfera. La alta erosión producida en las capas sin vegetación incrementa la dispersión de metales en el aire y en el agua que puede ser transportada a 20 Km de distancia desde los focos de contaminación tras los episodios de lluvias. Se deben de llevar a cabo proyecto de regeneración, de los suelos mineros abandonados, para evitar las situaciones de riesgo a escala local, que se producen con los procesos de meteorización y erosión eólica

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
Muñoz Vera, A., et al., 2015	Jellyfish, Coastal lagoon, Heavy metals, Pollution, Bioindicator, Polimetalllic mining areas	Metal bioaccumulation pattern by <i>Cotylorhiza tuberculata</i> (Cnidaria, Scyphozoa) in the Mar Menor coastal lagoon (SE Spain). Environ Sci Pollut Res (2015) 22:19157–19169	Se determinaron las concentraciones de metales: Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sn y Pb en el Mar Menor. Los resultados muestran las bajas concentraciones de metales en el agua del Mar Menor y la alta capacidad de acumulación de metales que presenta <i>Cotylorhiza tuberculata</i> . Debido a la gran cantidad de medusas que son retiradas al año, es de gran importancia tener en cuenta la capacidad de acumulación de metales que presenta, dado que pueden producir contaminación del suelo, agua ó incluso riesgo de entrada a la cadena trófica
Pérez Sirvent, C., et al., 2015	Acid mine drainage, Potentially toxic elements, Risk assessment, Sulphate efflorescences	Geochemical characterisation of surface waters, topsoils and efflorescences in a historic metal-mining area in Spain. J Soils Sediments. DOI 10.1007/s11368-015-1141-	Se describe la relevancia medioambiental que presentan las eflorescencias, la superficie del suelo y aguas superficiales procedentes de las actividades mineras abandonas de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión y el riesgo asociado a la exposición de arsénico. Los materiales estudiados presentan altas concentraciones de EPTs, pH ácidos y minerales resultantes de la alteración supergénica. El arsénico representa riesgo potencial para la salud humana a través de la vía de ingesta
Kohler, J., et al., 2015	Heavy metal contamination, Legume shrub, Mycorrhizal inoculation, Organic residue, Phytostabilisation, Semiarid climate	The combination of compost addition and arbuscular mycorrhizal inoculation produced positive and synergistic effects on the phytomanagement of a semiarid mine tailing. Science of the Total Environment 514 (2015) 42–48	Se estudió la efectividad de combinar, un hongo <i>Glomus sp.</i> y la adición de un compost de residuos orgánicos urbanos, en la estabilización de una la especie vegetal <i>Anthyllis cytisoides</i> , cuando crece en suelos contaminados por metales pesados de la zona minera. Los resultados mostraron que el uso combinado de una dosis alta del enmendante orgánico y la inoculación del hongo aumenta significativamente la biomasa de la planta, en comparación con el control. Sin embargo, el uso por separado de cada tratamiento, no tuvo efecto sobre la biomasa. Este estudio demuestra que la combinación de enmienda orgánica y un hongo AM es una herramienta adecuada para el manejo de las zonas de minas degradados, aunque su eficacia depende de la dosis de la enmienda
García, G. & Muñoz Vera, A., 2015	Sediments, Metal, Mining waste, Sedimentatio dynamics, Coastal lagoon, Mar Menor (SE Spain)	Characterization and evolution of the sediments of a Mediterranean coastal lagoon located next to a former mining area. Marine Pollution Bulletin 100 (2015) 249–263	Se estudia la influencia de las actividades mineras pasadas, en la laguna costera del Mar Menor. Se realiza una caracterización del tamaño del grano, mineralogía, geoquímica y materia orgánica de los sedimentos, así como la variación de la Laguna en el espacio y en el tiempo. Se concluye que los procesos de arrastre y transporte que constituyen la dinámica de sedimentación está influenciada por propiedades como la granulometría
Arco Lázaro, E., et al., 2015	<i>Bituminaria bituminosa</i> , Mine soils, Nitrogen Fixation, Nodulation, Soil remediation	Response of <i>Piptatherum miliaceum</i> to co-culture with a legume species for the phytostabilisation of trace elements contaminated soils. J Soils Sediments. DOI 10.1007/s11368-015-	Se estudiaron los diferentes procedimientos de fitoestabilización basados en el cultivo de una leguminosa (<i>Bituminaria bituminosa</i>) y otra especie de gran biomasa (<i>Piptatherum miliaceum</i>). Ambas son especies características de este tipo de suelos. Se

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
		1261-9	concluye que el nitrógeno juega un papel importante en el crecimiento de <i>Piptatherum miliaceum</i> , en los suelos contaminados por metales pesados. Se propone, como técnica eficaz para el cultivo de esta especie en los suelos estudiados, la combinación de la adición del compost orgánico (residuos sólido de oliva molido) junto con el cultivo de leguminosas dado que mejora su crecimiento y absorción de N, así como las propiedades del suelo
Gómez García, C., et al., 2015	Iron ore, Beach placer deposit, Magnetite, Portman Bay, Magnetic properties, Hysteresis loops, Environmental magnetism	Rock magnetic characterization of the mine tailings in Portman Bay (Murcia, Spain) and its contribution to the understanding of the bay infilling process. Journal of Applied Geophysics 120 (2015) 48–59	Se estudió las propiedades magnéticas de unas muestras de arenas de la Bahía de Portman y de otras de una mina a cielo abierto (Emilia). Se estudió la susceptibilidad magnética, histéresis, adquisición de IRM, SIRM-IRM y espectros de coercitividad de campo posterior, curvas termomagnéticas y diagrama de FORC y tomaron micropicturas SEM. Los datos se correlacionan con las estimaciones de contenido clásico de magnetita derivadas de difracción de rayos X (DRX) en tres granos separados (grano grueso, medio y fino). Los resultados indican altas concentraciones de magnetita (hasta 28%). Se registran mayores concentraciones de magnetita en la parte central de la playa. Las propiedades magnéticas muestran una relación directa entre el contenido de magnetita y los metales pesados Pb, Cu y As. Los resultados indican que la deposición de magnetita fue rápida y las propiedades no se han modificado en profundidad. Sin embargo, la ubicación espacial en la Bahía es significativa cuando se examina la distribución de los tamaños de grano. Además, los resultados sugieren que la magnetita actúa como captor de metales pesados
Martínez Sánchez, M.J., et al., 2015	Contaminated soils, Soil management, Risk assessment, Environmental health, Heavy metals, Portman Bay	The analysis of risks for human health in the paradigm of contaminated soil management: the case of Portman Bay. Rev. salud ambient. 2015;15(2):103-112	Se estudiaron las implicaciones que tiene el análisis de riesgos para la salud de las personas en la toma de decisiones para la gestión del riesgo de un suelo contaminado, de tal manera que el riesgo aceptable/inaceptable es decisivo en la selección de las tecnologías de recuperación de dicho suelo para un uso determinado. Se expone un ejemplo que se está llevando a cabo en la Bahía de Portmán, en el distrito minero de La Unión (Murcia). Los resultados muestran que los receptores más afectados por el uso de la Bahía son los niños; la vía de exposición más importante es la de ingesta de partículas sólidas, dadas las características del material, seguida de la dérmica y de inhalación. La recuperación se plantea mediante la fabricación de Tecnosoles <i>ad hoc</i> , según el riesgo detectado
Zornoza, R., et al., 2015	Phospholipid fatty acids, Microbial activity, Amendments,	Main factors controlling microbial community structure and function after reclamation of a tailing pond with aided phytostabilization. Geoderma	Se estudió el efecto de la utilización de la fitoestabilización asistida, con carbonato de calcio y estiércol de cerdo, para la recuperación de suelos de estériles mineros

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
	pH, Soil reclamation	245–246 (2015) 1–10	de Cartagena, con el objeto de investigar la estructura y función de la comunidad microbiana. Los resultados muestran que la aplicación de enmiendas incrementó el pH hasta la neutralidad, carbono orgánico lo que contribuyó a aumentar la relación C / N, estabilidad de agregados, mientras que la salinidad disminuyó así como la disponibilidad de metales pesados. El crecimiento bacteriano aumentó y el crecimiento de hongos disminuyó al aumentar pH. Las actividades microbianas no se correlacionaron con la fracción intercambiable de metales pesados, lo que indica que la función microbiana no se ve muy afectada por estos metales, probablemente debido a la eficiencia del procedimiento de recuperación para reducir la toxicidad de los metales. La composición de la comunidad se explica en gran medida por los cambios en el pH, la disponibilidad de metales pesados y Concentración de organismos, con incrementos en las proporciones de hongos y actinobacterias con enmienda de suelo
Párraga Aguado, I.M., et al., 2015	Facilitation, Competition, Heavy metals, Stable isotopes, Phytostabilisation	The potential use of <i>Piptatherum miliaceum</i> for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas: Role of soil fertility and plant competition. Journal of Environmental Management 158 (2015) 74-84	Se estudió el efecto de la adición de un enmendante (residuos sólidos municipales) para la fitoestabilización de la zona afectada por residuos mineros. Se evaluó el crecimiento y acumulación del metal/metaloide de un especie vegetal de pasto <i>Piptatherum miliaceum</i> . Los resultados muestran que la adición del enmendante mejora la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, pero también aumentan las fracciones móviles de Zn, Pb, Cd, Mn, Ni. El isótopo estable ¹⁵ N se asoció con un mejor estado nutricional, mientras que ¹³ C y ¹⁸ O indican una mejor eficacia estomática. Se da una competencia intraespecífica en el crecimiento de las plantas, posiblemente ligado a la falta de nutrientes en el suelo de mina. <i>Piptatherum miliaceum</i> puede ser considerada una especie para la fitoestabilización dado que aunque acumula metales en sus hojas, está por debajo del límite de toxicidad
García Lorenzo, M.L., et al., 2016	Acid mine drainage, Sulphate efflorescences, Trace elements, Mining activity, Environmental minerals, X-ray diffraction	Impact of acid mine drainages on surficial waters of an abandoned mining site. Environ Sci Pollut Res (2016) 23:6014–6023	Se caracterizan las aguas afectadas por la actividad minera abandonada de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión mediante el análisis de metales y cationes. Para ello se realizan procesos de “evaporación-precipitación” y se analizan las sales resultantes. Los resultados muestran que los estudios de geoquímica mineralogía de las eflorescencias minerales son muy importantes para el control, movilidad y dispersión de los elementos traza en el medio ambiente
Jiménez Martínez, J., et al., 2016	Water imbalance, Aquifer-cross contamination, Acid-	The role of groundwater in highly human-modified hydrosystems: a review of impacts and mitigation	Se analiza el sistema Campo de Cartagena-Mar Menor a nivel de cuenca y realizando una revisión bibliográfica del estado del

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
	mine drainage, Eutrophication.	options in the Campo de Cartagena-Mar Menor coastal plain (SE Spain). Review. Environ. Rev. 24: 377–392 (2016) dx.doi.org/10.1139/er-2015-0089	conocimiento de cada compartimiento hidrológico y los vínculos entre ellos. Los residuos de la actividad minera provocan impactos en la laguna, se constatan concentraciones altas de Pb= 4.000 ppm, Zn=4.600 ppm, Cd=4.5 ppm, Cu= 50 ppm, en los sedimentos de las Ramblas del Beal y Ponce. En los periodos de sequía, se produce la evaporación de aguas ácidas, desencadenado la precipitación de sales solubles que pueden disolverse fácilmente durante las lluvias torrenciales y se produce la movilización de metales y metaloides. Algunos autores han puesto de manifiesto, el riesgo que representa la recolección de algunos moluscos y que son consumidos localmente
Pardo, T., et al., 2016	Soil contamination, Metal speciation Metal, Accumulation, Solubilization, Mechanisms phytostabilization	Alleviation of environmental risks associated with severely contaminated mine tailing using amendments: Modeling of trace element speciation, solubility and plant accumulation. Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 35, No. 11, pp. 2874–2884, 2016	Las balsas de estériles mineros se consideran una de las fuentes de contaminación más importantes asociadas con las actividades mineras. Se considera necesario estudiar la aplicación de enmiendas para facilitar el establecimiento de la planta y reducir el impacto medioambiental mediante los procesos de fitoestabilización. Se realizó un experimento usando dos materiales (carbonato cálcico y derivado del lodo rojo ViroBind™) para evaluar la capacidad de estabilización de oligoelementos en ambientes ácidos. La especie vegetal seleccionada fue <i>Atriplex halimus</i> . Los resultados muestran que la aplicación de los tratamientos enmendantes incrementó el pH de los residuos mineros, disminuyó la solubilidad de los elementos traza, pero también cambió la especiación de Cd, Cu y Pb solubles. <i>Atriplex halimus</i> creció (no aparecía en los suelos contaminados sin tratar) aumentando su biomasa y el estado nutricional, además se redujeron la acumulación de elementos traza en la planta
Párraga Aguado, I.M., et al., 2016	<i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Cistus albidus</i> , <i>Nerium oleander</i> , Mine tailing pond, Metal mobility, Phytoremediation	Evaluation of the suitability of three Mediterranean shrub species for phytostabilization of pyritic mine soils. Catena 136 (2016) 59-65	Se estudió la idoneidad de las especies vegetales <i>Nerium oleander</i> , <i>Cistus albidus</i> y <i>Pistacia lentiscus</i> , para los proyectos de fitoestabilización de los suelos ácidos de mina. Los resultados muestran que el crecimiento de la semilla es independiente de las características del sustrato, pero las plantas se ven afectadas negativamente en el suelo sin tratar. Los resultados ponen de manifiesto que la aplicación de enmiendas (suelo minero modificado con carbonato de calcio y estiércol de cerdo), redujo las concentraciones de fracción intercambiable y extraíbles de los elementos traza del suelo. Las especies estudiadas contribuyen directamente a la inmovilización de oligoelementos en el suelo por lo que cumplen con los criterios para ser utilizadas con fines de fitoestabilización, ayudado por la aplicación de enmiendas para aumentar el crecimiento de las plantas
Arco Lázaro, E., et	Sorption isotherms,	Arsenic (V) adsorption-desorption in	Se estudió cómo afecta a la adición de

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
al., 2016	Langmuir model, Freundlich model, Compost, Soil pH, Soil iron	agricultural and mine soils: Effects of organic matter addition and phosphate competition. Environmental Pollution 216 (2016) 71-79	enmiendas orgánicas, en suelos contaminados por la actividad minera, a la solubilidad del arsénico en el suelo. Se estudian los procesos de adsorción y desorción, en cuatro suelos diferentes, con y sin adición de compost y también la competencia con el fosfato a través de isotermas de sorción. Además, el uso de compost y fosfato redujo la adsorción de As en suelos mineros, mientras que en los suelos agrícolas el compost incrementó su baja capacidad de adsorción. Por lo tanto, el uso de compost puede ser una buena opción para favorecer la inmovilización en suelos de baja adsorción. Se concluye que el conocimiento de la composición del suelo será crucial para predecir los efectos de las enmiendas orgánicas en cuanto a la solubilidad del As y el riesgo ambiental asociado a estos suelos
Pérez Sirvent, C., et al., 2016	Acid mine drainage, Potentially toxic elements, Risk assessment, Sulphate efflorescences	Geochemical characterisation of surface waters, topsoils and efflorescences in a historic metal-mining area in Spain. J Soils Sediments (2016) 16:1238–1252	Se estudió la relevancia ambiental de las eflorescencias, la capa superior del suelo y las aguas superficiales de la zona minera abandonada de El Gorguel y Portman. Se determinó As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn en todas las muestras. Los resultados muestran que el área de estudio está muy contaminada. Se caracteriza por un alto contenido de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), pH ácido y minerales resultantes de la alteración supergénica (sales de metales solubles, principalmente sulfatos, hidroxisulfatos de hierro y oxihidróxidos de hierro). En las muestras de suelo, el riesgo de la población asociado a la exposición muestra riesgos superiores a los de referencia, especialmente en niños. En las eflorescencias, estos valores fueron más bajos pero aún inaceptables. Se concluye que la eflorescencias son de importancia para el monitoreo dado que están involucradas en los ciclos de retención y liberación de iones de hidrógeno, sulfato y elementos potencialmente tóxicos. En general, se observó que el arsénico en las muestras analizadas representa un riesgo potencial para la salud humana por ingestión
Pellegrini, S., et al., 2016	Heavy metals, Mining soils, Macroporosity, Pedogenesis, Pollution, WRB	Pedogenesis in mine tails affects macroporosity, hydrological properties, and pollutant flow. Catena 136 (2016) 3–16	Se estudió como la formación de grietas afecta a las propiedades y funcionamiento de las balsas de estériles mineros antes del endurecimiento irreversible. Se caracterizó la pedogénesis que se produjo en las balsas de residuos de estériles mineros de diferentes edades, así como las propiedades, para resaltar los cambios físicos e hidrológicos que ocurrieron como consecuencia de la pedogénesis y sus consecuencias sobre el riesgo de contaminación ambiental. Las propiedades morfológicas del suelo fueron estudiadas en la superficie de grietas, resistencia al corte, densidad aparente y erosión. Se realizaron análisis de laboratorio para caracterizar las diferencias físicas, químicas, elementales, mineralógicas e hidrológicas entre la masa

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			<p>del suelo en los agregados y en las fisuras. Los resultados muestran que los suelos estudiados están fuertemente contaminados por Zn, Pb, Cd, Cl, Mn y Ni. La formación de grietas afectó significativamente la resistencia al corte, la densidad aparente, la macroporosidad, la conductividad hidráulica y a la distribución de elementos. La formación de grietas también condujo a la erosión de las cárcavas y túneles. La mineralogía de las arcillas pone de manifiesto la presencia de esmectitas que favorecen la apertura de grietas. Se concluye que la formación de grietas y su influencia en las propiedades del comportamiento de los materiales estudiados condicionan la salud ambiental y las posibles estrategias de estabilización y recuperación de suelos</p>
<p>Trezzi, G., et al., 2016</p>	<p>SubMarine groundwater discharge (SGD), Mine tailings, Zinc, Lead, Metals, Radium isotopes</p>	<p>The influence of a metal-enriched mining waste deposit on subMarine groundwater discharge to the coastal sea. Marine Chemistry 178 (2016) 35-45</p>	<p>Se estudió la descarga de aguas subterráneas subMarinas (SGD) en la bahía de El Gorguel (Cartagena-La Unión Pb – Zn). En esta zona el agua subterránea puede enriquecerse en metales antes de la descarga al mar costero y puede dar lugar a liberaciones importantes que pueden contaminar el medio ambiente costero. Los resultados muestran que, en comparación con otras zonas costeras no afectadas por actividades mineras, impulsadas por SGD, los flujos metálicos fueron especialmente significativos para Zn y Pb disueltos. La magnitud de estos flujos de metales impulsados por SGD indica que el SGD es una vía relevante en la entrada de metales al ambiente costero de la Bahía de El Gorguel. Se concluye que es muy importante estudiar el papel de la SGD como una posible fuente de contaminación del mar en Distritos mineros ubicados en las proximidades de la costa</p>
<p>Benhamed, S., et al., 2016</p>	<p>Heavy metals, Gene expression, Stress biomarkers, Gilthead seabream (<i>Sparus aurata</i>)</p>	<p>Exposure of the gilthead seabream (<i>Sparus aurata</i>) to sediments contaminated with heavy metals down-regulates the gene expression of stress biomarkers. Toxicology Reports 3 (2016) 364-372</p>	<p>Se estudió la incidencia de los metales procedentes de los sedimentos contaminados de la Bahía de Portman (arenas negras y arenas amarillas) en las muestras de dorada (<i>Sparus aurata</i>) que fueron expuestas, durante dos semanas a estos sedimentos. Se estudió la bioacumulación de metales en hígado, músculo y piel. Los resultados muestran que los sedimentos estaban altamente contaminados con metales (As, Pb, Zn, Cd, Fe, Cu). Después de dos semanas de exposición el Cd se acumula sólo en el hígado. De manera interesante, la expresión de los genes mta, hsp 70 y hsp 90 se vio significativamente regulada en la piel. Los resultados sostienen que la sensibilidad al estrés fue dependiente de los órganos y que la piel fue el tejido más sensible a las condiciones de estrés por metales. SE concluye que la piel debe considerarse como órgano objetivo para el análisis de biomarcadores en peces. Se podrían realizar otros experimentos utilizando otros elementos de la cadena trófica, como el fitoplancton, el zooplancton, para dilucidar</p>

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			la posible bioacumulación de metales pesados y si esto podría tener efectos significativos en las cadenas alimentarias
Campos Herrera, R., et al 2016	Entomopathogenic nematodes, Iron, Lead, Soil food web, Soil pollution, Zinc	Entomopathogenic nematode food webs in an ancient, mining pollution gradient in Spain. Science of the Total Environment 572 (2016) 312–323	Se realizó un estudio previo con nematodos donde sugiere que el alto contenido en Pb, de suelos afectados por la actividad minera disminuyó la biodiversidad del suelo. Los nematodos entomopatógenos (EPN) desempeñan un papel importante en el control biológico de plagas de insectos. Están muy extendidos por todo el mundo, pero en las áreas de mina, se supuso a mayor incidencia con la distancia del foco de contaminación. Se utilizaron técnica qPCR para medir la abundancia de especies de entomopatógenos (cinco especies de hongos nematófagos, dos ectoparásitos bacterianos de EPN y un grupo de vida libre Nematodos que compiten por el insecto-cadáver). Los resultados muestran que los EPN se detectaron en números bajos en el 13% de las localidades, sin relación con las concentraciones de metales pesados. Sólo los nematodos del grupo Acrobelooides se relacionaron inversamente con el gradiente de contaminación. Tras los resultados del estudio que puede concluir que EPN se han adaptado a los hábitats contaminados que podrían soportar los hospedadores de artrópodos. Por el contrario, la relación entre la abundancia de Acrobelooides y niveles de metales pesados, muestra estos taxones como especialmente Indicadores biológicos adecuados de la contaminación minera del suelo
Zornoza, R., et al., 2016	Phospholipid fatty acids, pH, Soil reclamation, Bacterial growth, Fungal growth, Pyrogenic carbonaceous material	Microbial growth and community structure in acid mine soils after addition of different amendments for soil reclamation. Geoderma 272 (2016) 64–72	Se estudió los factores que controlan el crecimiento microbiano y la estructura de la comunidad después de la aplicación de enmiendas en suelos ácidos afectados por la actividad minera. Se realizó un experimento de incubación con cuatro enmiendas: lechada de cerdo (PS), estiércol de cerdo (PM) y material pirogénico carbonatado (PCM) aplicado con y sin residuos de mármol (MW; CaCO ₃). Los resultados mostraron que PM y PCM (solo o junto con MW) contribuyeron a un aumento importante Carbono orgánico recalcitrante, relación C/N y la estabilidad del agregado. La lechada de cerdo soportó el mayor crecimiento microbiano: aplicado sólo estimuló el crecimiento de hongos, mientras aplicado simultáneamente con MW estimula el crecimiento bacteriano PCM provocó el menor crecimiento microbiano. MW + PCM aumentó el crecimiento bacteriano hasta valores similares a PM y MW + PM. Todos los tratamientos, excepto PS (sin aumento de pH del suelo por encima de seis), contribuyen a la inmovilización parcial de los metales. El crecimiento bacteriano y de hongos depende del pH y del Carbono orgánico lábil. PCM contribuyó a mejorar la estructura del suelo, aumentar el C orgánico recalcitrante y disminuir la movilidad del

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			metal, con baja estimulación del crecimiento microbiano. Por lo tanto, para activar poblaciones microbianas, es necesario incluir una fuente de compuestos orgánicos lábiles en el plan de manejo y recuperación de suelos contaminados
Sánchez Bisquert, D., et al., 2017	Impact, mining areas, atmospheric, Particulate matter	The impact of atmospheric dust deposition and trace elements levels on the villages surrounding the former mining areas in a semi-arid environment (SE Spain). Atmospheric Environment 152 (2017) 256-269	Se estudia el impacto de las deposiciones mineras en áreas limítrofes, para ello se utilizan colectores de polvo especializados. Se realiza un análisis de la deposición atmosférica de Mn, Zn, As, Cd y Pb. El material particulado de los residuos mineros tiene efectos adversos para la salud de las personas. El nivel medio anual de volumen total registrado de las deposiciones atmosféricas es mayor que otras áreas afectadas por el clima mediterráneo. El efecto acumulativo de las deposiciones es un factor muy importante a tener en cuenta debido a los efectos sobre el medio ambiente y la salud pública
González Alcaráz, M. N. & Van Gestel, C.A.M., 2017	Flooding- conditions, Mining wastes, Phytoremediation, Redox potential, Salt marsh	Changes in soluble metal concentrations induced by variable water table levels as response to liming and Phragmites australis growth in metal-polluted wetland soils: Management effectiveness. Geoderma 289 (2017) 20-28	Se determino la efectividad del enmendante y del <i>Phragmites australis</i> en suelos de humedales contaminados por metales y bajo la influencia de variaciones del nivel freático. Se concluye que no es posible establecer una estrategia de gestión única para los suelos encharcados y contaminados por metales pesados. La efectividad de las técnicas de remediación depende del metal objeto de eliminación, el tipo de suelo, agua, el régimen de niveles y la presencia/ausencia de vegetación
López Orenes, A., et al., 2017	Zygophyllum fabago Antioxidative/oxidative profiles, Mine tailings piles, Mediterranean climate, Biomarkers	Seasonal changes in antioxidative/oxidative profile of mining and non-mining populations of Syrian beancaper as determined by soil conditions. Science of the Total Environment 575 (2017) 437-447	Se estudió el mecanismo implicado en <i>Zygophyllum fabago</i> , que crece espontáneamente en los suelos contaminados por metales pesados de las zonas mineras, para adaptarse durante la primavera y el verano. Los resultados muestran que los niveles de clorofila, proteínas y prolina caracterizan el control, mientras que la capacidad antioxidante y los compuestos de antioxidantes basados en C y S son biomarcadores de plantas. Se concluye que <i>Zygophyllum fabago</i> muestra una alta plasticidad fisiológica que le permite cambiar con éxito su metabolismo para resistir las múltiples tensiones que las plantas deben hacer frente en suelos mineros, en condiciones climáticas mediterráneas
Martínez Oro, D., et al., 2017	Plant facilitation, Phytostabilisation, Stable isotopes	Importance of intra- and interspecific plant interactions for the phytomanagement of semiarid mine tailings using the tree species <i>Pinus halepensis</i> . Chemosphere 186 (2017) 405-413	Se estudió los efectos de las interacciones de las plantas (intra e inter específicas), en relación al árbol <i>Pinus halepensis</i> , para determinar su idoneidad en programas de fitorremediación de suelos de mina en ambientes semiáridos. Los resultados muestran que El crecimiento de <i>P. miliaceum</i> se favoreció en presencia de <i>P. halepensis</i> y se alivia su limitación de P. Por otro lado, <i>P. halepensis</i> exhibió deficiencia de N cuando creció junto con <i>P. miliaceum</i> . Las investigaciones deben de tener en

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			cuenta el comportamiento de las planta bajo la adición de N o P, enmienda que podría reducir los efectos negativos de la competencia vegetal, dado que pueden limitar el crecimiento de las plantas más que la presencia de metaloides
Barmentlo, S., et al., 2017	Enchytraeids, Global warming, Mining activities, Physiological time, Soil invertebrates	Influence of climate change on the multi-generation toxicity to <i>Enchytraeus crypticus</i> of soils polluted by metal/metalloid mining wastes. Environmental Pollution 222 (2017) 101-108	Se determinó el efecto del aumento de temperatura del aire y la reducción del contenido de humedad del suelo sobre la toxicidad de un suelo contaminado por residuos mineros. Se utilizó <i>Enchytraeus crypticus</i> para analizar los efectos de los cambios comentados. Los resultados muestran que se producen cambios en el crecimiento y la supervivencia lo que pone de manifiesto que son necesarios evaluar los efectos, que el cambio climático, puede provocar en las áreas afectadas por la contaminación minera
Pérez Sirvent, C., et al., 2017	Acid mine drainage, Phytostabilisation, Phytoremediation, Potentially toxic elements, Wetland	Metal uptake by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. J Soils Sediments (2017) 17:1384-1393	Se estudió la viabilidad de tres macrófitos acuáticos; <i>Phragmites australis</i> , <i>Juncus effusus</i> e <i>Iris pseudacorus</i> para los procesos de fitoextracción, de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs), de un área contaminada por residuos mineros. Se construyó un estanque artificial y se estudiaron muestras de arenas amarilla y negras, procedentes de la Bahía de Portman. Las muestras de suelo mostraron un alto contenido de (EPTs). Los resultados muestran que los contenidos de (EPTs) en las raíces de las plantas de las muestras amarillas son más altas que las de las arenas negras. Los resultados del FB fueron superiores a la unidad. El contenido de (EPTs) en las hojas es bajo, y los resultados de TF son menores a la unidad en casi todas las muestras. Se concluye que es posible utilizar las especies estudiadas para la fitostabilización de suelos contaminados con (PTEs)
Párraga Aguado, I.M., et al., 2017a	Nutrient uptake, Pig manure, Calcium carbonate, Tailings, Mediterranean shrubs	Nutritional status and its interaction with soil properties and trace elements in six Mediterranean shrub species grown in reclaimed pyritic tailings. Ecological Engineering 109 (2017) 25-34	Se estudió el efecto, que tiene el tratamiento con carbonato de calcio y estiércol de cerdo, sobre el crecimiento y el estado nutricional de seis especies de arbustos mediterráneos: <i>Lavandula dentata</i> , <i>RosMarínus officinalis</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Nerium oleander</i> , <i>Cistus albidus</i> y <i>Pistacia lentiscus</i>), que crecen sobre suelos de mina. En general, los suelos no enmendados, soportan plantas con alta acumulación de Cd, Zn, Mn y B en sus tejidos, debido a la alta disponibilidad de metales y bajo pH. Los suelos tratados soportan plantas con mejor desarrollo de raíz y mayores niveles de N, K, Ca, Mg, Fe y Cu en todas las partes, con respecto a los suelos no modificados. Se concluye que la estrategia de recuperación mejoró el estado nutricional de las plantas y el desarrollo de las raíces, también se aumentó el pH y contenido en CaCO ₃ del suelo. Por otro lado, la enmienda no favoreció la acumulación de P por parte de las plantas

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
Pardo, T., et al., 2017	Trace elements, Red mud, Compost, Chemical speciation, Plant accumulation	Phytostabilisation of severely contaminated mine tailings using halophytes and field addition of organic and inorganic amendments. Chemosphere 178 (2017) 556-564	Se estudió el tratamiento de remediación realizado en suelos contaminados por metales pesados y pH ácido del distrito minero de La Unión en Cartagena (SE España). El enmiendante que se aplicó a las parcelas fue una combinación de lodo rojo (óxidos de Fe/Al), compost y cal hidratada (hidróxido de Ca). Las plantas halófitas utilizadas fueron <i>Atriplex halimus</i> y <i>Zygophyllum fabago</i> . Los resultados ponen de manifiesto que la solubilidad de los elementos traza en un suelo con residuos mineros se redujo mediante la adición de enmiendas. Los diferentes tratamientos permitieron el crecimiento de las plantas y limitaron la acumulación de metales en sus hojas. La combinación de lodo rojo, compost y halófitas tiene éxito como opción de remediación
Párraga Aguado, I.M., et al., 2017b	Metal(loid) availability, Mine tailings, Phytotoxicity, Uptake, Waste	Suitability of a municipal solid waste as organic amendment for agricultural and metal (loid)-contaminated soils: effects on soil properties, plant growth and metal (loid) allocation in <i>Zea mays</i> L. J Soils Sediments. DOI 10.1007/s11368-017-1699-z	Se estudio el empleo de residuos sólidos municipales como enmienda orgánica en dos tipos de suelos; uno agrícola y otro contaminado con metales/metaloideos. Se utilizó la especie vegetal <i>Zea mays</i> para estudiar su crecimiento, así como la translocación de metales a las raíces y partes aéreas. Los resultados muestran que la adición de la enmienda orgánica mejora los parámetros relacionados con la fertilidad en ambos suelos; aumento de carbono orgánico, nitrógeno total y microbiología del suelo. No se aconseja el empleo de la enmienda orgánica en suelo agrícola, por su contenido en metales, no obstante sí aconseja su empleo en suelos con afección minera, dado que mejora el crecimiento de las especies vegetales
Moreno Barriga, F., et al., 2017	Marble waste, Phytostabilization, Pyritic tailings, Soil structure	Use of <i>Piptatherum miliaceum</i> for the phytomanagement of biochar amended Technosols derived from pyritic tailings to enhance soil aggregation and reduce metal(loid) mobility. Geoderma 307 (2017) 159–171	Se estudió el desarrollo de Tecnosoles a partir de suelos ácidos de mina modificados con residuos de mármol (CaCO ₃) y dos proporciones de biochar 10g C kg ⁻¹ y 20 g C kg ⁻¹), con y sin <i>Piptatherum miliaceum</i> . Los resultados muestran que el uso de biochar y residuos de mármol mejoran la estructura de los suelos mineros, aumenta el secuestro del carbón y disminuye la movilidad de los metales. Mejora el crecimiento de la planta, usando la menor proporción de biochar. Se concluye que <i>Piptatherum miliaceum</i> es adecuada para fitomermediación con Tecnosoles dado que estimula el crecimiento de la biomasa microbiana lo que se correlaciona positivamente por la formación de agregados en el suelo y la inmovilización de metales. Además su bajo índice de translocación de metales a las raíces contribuye a su adecuación para ser usada en programas de fitoestabilización
Párraga Aguado, I.M., et al., 2017c	Heavy metals, Soil contamination, Sequential extraction, Mine tailings	Metal mobility assessment for the application of an urban organic waste amendment in two degraded semiarid soils. Journal of Geochemical	Se estudio la extractabilidad del metal (Cd, Cu, Mn, Pb y Zn) en dos suelos semiáridos degradados enmendados (un suelo agrícola y un suelo de residuos mineros). Se emplea

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
		Exploration 173 (2017) 92–98	residuos urbanos orgánicos como enmendante de metales. En el caso de los suelos afectados por la actividad minera, los resultados ponen de manifiesto que los cambios generados por la mineralización de la materia orgánica puede alterar el estado de los metales, promoviendo el aumento de las fracciones unidas a carbonato que podrían ser fácilmente movilizables. Se concluye que para proporcionar un empleo seguro de este tipo de enmendante para la restauración de suelos degradados se debe de evaluar la dinámica a largo plazo de la mineralización de la materia orgánica y su relación con la geoquímica de los metales
Zormoza, R., et al., 2017a	Amendments, Geochemistry, Heavy metals, Mining, Tailings pond	Reclamation of a mine tailings pond by addition of marble waste and pig slurry for the development of aided phytostabilization. Boletín Geológico y Minero; ISSN 0366-0176;	Se estudió el desarrollo de una estrategia de rehabilitación en una presa de residuos mineros basada en la fitoestabilización asistida. Se aplicó sobre la superficie de la presa lodo de mármol (6.7 kg m^{-2}), purín de cerdo ($1.7, 7 \text{ L m}^{-2}$) y la fase sólida de purín de cerdo (7 kg m^{-2}). Además se introdujeron trece especies vegetales autóctonas. Los resultados mostraron un incremento en el pH (de ~ 3 a ~ 7), la estabilidad de agregados (de 7% a 10-15%), el carbono orgánico (de 3.5 g kg^{-1} a 3.5 g kg^{-1}), el nitrógeno total (de $\sim 0.3 \text{ g kg}^{-1}$ a $\sim 0.8 \text{ g kg}^{-1}$) y la capacidad de intercambio catiónico (de $6 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ a $11 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$) con la aplicación de las enmiendas y el desarrollo de la vegetación, mientras que la fracción biodisponible de los metales descendió drásticamente (90-99%). Se concluye que los resultados obtenidos, tras seguir la estrategia de recuperación propuesta, son prometedores en áreas donde se generen residuos que puedan ser utilizados para la rehabilitación de suelos afectados por metales pesados, revalorizando los mismos y al convertirse en subproductos de utilidad
Zornoza, R., et al., 2017b	Effective microorganisms, Soil reclamation, Pig manure, Metal immobilization, Marble waste	Bioaugmentation in Technosols created in abandoned pyritic tailings can contribute to enhance soil C sequestration and plant colonization. Science of the Total Environment 593–594 (2017) 357–367	Se estudió la creación de un Tecnosol, en dos balsas de residuos mineros, como una estrategia sostenible para minimizar el impacto y peligros para la salud humana derivados de los residuos mineros. El Tecnosol se construyó con residuos de mármol y dos materiales orgánicos (estiércol de cerdo y lodos de depuradora con y sin inoculación de microorganismos). Los resultados muestran que el residuo de mármol es el principal responsable para mantener un pH en torno a 7, disminuye la salinidad y la fracción soluble de los metales (70-99%). La adición de los enmendantes orgánicos aumentó significativamente el C orgánico del suelo (SOC), los contenidos de nutrientes así como la biomasa y la actividad microbiana (siendo el estiércol de cerdo más efectivo). Se concluye que la bioaugmentación contribuye al secuestro del C del suelo, su fertilidad y que la biomasa y actividad microbiana facilita una colonización efectiva de la vegetación

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
Moreno Barriga, E., et al., 2017a	Metal fractionation, SEM/EDX, Reclamation, Metal mobility, Biochar	Creation of technosols to decrease metal availability in pyritic tailings with addition of biochar and marble waste. Land Degrad. Develop. 28: 1943–1951 (2017)	Se estudió los resultados de la creación de un tecnosol, con biochar de estiércol de cerdo, residuos de cultivos y residuos sólidos municipales como estrategia sostenible para recuperar zonas mineras y reducir la movilidad de los metales. Las disminuciones en la movilidad de Cd se relacionaron con la retención por el carbonato, los óxidos Fe/ Mn y las fracciones oxidables (compuestos orgánicos). Las del Pb con la retención de los óxidos Fe/ Mn y las fracciones residuales, mientras que las disminuciones en la movilidad de Zn se relacionaron con la retención en los óxidos Fe/ Mn y las fracciones oxidables. Con los resultados obtenidos, de la utilización de SEM/EDX, se concluye que biochar muestra una gran afinidad por los óxidos de hierro, sulfatos de calcio y filosilicatos y puede retener metales
Moreno Barriga, E., et al., 2017b	Recalcitrant carbon and nitrogen, Labile organic matter, Microbial biomass carbon, Greenhouse gas emissions, Enzyme activities, Soil structure	Organic matter dynamics, soil aggregation and microbial biomass and activity in Technosols created with metalliferous mine residues, biochar and marble waste. Geoderma 301 (2017) 19–29	Se estudio el diseño de un Tecnosol adecuado para una estrategia sostenible de recuperación de balsas de estériles mineros. Es fundamental el desarrollo de la estructura del suelo, estabilización de la materia orgánica y estimulación del crecimiento microbiano. Se estudiaron diferentes materiales primas (estiércol de cerdo, algodón <i>Gossypium hirsutum</i> , residuos de cereales y residuos sólidos municipales) y residuos de mármol para evaluar sus efectos sobre la evolución de los contenidos de C y N, GEI, la estabilidad de los agregados así como la actividad y biomasa microbiana. Los resultados muestran que todos los biochars aumentan la estabilidad de los agregados así como la actividad microbiana (pero sólo durante los primeros 7 días). Las emisiones de CH ₄ disminuyeron en todos los tecnosoles que recibieron biochar. Se concluye que el uso combinado de biochar y residuos de mármol contribuyó al secuestro de C del suelo y mejoró la estructura del suelo. Se necesitarían compuestos para estimular las poblaciones microbianas en los Technosols
BenHamed, S., et al., 2017	Portman Bay, Pollution, Biomarkers, Oxidative stress, Immune genes, Histopathology, Gilthead seabream (<i>Sparus aurata L.</i>)	Head kidney, liver and skin histopathology and gene expression in gilthead seabream (<i>Sparus aurata L.</i>) exposed to highly polluted Marine sediments from Portman Bay (Spain). Chemosphere 174 (2017) 563-571	Se estudió el impacto de dos sedimentos diferente contaminados de la Bahía de Portman sobre la dorada (<i>Sparus aurata</i>). Para ello se evaluaron los niveles de expresión de diferentes enzimas antioxidantes y genes relacionados con el sistema inmunológico en la cabeza, riñón, hígado y piel (son los órganos clave en todos los estudios toxicológicos de peces, aunque la piel ha recibido menos atención a este respecto). Los resultados muestran que la expresión de diferentes genes de enzimas antioxidantes y los genes relacionados con el sistema inmunitario varía según el órgano y el gen estudiado. En la piel también se estudiaron alteraciones histopatológicas. Si bien no se detectaron cambios significativos en las células de la piel de peces criados en

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			acuarios con sedimentos contaminados se observaron cambios marcados en la morfología general de HK (cabeza-riñón) y el hígado, acompañado por un grado sustancial de muerte celular y desorganización del centro melano-macrófago. Se concluye que los biomarcadores estudiados en dorada podrían ser útiles para evaluar el impacto de la contaminación, por residuos mineros, en ambientes costeros, dado que pueden ayudar a predecir la magnitud de la contaminación
López Orenes, A., et al., 2018	Antioxidative/oxidative profiles, Ionic profiles, Mine tailings piles, Stress combinations, Mediterranean climate	Seasonal ionic and metabolic changes in <i>Aleppo pines</i> growing on mine tailings under Mediterranean semi-arid climate. <i>Science of the Total Environment</i> 637-638 (2018) 625–635	Se estudió un conjunto de parámetros edáficos, bioquímicos y fisiológicos del pino Alepo (pino carrasco), que crecen de forma espontánea en los suelos con influencia minera del SE español. Los resultados mostraron que los suelos de la rizosfera, con influencia minera, se caracterizan por tener un alto contenido en metales/ metaloides, principalmente Pb y Zn, niveles bajos en carbono, nitrógeno y potasio. Las agujas de los pinos que crecen en suelos contaminados de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión, presentan mayores actividades antioxidantes que las poblaciones de pinos de Nuevo México, esto podría contribuir a disminuir el daño oxidativo inducido por los metales. Además se concluye que los factores estacionales influyen en metabolismo de la aguja más que los factores del suelo. En la estación de verano, con escasez de agua, se reduce la capacidad fotosintética de la planta. Se concluye que cambios asociados al clima global, donde el patrón de verano se prolonga durante más tiempo puede afectar negativamente al rendimiento de las poblaciones de pino carrasco
Acosta, J.A., et al., 2018	Plant establishment, Mining waste, Phytomanagement, Amendment	Phytoremediation of mine tailings with <i>Atriplex halimus</i> and organic/inorganic amendments: A five-year field case study. <i>Chemosphere</i> 204 (2018) 71-78	Se estudió la recuperación de una gran superficie de suelo minero. Con el labrado y el tratamiento de suelo con enmendante, combinando residuos de mármol (CaCO ₃) y purines de cerdo se favorece la colonización espontánea de especies nativas. Los resultados del análisis, 5 años después de aplicar el tratamiento, muestras que <i>Atriplex halimus</i> , es la especie dominante que crece en los suelos contaminados y presenta alta concentración de metales en sus hojas. A pesar de ser una planta recomendada para los trabajos de fitoestabilización, no fue capaz de inmovilizar metales, especialmente Pb y Cd
Álvarez Rogel, J., et al., 2018	Biochar, Metal pollution, <i>Sarcocornia fruticosa</i> , Redox potential, Polluted wetlands, Wetland remediation	Biochar from sewage sludge and pruning trees reduced porewater Cd, Pb and Zn concentrations in acidic, but not basic, mine soils under hydric conditions. <i>Journal of Environmental Management</i> 223 (2018) 554–565	Se estudió la efectividad del biochar, a partir de lodos de depuradora y de poda de árboles, en la inmovilización de metales en suelos ácidos y básicos de mina en condiciones de inundación variables. También se simuló cambios en el nivel de la capa freática y se utilizó <i>Sarcocornia fruticosa</i> para estudiar el efecto del biochar

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			en su crecimiento. Los resultados muestran, que la aplicación del enmendante orgánico, sobre el suelo básico de mina, no tiene efectos sobre la disminución de metales ni la disminución de metales para ser absorbidos por la planta. La aplicación sobre el suelo ácido si obtuvo resultados efectivos; disminución de pH, así como metales en el agua de poro y se reduce la absorción de metal por la planta. Se concluye que el uso de biochar, en humedales contaminados con metales, tiene implicaciones ambientales que deben de ser planificadas para cada caso específico, optimizar los aspectos positivos (humedales como sumidero de contaminantes) y reducir los inconvenientes (humedales como fuente de contaminantes)
Soriano Disla, J.M., et al., 2018	Extractants, Metals, Mobility, Phytoextraction, Remediation, Soil	Evaluation of the performance of chemical extractants to mobilise metals for remediation of contaminated samples. Journal of Geochemical Exploration 193 (2018) 22–31	Se estudia la eficiencia de las extracciones química, para el estudio de la movilización de contaminantes, en los proyectos de remediación de suelos contaminados con metales por la actividad minera. Se estudiaron en diferentes muestras de usos de tierra; suelos industriales, agrícolas y forestales, y balsas de estériles mineros ácidos y básicos. La extracción EDTA para Cd y Zn fue la que mostró mayor rendimiento en los suelos ácidos de mina, y para Cd y Cu en los suelos básicos. El pH del suelo fue el factor más influyente para explicar la cantidad de metales extraídos. Se concluye la conveniencia de realizar prueba preliminar, con diferentes extracciones y concentraciones, como paso previo necesario para los proyectos de remediación a gran escala
Martín Crespo, T., et al., 2018	Toxic elements, Acid mine drainage, Electrical resistivity tomography, Unstable tailings, Brunita mine, Cartagena-La Unión district	Geoenvironmental characterization of unstable abandoned mine tailings combining geophysical and geochemical methods (Cartagena-La Union district, Spain). Engineering Geology 232 (2018) 135-146	Se realizó una caracterización geoambiental de la balsa minera Brunita del Distrito minero Cartagena-La Unión, Murcia (SE España) para evaluar las condiciones actuales y evaluar los peligros ambientales relacionados. La tomografía de resistividad eléctrica (ERT) ha permitido determinar tanto la geometría general de la base del estanque como el espesor de los residuos mineros. Los resultados muestran importantes cantidades de pirita y siderita, así como esfalerita y galena, altos contenidos de metales tóxicos (Cd, Cu, Pb, Sn y Zn) y As. Esto muestra el potencial de los residuos mineros de liberar cantidades importantes de contaminantes a los suelos y a los cursos de agua circundantes (Drenaje Ácido de Mina). Los resultados muestran una inestabilidad de la balsa minera que hace necesario que se incluya un proyecto de remediación para su estabilización y un monitoreo para minimizar el impacto ambiental de la balsa minera
Pérez Sirvent, C., et al., 2018	Environmental risk, Geochemical fractions, Potentially toxic elements, Selective	Assessment of potentially toxic element contamination in soils from Portman Bay (SE, Spain). J Soils Sediments (2018) 18:2248–2258	Se estudió las fracciones geoquímicas de Pb, Cd, Zn, Cu y As de los suelos afectados por la minería de la bahía de Portman. Se utilizando extracciones químicas simples para estudiar la movilidad de los metales y

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
	chemical extraction		la difracción de rayos X para la caracterización de las muestras y la de los residuos que quedan después de cada extracción. Los resultados ponen de manifiesto que la concentración de (EPTs) se da con la extracción en medio oxidante. La composición mineralógica es un factor importante que debe tenerse en cuenta en la evaluación de la movilidad (EPTs), Dado que las fases mineralógicas reaccionan de manera diferente en función de la naturaleza química y del grado de meteorización. Se concluye que la evaluación de (EPTs) puede ser muy importante en la ejecución de proyectos de restauración que implica el grado y movilización de los materiales
Gabarrón, M., et al., 2018	Bioaccumulation, Chemical partitioning, Mining pond, <i>Ballota hirsuta</i>	Change in metals and arsenic distribution in soil and their bioavailability beside old tailing ponds. Journal of Environmental Management 212 (2018) 292-300	Se estudió la transferencia de metales (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) y arsénico de las balsas mineras a suelos agrícolas y forestales y se identificó la dinámica del metaloide en el sistema suelo-planta para una especie navita (<i>Ballota hirsuta</i>) de dos antiguos distritos mineros: La Unión y Mazarrón. Los resultados muestran que los suelos mineros, de bosques y agrícolas están contaminados por As, Cd, Cu, Pb y Zn y una mayor movilidad en las balsas mineras que en los suelos naturales y agrícolas. La acumulación de metal (loid) s en <i>Ballota hirsuta</i> en La Unión disminuyó a medida que Fe> As> Cr> Ni> Cu> Zn> Cd> Mn> Co> Pb mientras estaba en Mazarrón fue As> Fe> Cr> Pb> Cu> Ni> Co> Mn> Zn> Cd, mostrando que <i>Ballota hirsuta</i> tiene una alta capacidad de bioacumulación de Fe, As, Cr, Cu y Ni; y Pb (en Mazarrón). Se concluye que <i>Ballota hirsuta</i> podría ser útil como especie fitoextractora para Cr, Cu, As y Ni, mientras que puede ser utilizado como especie de fitostabilización para Zn, Co, Pb y Cd
García Lorenzo, M.L., et al., 2018	Sediment cores, Bioaccessibility, Potentially toxic elements, SEM, AVS, Portman Bay	Potential bioavailability assessment and distribution of heavy metal (oids) in cores from Portman Bay (SE, Spain). https://doi.org/10.1144/geochem2018-054	Se estudiaron materiales de la Bahía de Portman para evaluar el grado de contaminación y riesgo ecológico relacionado con Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs), combinando la geoquímica y la mineralogía. Los resultados muestran que los sedimentos son esencialmente arenosos (> 80%). Los minerales más importantes son: fases de hierro como siderita, óxidos de hierro e hidróxidos y piritita; minerales de arcilla tales como clinocloro, greenalita y biotita y cuarzo. También aparece jarosita y carbonatos como calcita y dolomita. El contenido total de EPTs es muy alto mientras que el contenido soluble es bajo. Los resultados de la extracción bioaccesible muestra que Zn y Cd son más bioaccesibles en la fase intestinal (medio alcalino), mientras que el resto de los elementos tienen mayor disponibilidad en el estómago (ácido). La relación SEM / AVS es menor que la unidad en la mayoría de las muestras, lo que indica que hay suficiente azufre por lo que sí

AUTOR(S) AÑO PUBLICACIÓN	PALABRAS CLAVE	TÍTULO	RESULTADOS
			<p>hubiera una liberación de metales, podrían precipitarse como sulfuros. Se concluye que en este estudio se utilizan las herramientas necesarias para un correcto procedimiento de evaluación de riesgos, tanto en un escenario actual como futuro y permite la selección de la mejor tecnología para la recuperación de la Bahía de Portman</p>
<p>Khademi, H., et al., 2018</p>	<p>Atmospheric particulates, Heavy metals, Mine tailings, Environmental risk, Source identification</p>	<p>Provenance and environmental risk of windblown materials from mine tailing ponds, Murcia, Spain. Environmental Pollution 241 (2018) 432-440</p>	<p>Se estudiaron las principales propiedades físicas y geoquímicas de los materiales erosionados por el viento en las balsas de estériles mineros del distrito minero de la Unión. Las partículas erosionadas por el viento se recolectaron mensualmente a 3 alturas diferentes (20, 50 y 80 cm) desde el suelo durante un período de un año completo con 4 colectores de polvo. En las muestras de polvo y de suelo se determinó pH, distribución de tamaño de partícula, conductividad eléctrica, contenido de carbonato de calcio, así como las concentraciones de, Pb, Cu, Zn, Cd, Mn, Co, Ni, Ti y Zr. Los resultados muestran una textura muy gruesa, ligeramente salina. En las muestras de polvo la concentración de Cd= 18 mg kg⁻¹, Mn= 1254 mg kg⁻¹, Pb= 1831 mg kg⁻¹, y Zn=5747 mg kg⁻¹ son extraordinariamente altas, mientras que Co, Ni y Cu mostraron concentraciones dentro del rango de concentraciones de fondo encontradas en la corteza terrestre (3.8, 12 y 60mg kg⁻¹ respectivamente). Los resultados concluyen que la concentración de metales de las superficies de las balsas de estériles mineros es mayor que la de los suelos estudiados. Se concluye que las minas abandonadas así como las balsas de estériles mineros deben ser rehabilitados con tecnologías apropiadas y bien estabilizados y/o cubiertos por vegetación natural apropiada para controlar la transferencia, principalmente por aire, de materiales ambientalmente peligrosos a otras zonas</p>
<p>Martínez Oro, D., et al., 2019</p>	<p>Plant interaction, Mining contamination, Stable isotopes, Phytomanagement, Semiarid climate</p>	<p>Nutrient limitation determines the suitability of a municipal organic waste for phytomanaging metal (loid) enriched mine tailings with a pine-grass co-culture. Chemosphere 214 (2019) 436-444</p>	<p>Se estudió la respuesta, del efecto de una enmienda orgánica (residuos orgánicos municipales), de dos especies <i>Pinus halepensis</i> y <i>Piptatherum miliaceum</i> que crecen sobre un suelo contaminado de metaloides procedentes de la actividad minera. Los resultados ponen de manifiesto que la enmienda mejoró las deficiencias de P y estimuló la producción de biomasa de ambas especies (10 veces para el pino; 90 veces para el pasto), lo que lleva a un N/P más equilibrado. <i>P. miliaceum</i>, es una especie de pasto, adecuada para los trabajos de fitorremediación de suelos contaminados por metaloides, dado que presenta una alta producción de biomasa junto con una baja concentración de metales en las partes comestibles</p>

En la Tabla 3 se resumen los proyectos de investigación realizados en la Sierra Minera y su área de influencia el Mar Menor de diversos organismos científicos.

Tabla 3.- Resumen de proyectos y líneas de investigación de la Sierra Minera y su área de influencia el Mar Menor.

INVESTIGADOR RESPONSABLE	ÓRGANO GESTOR	FECHA	TÍTULO
D025-03. Edafología Ambiental, Química y Tecnología Agrícola. Investigador Responsable: JOSÉ ÁLVAREZ ROGEL. Universidad Politécnica de Cartagena			
Héctor Miguel Conesa Alcaráz	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 01-JUL-15 Fecha Fin: 30-JUN-18	Evaluación ecofisiológica y ecotoxicológica del empleo combinado de biochar y especies arbóreas autóctonas para restaurar/estabilizar residuos mineros de la Sierra de Cartagena-La Unión
Héctor Miguel Conesa Alcaráz	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 01-ENE-11 Fecha Fin: 31-DIC-15	Utilización de especies vegetales autóctonas para restaurar/estabilizar residuos mineros de la Sierra de Cartagena-La Unión
José Álvarez Rogel	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 01-ENE-09 Fecha Fin: 31-DIC-13	Depuración de aguas eutrofizadas en humedales afectados por residuos mineros en el entorno del Mar Menor: Consecuencias del acondicionamiento de cauces y efectos del carbonato cálcico y las condiciones
José Álvarez Rogel	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 01-ENE-05 Fecha Fin: 31-DIC-07	Papel de los humedales costeros del Mar Menor en la depuración de aguas con elevado contenido en nutrientes: mecanismos y procesos en el sistema suelo-agua-planta
Héctor Miguel Conesa Alcaráz	AGENCIA ESTATAL DE INVESTIGACIÓN	Fecha Inicio: 01-ENE-18 Fecha Fin: 31-DIC-20	Sostenibilidad en el fitomanejo de suelos contaminados por residuos mineros: Aspectos microbiológicos y ecofisiológicos
José Álvarez Rogel	MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD	Fecha Inicio: 30-DIC-16 Fecha Fin: 29-DIC-19	Funcionalidad y resiliencia de suelos frente al cambio climático en ambientes mediterráneos afectados por residuos mineros: aspectos ecotoxicológicos y remediación con biochar
Héctor Miguel Conesa Alcaráz	MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD	Fecha Inicio: 01-ENE-15 Fecha Fin: 31-DIC-18	Fitomanejo de residuos mineros en entornos semiáridos empleando biochar y especies arbóreas autóctonas: aspectos ecotoxicológicos y ecofisiológicos
José Álvarez Rogel	MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD	Fecha Inicio: 01-ENE-14 Fecha Fin: 31-DIC-17	Dinámica de metales y evaluación de la toxicidad de residuos mineros con hidromorfia usando bioensayos de plantas: remediación con biochar de RSU y de lodos de EDAR
Héctor Miguel Conesa Alcaráz	MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	Fecha Inicio: 31-DIC-11 Fecha Fin: 31-DIC-15	Aplicaciones biotecnológicas para fitoestabilizar balsas mineras con especies vegetales pioneras en el SE Ibérico: estudio de los aspectos ecofisiológicos y sucesionales
José Álvarez Rogel	MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA	Fecha Inicio: 01-OCT-07 Fecha Fin: 28-SEP-11	Dinámica de metales pesados, arsénico y fósforo en el sistema suelo-agua-planta en humedales contaminados por residuos mineros: ensayos sobre el efecto del carbonato cálcico y las condiciones de hidromorfía. (GGL2007-64915)

INVESTIGADOR RESPONSABLE	ÓRGANO GESTOR	FECHA	TÍTULO
José Álvarez Rogel	MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA	Fecha Inicio: 13-DIC-04 Fecha Fin: 12-DIC-07	Evaluación de los riesgos asociados a la presencia de residuos mineros en saladares costeros del Mar Menor. Procesos de movilización de metales en los suelos y bio-acumulación en plantas y moluscos
José Álvarez Rogel	MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Fecha Inicio: 28-DIC-01 Fecha Fin: 28-DIC-04	Evolución de los suelos y la vegetación en saladares mediterráneos semiáridos en relación con las actividades antrópicas de su entorno.
D025-02. Gestión, Aprovechamiento y Recuperación de Suelos y Aguas. Investigador responsable: ÁNGEL FAZ CANO. Universidad Politécnica de Cartagena			
María Ángeles Muñoz García	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 01-JUL-14 Fecha Fin: 31-DIC-16	Formación de suelos en depósitos de residuos mineros mediante la aplicación de biocarbón y fitoestabilización: factores reguladores del secuestro de carbono y de la formación de agregados estables
Ángel Faz Cano	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 01-ENE-11 Fecha Fin: 31-DIC-15	Monitorización ambiental de metales pesados en suelos y sedimentos afectados por diversas actividades antrópicas en la región de Murcia: análisis de riesgos para la población y los ecosistemas
Ángel Faz Cano	MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA	Fecha Inicio: 01-ENE-07 Fecha Fin: 31-DIC-08	Dinámica de metales pesados y efluentes ácidos en suelos enmendado con diferentes residuos del sector productivo con vistas a su recuperación mediante fitorremediación
Ángel Faz Cano	MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Fecha Inicio: 15-OCT-05 Fecha Fin: 14-OCT-07	Utilización de residuos inertes de la industria del mármol y purines de cerdo para la recuperación de suelos y aguas acidificadas y contaminadas por metales pesados.
Ángel Faz Cano	VARIOS	Fecha Inicio: 01-ENE-00 Fecha Fin: 31-DIC-02	Uso del suelo y cambio global en ambientes semiáridos: determinación del balance de carbono bajo diferentes condiciones de manejo y su influencia en la degradación del suelo.
Ángel Faz Cano	EUROPEAN COMMISSION	Fecha Inicio: 01-JUL-16 Fecha Fin: 30-JUN-19	Sol precaire
Ángel Faz Cano	EUROPEAN COMMISSION	Fecha Inicio: 01-SEP-10 Fecha Fin: 30-JUN-15	Post-mined polluted landscapes reclamation by means of valorization of different residues
D012-04. Ingeniería de la Tierra y de Recursos Geomineros. Investigador Responsable: Gregorio García Fernández. Universidad Politécnica de Cartagena			
Gregorio García Fernández	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 01-ENE-10 Fecha Fin: 31-DIC-14	Biomonitorización ambiental de una zona minera del SE español: estudio integral de los bioindicadores que ayuden a determinar el riesgo real de contaminación por metales pesados de la cadena trófica y la población
José Ignacio Manteca García	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 01-ENE-03 Fecha Fin: 31-DIC-05	Evaluación del riesgo ambiental de los depósitos de residuos mineros de la Sierra de Cartagena.
Gregorio García Fernández	MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA	Fecha Inicio: 01-OCT-07 Fecha Fin: 31-DIC-10	Movilidad y distribución de metales en la zona no saturada y sus efectos sobre cambios de calidad de aguas subterráneas

INVESTIGADOR RESPONSABLE	ÓRGANO GESTOR	FECHA	TÍTULO
Gregorio García Fernández	MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Fecha Inicio: 13-DIC-04 Fecha Fin: 12-DIC-07	Estudio integrado de la calidad del agua en zonas de abandono minero. Evaluación de los efectos sobre el medio hídrico superficial y subterráneo y de las posibles acciones para su atenuación
José Ignacio Manteca García	MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Fecha Inicio: 28-DIC-01 Fecha Fin: 27-DIC-04	Procesos de transferencia de contaminantes metálicos al medio hídrico en zonas de minería abandonada en condiciones de clima semiárido
Contaminación de suelos. Investigador responsable: Carmen Pérez Sirvent. Universidad de Murcia.			
Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE CULTURA, EDUCACIÓN Y TURISMO. COMUNIDAD AUTÓNOMA	Fecha Inicio: 1996 Fecha Fin: 1997	Problemática de Diagnostico de Contaminación y Análisis de riesgos (dispersión y bioacumulación en sedimentos Marinos) con alto contenido en metales pesados
Carmen Pérez Sirvent	PROFIT. MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Fecha Inicio: 2000 Fecha Fin: 2000	Empleo de lodos procedentes de la fabricación de fosfato bicálcico como estabilizador de residuos industriales y suelos contaminados por metales pesados
Carmen Pérez Sirvent	PROFIT. MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Fecha Inicio: 2001 Fecha Fin: 2003	Revalorización de residuos industriales (lodos de bicálcico y lodos de corte de mármol) en el desarrollo de técnicas de tratamiento innovadoras en suelos contaminados y RTP's.
Carmen Pérez Sirvent	AGENCIA LEONARDO. COMUNIDAD EUROPEA	Fecha Inicio: 2002 Fecha Fin: 2005	Traitement des sols pollués. Projet Leonardo TRASP (2002 – 2005)
Carmen Pérez Sirvent	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 2003 Fecha Fin: 2006	Evaluación de la contaminación difusa de metales pesados en áreas próximas a zonas de actividad minero-metálicas en la CARM
Maria Jose Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE INDUSTRIA Y MEDIO AMBIENTE. CARM.	Fecha Inicio: 2005 Fecha Fin: 2006	Convenio Consejería Industria y Medio Ambiente para el desarrollo de estudios en materia de suelos contaminados
Carmen Pérez Sirvent	MEC, PROFIT	Fecha Inicio: 2005 Fecha Fin: 2006	Investigación y desarrollo para nuevos usos en la utilización de árido reciclado destinados a reducir emisiones de CO ₂ , recuperación de suelos contaminados y reutilización como árido en construcción
Carmen Pérez Sirvent	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE	Fecha Inicio: 2005 Fecha Fin: 2007	Descontaminación de suelos con metales pesados mediante tecnologías in situ con valorización de RCDs
Carmen Pérez Sirvent	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE	Fecha Inicio: 2005 Fecha Fin: 2007	Uso de técnicas ecoeficientes en la descontaminación de suelos con metales pesados mediante tecnologías in situ con valorización de residuos
Carmen Pérez Sirvent	MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	Fecha Inicio: 2008 Fecha Fin: 2011	Recuperación de suelos contaminados por metales pesados: Tecnologías. Sostenibles en el marco de la propuesta D. Europea para la protección del suelo

INVESTIGADOR RESPONSABLE	ÓRGANO GESTOR	FECHA	TÍTULO
Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE AGUA, AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE	Fecha Inicio: 27-OCT-16 Fecha Fin: 31-DIC-16	Nivel de referencia de la movilización de (EPTS) asociados a sedimentos del Mar Menor. Ensayos preliminares
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	GEOPRO	Fecha Inicio: 1996 Fecha Fin: 1997	Origen de la contaminación de suelos en la finca El Pino
M. Senent	HACIENDA EL PINO	Fecha Inicio: 1997 Fecha Fin: 1998	Estudio de la contaminación de la finca agrícola "Hacienda el Pino" y de sus posibilidades de recuperación.
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN AMBIENTAL. CONSEJERÍA DE MEDIOAMBIENTE. CARM	Fecha Inicio: 1996 Fecha Fin: 1997	Investigación en Contaminación de Suelos
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN AMBIENTAL. CONSEJERÍA DE MEDIOAMBIENTE. CARM	Fecha Inicio: 1997 Fecha Fin: 1999	Investigación en Contaminación de Suelos
Josefa Martínez Sánchez y Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, AGUA Y MEDIO AMBIENTE. CARM	Fecha Inicio: 1999 Fecha Fin: 2000	Investigación en Contaminación de Suelos
Alberto Barba Navarro	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 2002 Fecha Fin: 2004	Contaminación orgánica (residuos de plaguicidas) e inorgánica (metales pesados y fertilizantes) en el entorno del Mar Menor bajo influencia de la agricultura intensiva del campo de Cartagena
Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, AGUA Y MEDIO AMBIENTE. CARM	Fecha Inicio: 2000 Fecha Fin: 2003	Análisis de riesgos en suelos contaminados y actividades potencialmente contaminantes de suelos
Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, AGUA Y MEDIO AMBIENTE. CARM	Fecha Inicio: 2003 Fecha Fin: 2004	Elaboración de los criterios de calidad del suelo para la caracterización y clasificación de suelos contaminados en la CARM.
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS, VIVIENDA Y TRANSPORTES	Fecha Inicio: 2004 Fecha Fin: 2005	Nuevas tecnologías para la recuperación de suelos contaminados
Carmen Pérez Sirvent	PROLIMAR	Fecha: 2004	Estudio mineralógico de un material de construcción
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS, VIVIENDA Y TRANSPORTES	Fecha: 2005	Trabajos sobre nuevas tecnologías para la recuperación de suelos contaminados

INVESTIGADOR RESPONSABLE	ÓRGANO GESTOR	FECHA	TÍTULO
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS, VIVIENDA Y TRANSPORTES	Fecha: 2007	Nuevas tecnologías para la recuperación de suelos contaminados
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	FUNDACIÓN CLUSTER CONSEJERÍA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO	Fecha: 2008	Delimitación de la zona de influencia minera y modelo de dispersión de metales pesados en el Campo de Cartagena
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	FUNDACIÓN CLUSTER CONSEJERÍA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO	Fecha: 2008	Fuentes contaminantes en el Mar Menor y Campo de Cartagena
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE – TRAGSA. 2008	Fecha: 2008	Proyecto Piloto de recuperación de los suelos contaminados de la Bahía de Portman
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS, VIVIENDA Y TRANSPORTES	Fecha: 2008	Estudio de compatibilidad de materiales para su uso en recuperación de suelos contaminados
Ángel Pérez Ruzafa	CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA	Fecha Inicio: 20-NOV-2009 Fecha Fin: 20-MAY-2010	Estudio de dispersión de los vertidos existentes en la laguna costera del Mar Menor y los análisis coste-eficacia de la no aplicación de las medidas correctoras oportunas para la mejora de la calidad de las aguas en esta laguna
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	TRAGSA	Fecha Inicio: 22-DIC-2009 Fecha Fin: 23-DIC-2010	Investigación aplicada para el desarrollo y optimización de la tecnología de recuperación de los suelos contaminados de la bahía de Portman
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	INSTITUTO EUROMEDITERRÁNEO DEL AGUA	Fecha Inicio: 02-12-2009 Fecha Fin: 31-DIC-2010	Modelización hidrológica en zonas semiáridas en el Campo de Cartagena en relación con los aportes de contaminantes y drenajes superficial
María José Martínez Sánchez. Carmen Pérez Sirvent	TRAGSA	Fecha Inicio: 2011 Fecha Fin: 2012	Asistencia técnica para la investigación de la tecnología de recuperación de sedimentos contaminados
Sostenibilidad del Sistema Suelo-Planta. Equipo PhytoRec. Investigador responsable: Pilar Bernal Calderón. CEBAS-CSIC			
Rafael Clemente Carrillo	FUNDACIÓN SÉNECA	Fecha Inicio: 01-ENE-2010 Fecha Fin: 31-DIC-2012	Estudio del efecto de enmiendas del suelo (inorgánicas y orgánicas) en la movilidad y biodisponibilidad de arsénico en suelos contaminados por actividad minera.
Mª Pilar Bernal Claderón	PLAN NACIONAL I+D+I	3 años	Interacción de la materia orgánica con elementos traza en suelos contaminados durante el desarrollo

INVESTIGADOR RESPONSABLE	ÓRGANO GESTOR	FECHA	TÍTULO
			de fitotecnologías de recuperación.

6. RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Tras la revisión y análisis de la bibliográfica realizada, se pone de manifiesto los diferentes impactos y riesgos ambientales identificados, así como los resultados de las diferentes investigaciones llevadas a cabo por un número importante de investigadores pertenecientes a diversos organismos públicos, en el Distrito Minero de Cartagena-La Unión y su área de influencia el Mar Menor.

La Sierra Minera de Cartagena-La Unión, constituye el extremo suroriental de la Cordillera Bética y uno de los distritos mineros más importantes de España y de la Región de Murcia por sus yacimientos minerales de Fe-Pb y Zn (López, 1992; Manteca y Ovejero, 1992). Las actividades extractivas se iniciaron hace 2.500 años. Tuvieron su época de esplendor durante los siglos XIX y XX, y fueron generando crecientes cantidades de estériles que están sometidas a los procesos naturales de meteorización, erosión y a una escorrentía superficial en aumento (Benedicto, J., et al, 2009).

El área de influencia de la Sierra está representada por Ramblas y zonas costeras próximas. En la Figura 4 se representan las principales Ramblas que constituyen la fachada Norte y Sur de la Sierra de Cartagena-La Unión. La cuenca de drenaje de la fachada Norte de la Sierra está constituida por una serie de ramblas entre las que destacan la Rambla de Miranda, el Miedo, las Matildes, Ponce, el Beal y Carrasquilla que desembocan en la Laguna del Mar Menor, mientras que en la fachada Sur son de destacar las Ramblas del Gorguel y Portmán con aportes de materiales a las Bahías del Gorguel y Portmán respectivamente localizadas en el Mar Mediterráneo. La vertiente Mar Mediterráneo estuvo sometida a vertidos de estériles mineros que se iniciaron en el año 1958, tras la instalación de un lavadero de mineral en la Bahía de Portmán.

En la Tabla 4 se resumen las principales características de las ramblas de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión (García García, C., 2004).

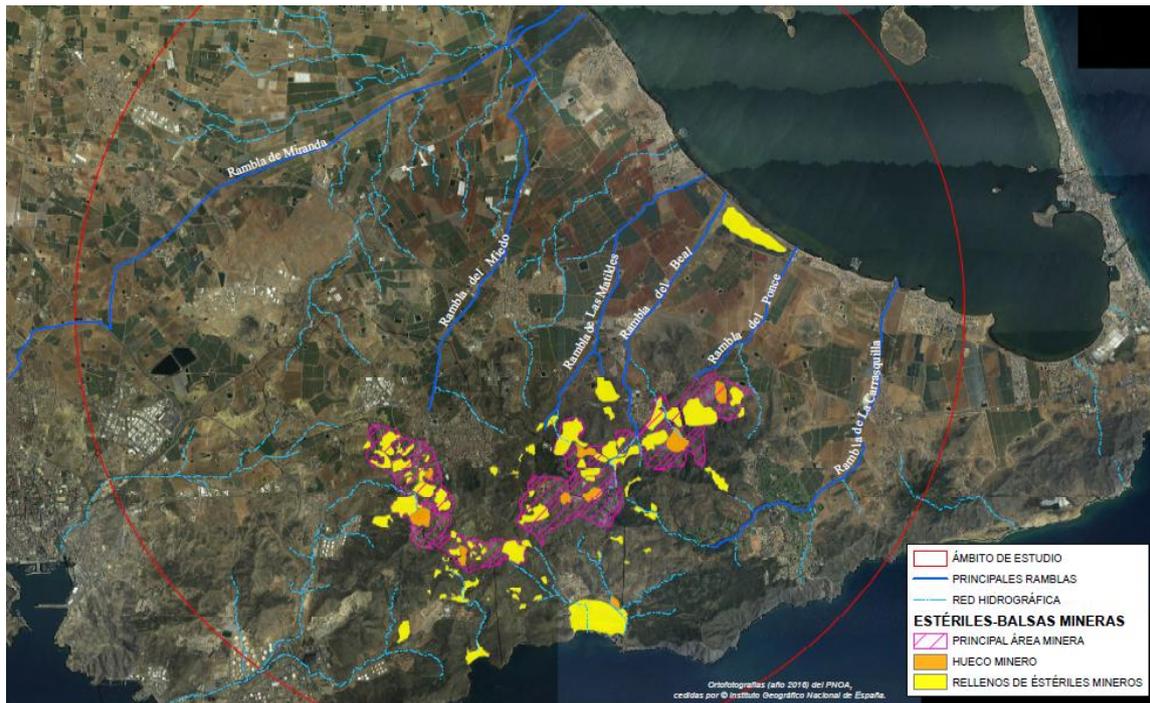


Figura 4.- Principales ramblas que tributan al Mar Menor y Mar Mditerráneo (Fuente: elaboración propia).

Tabla 4.- Características de las Ramblas del Distrito Minero de Cartagena-La Unión (García García, C., 2004).

Rambla	Vierten a:	Superficie (km ²)	Perímetro (Km)	Longitud de los cauces (km)	Desnivel absoluto (m)	Pendiente media (%)
La Carrasquilla	Mar Menor	29	25.82	10.60	232	1.25
Ponce		11.96	16.66	6.46	384	3.08
Beal		7.6	17.35	7.22	242	1.92
Matildes		17.38	26.15	6.73	379	3.22
Miedo		36.87	30.56	7.78	386	2.84
Portman	Mar Mediterráneo	10.77	16.09	2.28	302	7.54
Gorguel		3.4	10.4	4.0	322	4.61
Escombreras		26.77	26.47	6.72	221	1.63
Santa Lucía		5.05	10.1	2.92	210	4.12
El Hondón		19.55	23.99	7.48	198	1.52

En cuanto a geología, el área de estudio pertenece a la denominada zona Bética s.s. o dominio interno y se caracteriza por estar constituida por el apilamiento estructural de tres mantos tectónicos complejos, afectados por metamorfismo de grado decreciente de abajo a arriba tanto dentro de cada complejo como en la serie completa.

En la Figura 5 se puede observar la riqueza de materiales, que junto a las escombreras, se encuentran en la parte central de la Sierra Minera. La vertiente Mar

Menor está caracterizada por las arenas que constituyen la franja Litoral. Mientras que en la Vertiente Mediterránea predominan los materiales carbonatados, los esquistos, cuarcitas y micaesquistos entre otros.

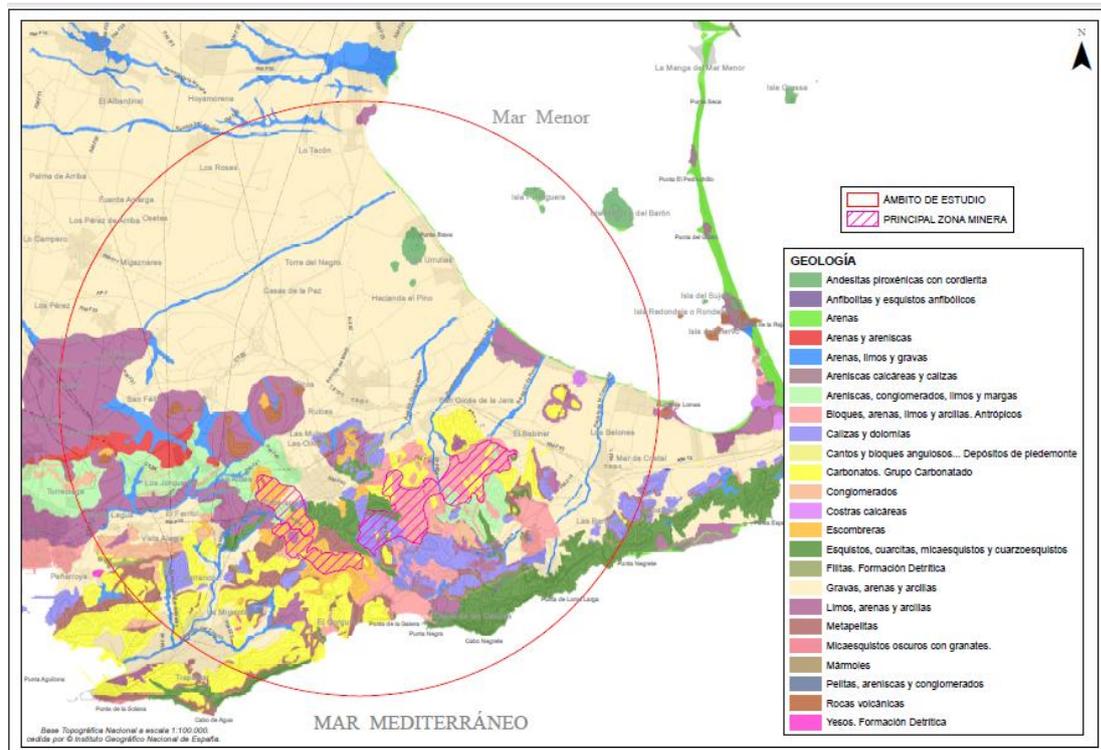


Figura 5.- Geología de la zona de estudio. (Fuente: elaboración propia).

Los suelos de la Sierra Minera y su área de influencia presentan un contenido medio en arcilla del 22%, los máximos valores se dan en suelos rojos del Campo de Cartagena. Los suelos de la Sierra Minera presentan pH ácidos, como consecuencia de la alteración supergénica de sulfuros y contenido medio en sales de 3.3 dS/m. El contenido medio en materia orgánica de los suelos del ámbito de estudio se sitúa en torno al 1.4%

Los tipos de suelos dominantes del área de estudio se muestran en la Figura 6. La parte central de la Sierra Minera está caracterizada por la acumulación de estériles mineros. Están ampliamente representados los Antrosoles úrbicos, que son el resultado de actividades humanas que provocan modificaciones profundas en los horizontes originales del suelo, o los han enterrado, debido a la remoción o perturbación de los horizontes de superficie, apertura de tajos, rellenos, etc. Además predominan Litosoles y Xerosoles

Cálcicos. La Vertiente Mar Menor está caracterizada por Arenosoles Ibicos y Solonchaks gléicos de la franja costera y los Xerosoles cálcicos de la zona de cultivo del

Campo de Cartagena. La Vertiente Mediterránea está caracterizada por varios tipos de Litosoles principalmente.

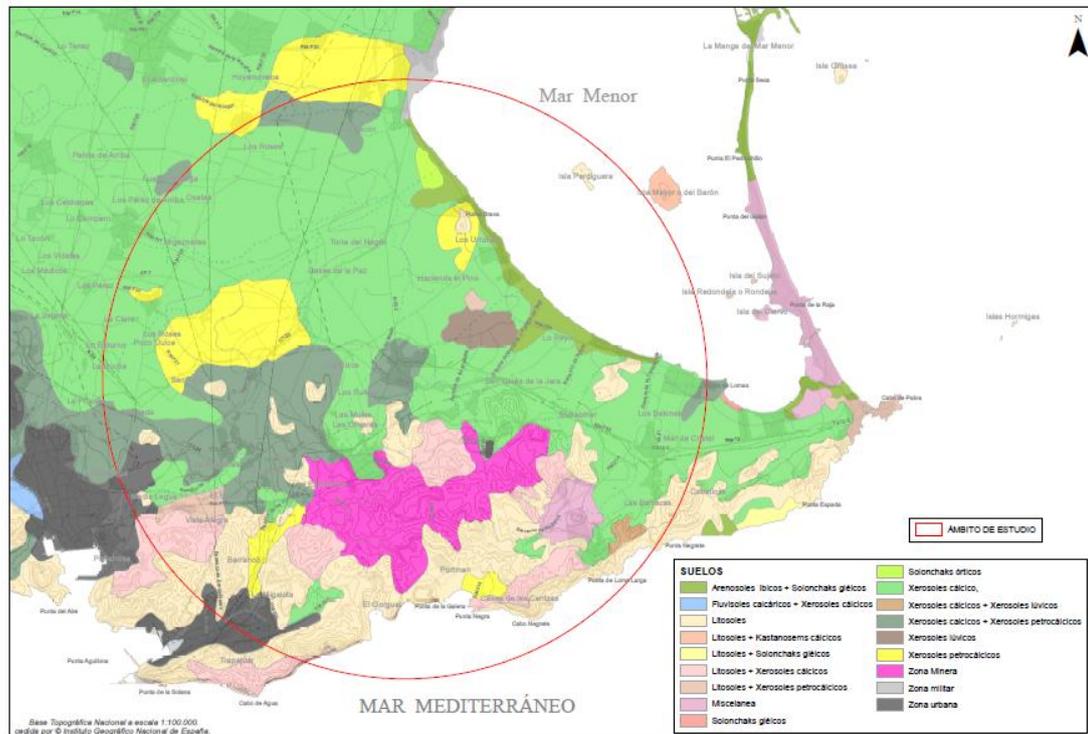


Figura 6.- Suelos de la zona de estudio. (Fuente: elaboración propia).

En la Figura 7 se puede observar que la parte central de la Sierra Minera, donde se localiza la acumulación de estériles mineros, se encuentra afectada por una pendiente alta ó muy alta, siendo superior al 50% en una gran superficie de terreno. La pendiente disminuye hacia la Vertiente Mar Menor, lo que puede favorecer una atenuación natural de la contaminación de elementos potencialmente tóxicos procedente de la Sierra Minera. En cambio, hacia la Vertiente Mediterránea la pendiente sigue siendo muy alta.

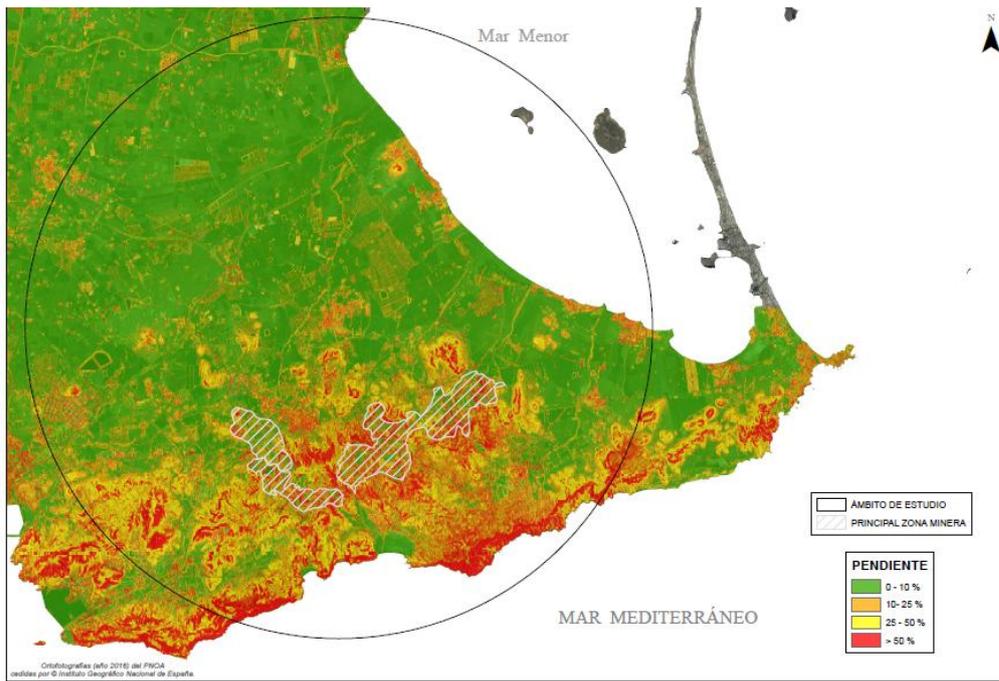


Figura 7.- Pendiente de la zona de estudio. (Fuente: elaboración propia).

En la Figura 8 se representa la erosión potencial de la zona de estudio y se pueden observar zonas de la parte central de la Sierra Minera donde la erosión potencial es muy alta. Este riesgo potencial se mantiene alto hacia la Vertiente Mediterránea y disminuye hacia el Mar Menor.

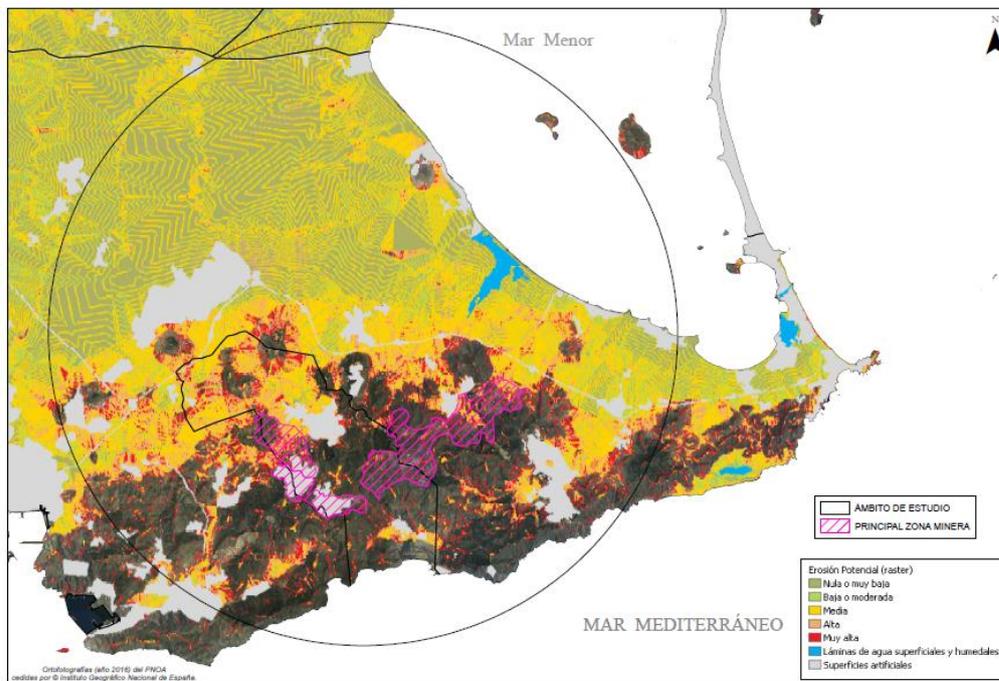


Figura 8.- Erosión potencial de la zona de estudio. (Fuente: elaboración propia).

La vegetación actual se muestra en la Figura 9, se puede observar que predomina la vegetación arbustiva y la asociada a dunas y pequeñas zonas con vegetación de saladares y cultivos en el Mar Menor. La parte de la Sierra Minera se corresponde con matorral, formaciones arbustivas y bosques de pinos. En la zona de la Vertiente Mediterránea predomina el matorral, herbazales y bosque.

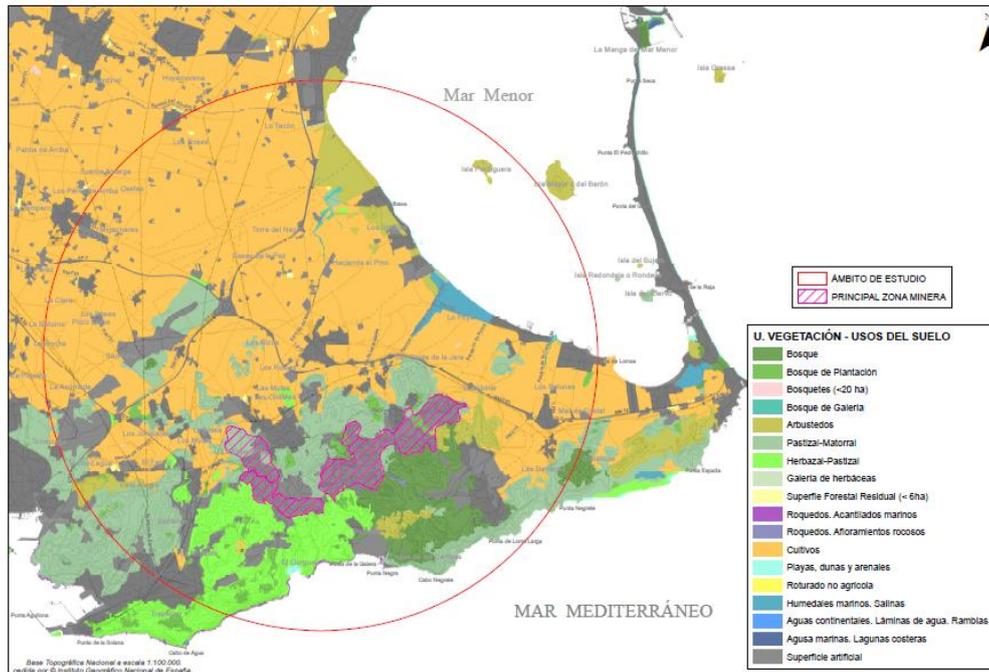


Figura 9.- Unidades de vegetación y usos del suelo de la zona de estudio. (Fuente: elaboración propia).

6.1.- Impactos de la Sierra Minera y su área de influencia (Mar Menor).

La Sierra Minera de Cartagena-La Unión, con una extensión aproximada de 100 km², constituye uno de los distritos mineros más importantes en España, y el de mayor relevancia en la Región de Murcia, por sus yacimientos de Fe-Pb-Zn. Las primeras explotaciones mineras son de tiempos pre-romanos, pero alcanzaron su máximo auge en los siglos XIX y XX, desarrollándose durante este periodo en dos etapas: una entre los años 1842 y 1950 y otra desde 1950 hasta su paralización en el año 1991. Como consecuencia de la actividad minera, se han generado una gran cantidad de residuos que se acumulan en depósitos mineros. Se han identificando un amplio espectro de problemas ambientales, relacionados con las alteraciones producidas por las antiguas industrias extractivas metálicas en la zona de estudio y su área de influencia, especialmente en la laguna costera del Mar Menor.

6.1.1.- Depósitos de estériles mineros.

Los estériles mineros acumulados en pantanos y apilados en escombreras, que tras el cese de la actividad minera no fueron correctamente sellados y/o tapados, son áreas que quedan expuestas a la contaminación en la zona minera abandonada de Cartagena-La Unión. Se encuentran ocupando grandes superficies de terreno. Según los trabajos realizados por García García C., en 2004 identificó y cartografió nueve tipos de residuos: estéril de corta, lodo de flotación depositados en tierra, lodo de flotación depositados en mar, estéril de concentración gravimétrica, estéril de mina, óxidos, rechazo de granulometría, escoria de fundición y estéril de pozo. El área total que ocupan los residuos es aproximadamente de 9 km² y su volumen del orden de 175 Mm³ en tierra, y otros 25 Mm³ en el mar (bahías de Portman, el Gorguel y playa la Galera). En la zona se identificaron 89 balsas en las cuales se almacenan unos 23 millones de m³ y otras 358 escombreras de materiales estériles.

Los materiales que se encuentran en la Sierra Minera son el resultado de una mezcla y sedimentación de materiales que comprende restos del tratamiento mecánico y metalúrgico de las menas beneficiadas constituidos por roca encajante no alterada, roca

encajante alterada, mineralización primaria (sulfuros metálicos), mineralización secundaria (alteración hidrotermal) y productos de alteración supergénica de los sulfuros. Se trata de materiales de naturaleza muy variada y granulometría heterogénea (Cortes Navarro, M.C., 2004; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez López, S., 2010).

Estos tipos de residuos han sido ampliamente estudiados y se pone de relieve que son fácilmente erosionados, especialmente en la zona del SE de España, donde las precipitaciones son de carácter torrencial. Representan una fuente de contaminación de elementos potencialmente tóxicos.

Los focos correspondientes a las fuentes contaminantes presentan materiales de naturaleza muy variada y con granulometría heterogénea. Se puede establecer distintos tipos de fuentes contaminantes o focos que presentan comportamiento distinto por dispersión hídrica tanto soluble como particulada (Navarro Hervás, M.C., 2004; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez Sánchez, M.J. y Pérez Sirvent, C., 2009; Martínez López, S., 2010):

- **Focos tipo 1:** Balsas de estériles mineros con materiales de granulometría muy fina situados en las cotas más elevadas de la Sierra Minera y por tanto puede afectar en distinta forma a otras situadas a menor altura. Coincide con las zonas más afectadas por las explotaciones a lo largo de toda la historia. Cuando la pendiente en la que están situadas es importante, la erosión es muy intensa, ya que están desprovistas de vegetación, y podemos encontrar zonas con abundantes surcos y cárcavas bien definidos, lo que aumenta considerablemente el riesgo de dispersión de contaminantes en forma particulada fundamentalmente.
- **Focos tipo 2:** Escombreras de desmonte con cantos heterométricos, que en algunas ocasiones alcanzan grandes tamaños en las cotas más elevadas de Sierra Minera. Destacan los signos de alteración supergénica en aquellos sitios en que se incrementa material de textura fina. En general, el grado de pedregosidad en esta zona es elevado. Donde la textura es más fina y la pendiente es acusada, los taludes presentan una erosión hídrica muy grave.
- **Foco tipo 3:** Balsas situadas a mitad de ladera. Presenta una escasa compactación del terreno que la hace propicia a la erosión hídrica, siendo frecuentes las cárcavas y surcos clásicos de la erosión de materiales finos. A ello contribuyen la

existencia de ramblas y ramblizos que la atraviesan. Es zona de recogida y de dispersión en forma particulada y soluble muy importante.

- **Focos tipo 4:** Balsas de estériles en las zonas de piedemonte donde se recogen aguas de escorrentía y de lixiviación que permanecen después de las lluvias durante largo tiempo, formando grandes charcas. Es una zona de recogida y por otra parte, puede actuar como foco contaminante. La erosión en forma particulada es menos importante que en los focos tipo 1, 2 y 3, no observándose cárcavas ni surcos que nos indiquen una erosión y pérdida de suelo, como corresponde a una zona de menor pendiente.
- **Focos tipo 5:** Escombreras muy heterogéneas con mezcla de desmontes, estériles de lavadero, gacheras de fundición, etc. Es un material de textura arenosa con un alto grado de alteración. La textura gruesa favorece la menor intensidad de la movilización del material en forma particulada.
- **Foco tipo 6:** En las laderas son frecuentes los pozos de mina con sus escombreras alrededor.
- **Foco tipo 7:** Antiguas escombreras muy mezcladas estabilizadas con vegetación en laderas Norte, se observan unos Antrosoles evolucionados. Su situación en ladera Noreste, favorece la existencia de un microclima más húmedo, lo que ha permitido la instalación de una vegetación natural. Los fenómenos de erosión son muy débiles. Los procesos de disolución, hidratación, hidrólisis y redox se pueden observar, siendo muy numerosas las manchas de sales solubles, limonita, óxidos de Mn, etc. En esta escombrera los suelos que originalmente se formaron eran Antrosoles Úrbicos.
- **Focos tipo 8:** Ramblizos y zonas de piedemonte muy próximas a la sierra y que actúan como zona de recepción y de emisión.
- **Focos tipo 9:** Zonas un poco más alejadas del pie de monte de la Sierra, con pendiente escasa, al estar situada en una zona topográficamente baja, recibe aportes de las zonas más mineralizadas. El riesgo de dispersión en forma particulada es escaso. Se pone de manifiesto un inicio de inmovilización de los

elementos y una neutralización de los lixiviados en los bajos niveles de elemento soluble que presenta este material.

- **Focos tipo 10:** Depósitos situados en zonas más alejadas de la Sierra, como la zona de Lopoyo próxima al Mar Menor. Se ha originado por depósito directo de los estériles mineros, de la misma forma que existen balsas en otros lugares de la Sierra. El depósito se encuentra en una zona excavada junto al mar en suelos similares a los circundantes muy arcillosos, Xerosoles lúvicos, Xerosoles cálcicos y en ocasiones, Luvisoles cálcicos, y en contacto con la zona de Arenosoles que forma la franja costera.

Las características de los residuos mineros han sido ampliamente estudiadas por numerosos investigadores (Manteca Martínez, J.I. & Ovejero Zappino, G. 1992; García García, C., 2004; Navarro Hervás, M.C., 2004; Navarro, M.C., et al., 2006, 2008; Conesa, H.M., et al., 2006; Robles Arenas, V.M., 2007; García, G., et al., 2007; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2008; García, G., et al., 2008; Sánchez i Bassols, M., 2008; Faz, A., et al., 2008; Maria Cervantes, A., 2009; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez Sánchez, M.J. & Pérez Sirvent, C. 2009; Benedicto Albadalejo, J., et al., 2009; Carmona, D.M., et al., 2009; Martínez Pagán, P., et al., 2009; Martínez López, S., 2010; González Fernández, O., 2011; Pérez Sirvent, et al., 2011; García Lorenzo, M.L., et al., 2012a,b; Navarro, M.C., et al., 2012; Carmona Garcés, D.M., 2012; Zonoza, R. et al., 2012; Kabas, S., 2013; Gómez Ros, J.M., et al., 2013; Martínez Martínez, S., et al., 2013; Zornoza, R., et al., 2013; Marimón Santos, J., 2015; Alcolea Rubio, L.A., 2015; Pérez Sirvent, C., et al., 2016; Pellegrini, S., et al., 2016; Muñoz Vera, A., 2016; Rosique López, M.G., 2016; Trezzi, G., et al., 2016; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2017; Caparrós Ríos, A.V., 2017; Sánchez Bisquert, D., 2017; Gabarrón Sánchez, M., 2017; Hernández Pérez, C., 2017; Zornoza, R., et al., 2017; Pérez Sirvent, C., et al., 2018; Gabarrón, M., et al., 2018; García Lorenzo, M.L., et al., 2018; Khademi, H., et al., 2018). Los resultados concluyen que las pilas de residuos mineros se caracterizan principalmente por:

- Contienen materiales ricos en óxidos e hidróxidos de hierro, sulfuros, sulfitos, metales pesados y metaloides.
- Alta concentración de metales pesados y elementos traza.

- Bajo contenido en materia orgánica.
- Alto grado de alteración.
- Permanecen desprovisto de vegetación.
- Materiales con débil compactación.
- Presentan alta acidez debido a la oxidación de los sulfuros y la intensa evaporación.
- Abundantes surcos y cárcavas.
- Contenido en nutrientes bajo.
- Fuerte pendiente.
- Alta tasa de erosión hídrica y eólica que provoca transporte de materiales con alta concentración de metales.
- Elevada reactividad.
- Alto contenido en salinidad.

6.1.2.- Drenaje Ácido de mina (AMD).

Uno de los impactos más importante que ha generado la intensa actividad llevada a cabo durante más de 2500 años en el Distrito Minero de Cartagena-La Unión es la generación de aguas de drenaje ácido de mina. Supone un gran problema medioambiental. Dependiendo del origen de las aguas ácidas, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América las denomina como, drenaje ácido de roca (**ARD**, de sus siglas en inglés) si provienen de roca estéril/desechos de mina o relaves, o como drenaje ácido de mina (**AMD**, de sus siglas en inglés), si proceden de estructuras mineras (US EPA, 2000a) (Pérez Espinosa, V., 2014; Alcolea Rubio, L.A., 2015).

Entre las fuentes que generan drenaje ácido se encuentran los lixiviados de escombreras, las balsas de relaves o tailings, los desagües de galerías subterráneas, cortas o minas a cielo abierto, los residuos de plantas de tratamiento y concentración, y cualquier material que tenga sulfuros susceptibles de ser oxidados (Romero Baena, A., 2005; Martínez Sánchez, M.J. y Pérez-Sirvent, C. 2008; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez López, S., 2010; Carmona Garcés, D.M., 2012).

Se establece la siguiente reacción generalizada: ***Sulfuro metálico + agua + oxígeno = metal soluble + sulfato + H+ en agua***, para la formación de drenajes ácidos de mina. La pirita (FeS_2), es un mineral de hierro que presenta especial importancia en las zonas mineras de extracción metálica. Se encuentra con frecuencia en los residuos mineros, siendo el sulfuro más común de estas zonas mineras. La oxidación de la pirita es la principal causa de la formación de drenajes ácidos (Rose y Cravotta, 1998; Razowska, 2001; Sainz et al., 2003; Grande et al., 2005; Belmonte Serrano, F., et al., 2010; Carmona Garcés, D.M., 2012; Sebla Kabas, 2013; Alcolea Rubio, L.A., 2015).

El clima semiárido de la zona de la Sierra Minera de Cartagena, tiene una influencia importantísima, en el problema que representa la formación del drenaje ácido de mina, en las zonas de acumulación de residuos de estériles mineros. Durante los largos periodos de sequía que se producen en la zona de estudio, se produce el proceso de oxidación, de las diferentes especies de sulfuros, especialmente en la superficie del mineral. Bajo condiciones especialmente áridas, se produce la precipitación de las sales solubles y se forman evaporitas (a este grupo de sales pertenecen los sulfatos metálicos). Se puede observar un elevado grado de oxidación y costras de precipitación de sulfatos sobre la superficie de las balsas de lodos de flotación y depósitos de estériles mineros. Durante los episodios de lluvia, generalmente de carácter torrencial que se produce en la zona de estudio, se produce el lavado de estos minerales oxidados y de los sulfatos solubles contenidos en las superficies de los residuos mineros. La acción erosiva de las lluvias se ve acentuada por la ausencia de diques de retención y cobertura vegetal que caracteriza a la mayoría de pilas de residuos mineros de la zona de estudio (García García, C., 2004; Maria Cervante, A., 2009; Jiménez Martínez, J., et al., 2016).

Las aguas ácidas del drenaje de mina se caracterizan principalmente por su alto contenido en metales y sulfatos en disolución, pH ácido, alta concentración de sedimentos y partículas en suspensión, (Pérez-Sirvent et al., 1999; García García, C., 2004; Cortes Navarro, M.C., 2004; Marín Guirao, L., et al., 2007; Martínez Sánchez et al., 2008; Navarro et al., 2008; Faz, A., et al., 2008; Maria Cervante, A., 2009; Martínez Pagán, P., et al., 2009; García Lorezo, M.L., 2010; Martínez López, S., 2010; Alcolea, A., et al., 2012; Pérez Espinosa, V., 2014; Muñoz Vera, A., 2016; Jiménez Martínez, J., et

al., 2016; Hernández Pérez, C., 2017; Robles Arenas, V.M., 2017; Martín Crespo, T., et al., 2018).

Otros autores como Martínez Pagán, P., et al., 2009, han puesto de manifiesto que la baja resistividad eléctrica que presenta la balsa de Brunita, al ser estudiada mediante la aplicación del método Electrical resistivity imaging (ERI), puede ser descrita como la presencia de fallas, debido a rupturas sufridas en la balsa, y por donde puede dar lugar a la circulación del drenaje ácido de mina que contienen gran concentraciones de metales.

El problema medioambiental de las aguas de drenaje ácido de mina es tan importante, que ha sido ampliamente estudiado por numerosos investigadores en la mayoría de estrategias de remediación centradas en el control de la movilidad de los metales pesados y la mitigación de riesgos del drenaje ácido de mina. Algunos ejemplos son el trabajo realizado por Marín Guirao, L., et al., 2007 donde se estudia la entrada de residuos mineros, que se produce al Mar Menor, a través de dos Ramblas: Beal y Ponce, tras dos episodios de lluvias torrenciales y durante un periodo seco. Los resultados muestran que las escorrentías se caracterizan por la generación de drenajes ácidos de mina, además están cargadas de partículas y metales disueltos que causan toxicidad en las aguas de la laguna. Por otro lado, la investigación realizada por Faz, A., et al., 2008 donde se estudió la utilización de lodos de la producción de cerdos, para reducir el proceso de drenaje ácido de mina, provocado por la movilización de metales pesados en las zonas mineras así como mejorar las condiciones del suelo y favorecer el establecimiento de la vegetación. Martínez López, S., 2010 determinó que las aguas del drenaje ácido de mina reaccionan con materiales particulados de contaminación secundaria situados en las proximidades de las balsas y ramblas, produciendo una liberación de arsénico, tanto mayor cuanto sea la cantidad ligada a sulfatos solubles, yeso y carbonatos. Alcolea, A., et al., 2012, evaluaron la efectividad del tratamiento pasivo (colocación de roca caliza en el cauce de la rambla: OLC) para el tratamiento de las áreas mineras abandonadas, contrarrestando así el drenaje ácido de mina que se produce tras las lluvias en las Ramblas. Los resultados muestran que el tratamiento con (OLC) reduce la entrada de metales pesados al Mar Menor, por la Rambla del Beal, en un orden de magnitud. Es una solución efectiva para mitigar los efectos que se producen por el drenaje ácido de mina en las zonas semiáridas del Mediterráneo. Perez Espinosa, V., 2014, diseñó una experiencia

que tiene como objetivo el estudio del comportamiento de materiales frente al flujo de aguas ácidas, que contienen metales. En 2017, Hernández Pérez, C., aborda la problemática de los drenajes de aguas ácidas, que se producen en las inmediaciones de la Bahía de Portmán, intentado dar una solución viable y ecoeficiente, a través del estudio de movilización de metales en plantas acuáticas utilizadas en fitorremediación de humedales artificiales. Recientemente, Martín Crespo, T., et al., 2018, mediante el uso de la tomografía de resistividad eléctrica (ERT), ha determinado tanto la geometría general de la base del estanque como el espesor de los residuos mineros. Los resultados muestran importantes cantidades de pirita y siderita, así como esfalerita y galena, altos contenidos de metales tóxicos (Cd, Cu, Pb, Sn y Zn) y As. Esto muestra el potencial de los residuos mineros de liberar cantidades importantes de contaminantes a los suelos y a los cursos de agua circundantes (Drenaje Ácido de Mina).

Autores como Chapman, 1983; Al., et al., 2000; Dol et al., 2009 ponen de manifiesto que las aguas ácidas que se generan en estas zonas mineras pueden reaccionar con los carbonatos precipitados durante el proceso de oxidación, produciéndose una neutralización del pH, que supone un primer control en la atenuación de la contaminación por metales, mediante procesos de precipitación, coprecipitación y adsorción.

6.1.3.- Contaminación zonas adyacentes a la Sierra Minera. Mar Menor- Mar Mediterráneo.

6.1.3.1.- Mar Menor.

La laguna salada del Mar Menor es una zona protegida, a través de diferentes figuras y catalogaciones, tal y como se ha descrito en el apartado 3. Es una zona que alberga numerosos valores ambientales y que se encuentra sometida a diferentes presiones antrópicas que la hacen muy vulnerable a diferentes problemas de contaminación. Este apartado se va a centrar exclusivamente en la afección negativa que provoca la entrada de residuos mineros, procedentes de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión, en laguna salada del Mar Menor y sus humedales litorales (Martínez Sánchez, M.J. & Pérez Sirvent, C. 2009). La presencia de residuos mineros con elevado contenido en metales/oídos (sobre todo Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Cu y As) en el Mar Menor y su entorno, es bien conocida desde hace décadas tal y como se muestra en el trabajo realizado por Simonneau en 1973 que ha servido de base para todos los estudios, que durante más de 50 años, se han realizado para estudiar la contaminación por metales pesados presente en

el Mar Menor. El transporte de metales pesados que se da en las ramblas, desde la Sierra Minera al Mar Menor, tras los episodios de lluvias, es tan importante que se estimó en 25 millones de toneladas la cantidad de residuos mineros presentes en la laguna. Se ha llegado a considerar el Mar Menor como un yacimiento minero.

Son numerosos los trabajos de investigación realizados para evaluar y determinar esta contaminación al Mar Menor, especialmente la producida a través del transporte de residuos mineros que se produce por las Ramblas que tributan a la laguna. Por la importante contribución al conocimiento de esta problemática ambiental, a la que se ve sometido el Mar Menor, son de destacar algunas investigaciones como las realizadas por Marín Guirao, L., 2005a; 2005b; 2007a; 2007b; 2008 donde se estudia la entrada y toxicidad de los metales pesados que se produce al Mar Menor desde la Sierra Minera. Se concluye, que se produce entrada de residuos mineros, durante los episodios de lluvia, a través de las Ramblas que tributan al Mar Menor como son El Beal y Ponce. Los resultados muestran que las escorrentías se caracterizan por la generación de drenajes ácidos de mina, además están cargadas de partículas y metales disueltos que causan toxicidad en las aguas de la laguna. Los metales disueltos aparecen principalmente en las zonas cercanas a las desembocaduras de las Ramblas y se eliminan rápidamente de la columna de agua, mientras que los materiales particulados son transportados más lejos y afectan a un área mayor. Como consecuencia, las aguas de la laguna, se vuelven tóxicas, especialmente en las zonas próximas a las desembocaduras como se ha podido estudiar el efecto en *Cymodocea nodosa*. Además, se han realizado bioensayos de toxicidad, empleando tres especies de erizos Marinos y dos especies de anfípodos. La acumulación de metales que presenta *Cymodocea nodosa* pone de manifiesto la biodisponibilidad de los metales para las plantas vasculares. Los sedimentos del Mar Menor también presentan contaminación por metales pesados. Las comunidades de invertebrados bentónicos presentaron cierto nivel de perturbación. Se realizaron análisis de isótopos estables (C y N) para estudiar los poblamientos de invertebrados y peces del Mar Menor. Los límites reglamentarios establecidos en la legislación española sobre productos del mar son superados en la mayoría de las muestras estudiadas. Los resultados muestran que no se produce biomagnificación. Se resalta la importancia que supone la eliminación de las entradas de residuos mineros al Mar Menor, a través de estrategias de remediación que deben de ser desarrolladas por las autoridades competentes.

Pérez Ruzafa, A., et al., 2005 pone de manifiesto que a pesar de que el cese de la actividad minera fue hace más de 50 años, la concentración de metales pesados en los sedimentos del Mar Menor es alta, sobre todo en la parte sur de la Laguna y su entrada es constante. Por ejemplo, se encuentran valores de Pb de 4000 $\mu\text{g} / \text{g}$. Este proceso está contribuyendo a la reducción de la superficie de la laguna. La entrada de metales pesados y elementos traza a la laguna del Mar Menor, a través de las Ramblas, principalmente Beal, Ponce y el Albuñón, se pone de manifiesto en varios trabajos de investigación (Conesa, H.M. & Jiménez Cárceles, F.J., 2007; Sánchez i Bassols, M., 2008; Tovar Frutos, P.J., 2008; Marín, A., et al., 2009; Bernal, M.P., et al., 2009; García Lorenzo, M.L., 2009; Benedicto Albadalejo, J., et al., 2009; Martínez López, S., 2010; González Fernández, O., et al., 2011; Moreno González, R., 2015; Muñoz Vera, A., 2016; Muñoz Vera, A., 2016; Jiménez Martínez, J., et al., 2016; Pérez Sirvent, C., et al., 2017). El impacto generado, en zonas próximas como es el Mar Menor, se debe tanto al vertido directo a las Ramblas (prohibido 1956) como a la erosión que se produce en las zonas desprotegidas de las acumulaciones de residuos minero- metalúrgicos (Robles Arenas, V.M., 2007). Un caso de aporte importante, tanto soluble como particulado, por su proximidad a la orilla del mar, es la balsa de vertidos directos de lodos mineros de Lo Poyo. En esta zona, existen áreas de pH ácido donde la solubilidad de los metales es elevada, lo que permite frecuentemente el aporte de metales solubles procedentes de las eflorescencias que aparecen por evaporación de las aguas de poro en los horizontes superiores (Martínez Sánchez, M.J. y Pérez Sirvent, C., 2009b, 2014).

Los resultados de las investigaciones realizadas para evaluar la influencia de la actividad minera metálica en la composición de los sedimentos del Mar Menor, muestran que la dinámica de sedimentación influye en las características de los sedimentos de la laguna como son el tamaño de partícula, la distribución de minerales, elementos así como la materia orgánica. Pb y Zn están asociados con la fracción de óxidos de hierro y manganeso, mientras que el Cd se asocia a la fracción más móvil y disponible. Otros elementos como Cu, Ni y As no son considerados móviles, al estar enlazados en la estructura mineral del sedimento (Sánchez i Bassols, M., 2008; Vera, A.M., & García, C., 2016; Muñoz Vera, A., 2016). Se utilizan especies de medusas para determinar la biodisponibilidad de elementos traza en el Mar Menor y se obtienen niveles de bioconcentración de metales como Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sn y Pb

extremadamente altos (Muñoz Vera, A., 2016). Los niveles de Zn y Pb encontrados en la carne del molusco *Ostrea edulis* revelan la contaminación por metales pesados en el ecosistema de la laguna (Dassenakis, M., et al., 2010). Se han determinado niveles elevados de Cr y Mn en las plumas de *Phalacrocorax carbo sinensis* localizados en el Mar Menor. En riñón e hígado se produce la mayor acumulación de Se y resto de metales (Navarro García, G., et al., 2010).

Las investigaciones realizadas para determinar los efectos de los metales pesados y elementos traza en los humedales costeros del Mar Menor; la Marína del Carmolí y el Saladar de Lo Poyo concluyen que existen riesgos de toxicidad y de transferencia de metales pesados y As a la cadena trófica en los saladares y en el entorno lagunar asociado (Jiménez Cárceles, F.K., & Álvarez Rogel, J., 2008; Álvarez Rogel, J., et al., 2009; Maria Cervantes, A., 2009; Maria Cervantes, A., et al., 2009; Maria Cervantes, A., 2010; González Alcaráz, M.N., 2012; Álvarez Rogel, J., et al., 2016). García-Aróstegui, J.L., et al., 2016, expone la importancia de un mayor conocimiento hidrogeológico del acuífero multicapa, así como de los patrones y dinámicas de uso y consumo para llevar a cabo una mejor gestión de la cuenca y del Mar Menor. En el trabajo se analiza como el impacto de la minería influye sobre los flujos y calidad de las aguas subterráneas. Se propone soluciones como la declaración de toda la superficie del Distrito Minero de la Sierra de Cartagena-La Unión como una zona vulnerable, con fito-estabilización y tratamiento químico de residuos mineros.

Los metales pesados y el arsénico, solubles y particulados, influyen en el área del arco sur de la cuenca. Existe una contaminación primaria, secundaria y terciaria, en gradiente negativo desde la Sierra Minera, con valores muy por encima de los niveles genéricos de referencia del Campo de Cartagena (Martínez Sánchez, M.J. & Pérez Sirvent, C., 2007; Pérez Sirvent, C., et al., 2009). Es de resaltar que los suelos rojos tienen alto contenido geogénico de metales pesados. Existe una atenuación de la contaminación hacia el Mar Menor, debido a la disminución de la solubilidad de los compuestos de arsénico y metales pesados, por sus reacciones con el carbonato cálcico de los suelos carbonatados de las zonas circundantes a dichas explotaciones mineras, además de con compuestos de hierro y otros. Dicha atenuación con carbonatos no tiene lugar en contacto con suelos rojos descarbonatados por lo que en estas zonas aumenta el riesgo de que lleguen metales pesados al mar Menor sin neutralizar. Estos contaminantes alcanzan

la laguna con lluvias torrenciales (Navarro Hervás, M.C., 2004; Navarro Hervás, M.C., et al., 2006; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez López, S., 2010). En el arco sur, desde las proximidades de la rambla de Miranda hasta la rambla de Atamaría- la Carrasquilla, se ha llevado a cabo un amplio estudio geoquímico y de simulaciones de movilización de arsénico y metales pesados, en diferentes condiciones ambientales (con agua de lluvia, condiciones oxidantes, condiciones complejantes y reductoras, contacto con aguas ácidas, transferencia a las plantas (García Lorenzo, M.L., et al., 2012b, 2014a, 2014b, 2014c, 2016; Martínez López, S., 2009; Martínez López, S., et al. 2014; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2012, 2013; Navarro Hervás, M.C., et al., 2006, 2012; Pérez Sirvent, C., et al., 2012, 2015).

6.1.3.2.- Mar Mediterráneo.

Los impactos sufridos en la vertiente mediterránea por las acciones de la actividad minera llevadas a cabo en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión también han sido muy notables. Se estima que 25 Mm³ de lodos han sido vertidos al Mar Mediterráneo, y se crearon playas artificiales como son la Bahía de Portman con una superficie de 0.8 km² y la Bahía del Gorguel con 0.2 km². Esto representa problemas muy destacados, de ahí que hayan sido ampliamente estudiados por numerosos autores. Son de destacar las investigaciones llevadas a cabo por el Grupo de Contaminación de Suelos de la Universidad de Murcia (Aguado Juan, I., 2015; García Lorenzo, M.L., et al., 2009a, 2009b, 2014, 2018; González Ciudad, E., 2014, 2015; Hernández Pérez, C., 2017; Marimón Santos, J., 2015; Martínez López, S., 2015; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2008, 2014, 2015, 2017^a, 2017^b; Pérez Espinosa, V., 2014, 2015; Pérez Sirvent, C., et al., 2007, 2014, 2010, 2016, 2017^a, 2017^b, 2018; Pérez Sirvent, C. & Martínez Sánchez, M.J., 2015; Veiga Del Baño, J.M., 2011). La Bahía de Portman representa una de las zonas más emblemáticas debido a su contaminación por el vertido directo de los lodos de flotación de las actividades mineras desarrolladas por la Sociedad Peñarroya España, a través del Lavadero Roberto que trataba 1000 t/día, llegando hasta 8000 t/día. Los estériles mineros, junto con los restos de sustancias utilizadas en el proceso de flotación diferencial (600 kg/día de cianuro sódico, ácido sulfúrico, xantatos, sulfato de cobre, etc.), eran vertidos al mar a través de dos tuberías de más de 2 km de longitud, que

recorrían todo el perfil de la bahía original atravesando el Monte de Punta Galera. En estos trabajos, se caracteriza, a través de un análisis físico, químico y mineralógico, los materiales de la bahía de Portman, tanto en superficie como en profundidad para realizar una zonificación preliminar del área afectada. Los resultados muestran que los residuos consistenten principalmente en materiales minerales (galena, pirita y esfalerita), filosilicatos, además de siderita, óxidos de hierro y, a veces, productos de alteración tales como jarosita, alunita, caolinita y greenalita. Presentan una granulometría de textura fina (si son estériles sin lavar) y textura gruesa (estériles lavados). Además, presentan un alto contenido en elementos traza, pH ácido y minerales de los procesos erosivos. En las zonas de contaminación primaria presentan valores de concentración media de metales pesados y elementos traza muy altos (mg/kg): Zn=7617, Pb=2165, Cd=79, Fe=232893, As= 1543, Cu= 151, Mn= 8220, Hg= 275. Se estudió la relevancia ambiental de las eflorescencias, la capa superior del suelo y las aguas superficiales de la zona minera abandonada de El Gorguel y Portman. Se determinó As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn en todas las muestras. Los resultados muestran que el área de estudio está muy contaminada. Se caracteriza por un alto contenido de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), pH ácido y minerales resultantes de la alteración supergénica (sales de metales solubles, principalmente sulfatos, hidroxisulfatos de hierro y oxihidróxidos de hierro. En las muestras de suelo, el riesgo de la población asociado a la exposición mostró riesgos superiores a los de referencia, especialmente en niños. En las eflorescencias, estos valores fueron más bajos pero aún inaceptables. Se concluye que las eflorescencias son de importancia para el monitoreo dado que están involucradas en los ciclos de retención y liberación de iones de hidrógeno, sulfato y elementos potencialmente tóxicos. En general, se observó que el arsénico en las muestras analizadas representa un riesgo potencial para la salud humana por ingestión. También se han evaluado los procesos que afectan a las aguas de la Bahía de Portman mediante el análisis de isótopos estables, concretamente H y O, así como S y O de la disolución de los sulfatos. También se analizan las aguas de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Los resultados isotópicos sugieren que los sulfatos procedentes de la Sierra Minera y de la Bahía de Portman tiene un origen similar, principalmente derivados de la oxidación del sulfuro y el transporte de los sulfatos hidratados. Para los procesos de fitoextracción de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs), de un área contaminada por residuos mineros se estudió la viabilidad de tres

macrófitos acuáticos; *Phragmites australis*, *Juncus effusus* e *Iris pseudacorus* para lo que se construyó un estanque artificial y se estudiaron muestras de arenas amarilla y negras, procedentes de la Bahía de Portman. Las muestras de suelo mostraron un alto contenido de (EPTs). Los resultados muestran que los contenidos de (EPTs) en las raíces de las plantas de las muestras amarillas son más altos que las de las arenas negras. Los resultados del FB fueron superiores a la unidad. El contenido de (EPTs) en las hojas es bajo, y los resultados de TF son menores a la unidad en casi todas las muestras. Se concluye que es posible utilizar las especies estudiadas para la fitostabilización de suelos contaminados con (PTEs). Se estudió la aplicación de varios bioensayos para determinar la toxicidad de los sedimentos recogidos en la Bahía de Portman contaminados por actividades mineras. Se realizaron tests de toxicidad en elutriado (*Vibrio fischeri*), mientras que en el sedimento (especies de plantas *Sorghum saccharatum*, *Lepidium sativum* y *Sinapis alba* y de crustáceos *Heterocypris incongruens*). Los resultados muestran que todas las muestras de lixiviados no fueron tóxicas para el bioensayo de *Vibrio fischeri*. Sin embargo, los sedimentos fueron tóxicos para las plantas y ostrácodos. Los resultados del análisis de correlación mostraron que la toxicidad fue positiva con el contenido total de Pb y Zn, y con As soluble. Benhamed, S., et al., 2016, 2007 estudiaron la incidencia de los metales procedentes de los sedimentos contaminados de la Bahía de Portman (arenas negras y arenas amarillas) en las muestras de dorada (*Sparus aurata*) que fueron expuestas, durante dos semanas a estos sedimentos. Se estudió la bioacumulación de metales en hígado, músculo y piel. Los resultados muestran que los sedimentos estaban altamente contaminados con metales (As, Pb, Zn, Cd, Fe, Cu). Después de dos semanas de exposición el Cd se acumula sólo en el hígado. De manera interesante, la expresión de los genes *mta*, *hsp 70* y *hsp 90* se vio significativamente regulada en la piel. Los resultados sostienen que la sensibilidad al estrés fue dependiente de los órganos y que la piel fue el tejido más sensible a las condiciones de estrés por metales.

Otros investigadores como Augusto Cesar en 2003 también llevaron a cabo una evaluación de la toxicidad de los sedimentos de la Bahía de Portmán a través de dos grupos de invertebrados Marinos. Los resultados de los análisis de los sedimentos de la Bahía presentan un gradiente de concentración de metales pesados (Fe, As, Zn, Al, Pb). Los test de toxicidad realizados con larvas de erizos (*Arbacia lixula* y *Paracentrotus livids*) y con anfípodos (*Gammarus aequicauda* y *Microdeutopus grillootalpa*) en la bahía

de Portmán, mostraron un gradiente de toxicidad con la profundidad. Los resultados muestran que los dos anfípodos presentan buena sensibilidad a las sustancias tóxicas de referencia y a la contaminación por metales pesados de los sedimentos analizados.

Otras zonas del Mediterráneo fueron estudiadas por investigadores como Sebla Kabas 2013, 2014, que estudió dos balsas de estériles mineros; el Lirio (pH= 5.4) y el Gorguel (pH=7.4). Los resultados muestran alta contaminación por Cd, Pb y Zn, así como alto riesgo de movilización de metales. González Fernández, O., et al., 2007 estudiaron la concentración de (K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr and Pb) en dos zonas de estériles mineros de Cartagena-La Unión (Portman y Marques de Pejer). Se utilizó la técnica de Rayos X (EDXRF). Los resultados obtenidos de Cr, Ni, Cu, Zn y Pb fueron comparados con la legislación del aquel momento: Europea (Directiva 1999/31/CE) y Española (Real Decreto 1481/2001) para determinar el riesgo ambiental de estos residuos y comprobar si pueden ser clasificados como residuos inertes. Los resultados muestran que las concentraciones de Pb y Zn de estos residuos mineros sobrepasan los niveles establecidos por la legislación para ser considerados inertes y pone de manifiesto su potencial peligrosidad. García, G., et al., 2008, estudiaron los peligros para el medio ambiente y la salud provocados por el Zn, en relación con la geoquímica y la movilidad de los metales en suelos superficiales de la Bahía de Portman. Los resultados muestran que la mineralogía de los suelos estudiados reveló mayor presencia de cuarzo, pero también de otros silicatos, sulfatos, carbonatos y sulfuros. Respecto a los minerales de Zn, la presencia de esfalerita como principal sulfuro de Zn, y de la goslarita como sulfato de Zn, y de la smithsonita como Zn. La fracción de Zn disponible no excedió 2000 ppm en términos absolutos, y cuando se hace referencia a la fracción disponible (fracciones solubles en agua e intercambiables), estos valores no superan 800 ppm. Se concluye, que si bien existe un nivel de contaminación significativo en éste área, el riesgo inmediato para el medio ambiente puede evaluarse como moderado. Cabe destacar que estos suelos superficiales han sido sometidos a procesos de concentración de esfalerita, cuyos mecanismos deben estar relacionados con el flujo ascendente de agua capilar y al arrastre de cristales de esfalerita y sales de Zn por procesos electrocinéticos y coloidales. Estos procesos pueden estar basados en la contaminación ambiental por la erosión del viento y el agua, y por lo tanto directamente asociados a contaminación ambiental y riesgos por metales libres.

Conesa, H.M., et al., 2010, utilizó la técnica de gradientes difusivos en películas delgadas (DGT) para evaluar la disponibilidad de los metales in situ. Se estudiaron tres tipos de materiales procedentes de las balsas mineras de Belleza y el Gorguel, con diferentes pHs; pH ácido 3, pH 5.5, y pH neutro de 7.2. Los resultados mostraron alta concentración de metales ($7.000 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Pb}$, $9.000 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}$, y $380 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cu}$). Los resultados muestran que las concentraciones de metales absorbidas por los dispositivos de la DGT se vieron afectados por los diferentes pH de las muestras analizadas.

Acosta, J.A., et al., 2011 estudiaron las propiedades de los suelos de dos balsas de estériles mineros (Lirio y Gorguel) para una futura recuperación. También se analizaron la concentración total de metales (Pb, Cu, Zn y Cd), los extraíbles con DTPA y los solubles en agua. Los resultados mostraron que las dos balsas presentan alta contaminación por metales. El porcentaje alto de Cd extraíble sugiere un alto riesgo de movilidad a través de la captación de las plantas. Las altas concentraciones de Zn y Cd soluble, especialmente en Lirio, ponen de manifiesto que pueden ser movilizados por el agua de escorrentía y llegar contaminar suelos y aguas subterráneas. Las propiedades del suelo influyen en la movilidad de los metales, especialmente el pH, ácido en el Lirio y básico en el Gorguel.

Zonoza, R., et al., 2012 estudian los metales pesados de los sedimentos, aguas superficiales y plantas de la Rambla del Avenque. Los resultados muestran que los contenidos totales de metales pesados están por encima de los límites marcados por la legislación Europea. Los resultados de la concentración de los metales analizados en las aguas superan los establecidos por la OMS. La vegetación está adaptada y no presenta acumulación de metales en los tejidos estudiados.

Martínez Martínez, S., et al., 2013, estudiaron 7 balsas de estériles mineros y dos áreas naturales (suelos desarrollados en caliza ferruginosa y suelos desarrollados en caliza laminada) del distrito minero de Cartagena, en la zona del Avenque. Las muestras se caracterizaron geoquímicamente. Los resultados ponen de manifiesto que los suelos naturales están altamente contaminados por Pb y Zn y los desarrollados sobre caliza ferruginosa más que los de caliza laminada. Además las muestras de la superficie presentan más enriquecimiento de metales que las muestras del subsuelo. Considerando la mineralogía, análisis estadístico, concentración de metales pesados en el suelo (en los

perfiles y el análisis de extracción secuencial de Pb y Zn se puede concluir que los altos niveles de Pb y Zn en los suelos desarrollados sobre calizas laminadas y ferruginosas pueden deberse a orígenes geogénicos y antropogénicos.

Bes, C. M., et al., 2014 evaluaron parámetros fisicoquímicos, concentraciones de elementos traza (TE), solubilidad y especiación, así como la ecotoxicidad de los suelos de dos zonas diferentes, con pH ácido y otro neutro (El Descargador y El Gorguel) en el distrito minero de La Unión-Cartagena (SE España). Los resultados muestran que todos los suelos presentan concentración alta de metales totales, solubles y extraíbles, así como iones libres. Las formas predominantes en el agua son los complejos de los sulfatos y organo-metálicos. En el caso del Arsénico, $H_2AsO_4^-$ es la forma predominante en las muestras de suelos ácidos. Los resultados mostraron una elevada toxicidad para diferentes especies de plantas (judías, girasol y lechuga) y organismos acuáticos (la mortalidad fue muy alta para ambos *Thamnocephalus platyurus* y *Vibrio fischeri*), debido a la alta salinidad y contenido de TE.

Gómez García, C., et al., 2015 estudiaron las propiedades magnéticas de unas muestras de arenas de la Bahía de Portman y de otras de una mina a cielo abierto (Emilia). Se estudió la susceptibilidad magnética, histéresis, adquisición de IRM, SIRM-IRM y espectros de coercitividad de campo posterior, curvas termomagnéticas y diagrama de FORC y tomaron micropicturas SEM. Los datos se correlacionan con las estimaciones de contenido clásico de magnetita derivadas de difracción de rayos X (DRX) en tres granos separados (grano grueso, medio y fino). Los resultados indican altas concentraciones de magnetita (hasta 28%). Se registran mayores concentraciones de magnetita en la parte central de la playa. Las propiedades magnéticas muestran una relación directa entre el contenido de magnetita y los metales pesados Pb, Cu y As. Los resultados indican que la deposición de magnetita fue rápida y las propiedades no se han modificado en profundidad. Sin embargo, la ubicación espacial en la Bahía es significativa cuando se examina la distribución de los tamaños de grano. Además, los resultados sugieren que la magnetita actúa como captor de metales pesados

Trezzi, G., et al., 2016 estudió la descarga de aguas subterráneas subMaríneas (SGD) en la bahía de El Gorguel (Cartagena-La Unión Pb – Zn). En esta zona el agua subterránea puede enriquecerse en metales antes de la descarga al mar costero y puede

dar lugar a liberaciones importantes que pueden contaminar el medio ambiente costero. Los resultados muestran que, en comparación con otras zonas costeras no afectadas por actividades mineras, impulsadas por SGD, los flujos metálicos fueron especialmente significativos para Zn y Pb disueltos. La magnitud de estos flujos de metales impulsados por SGD indica que el SGD es una vía relevante en la entrada de metales al ambiente costero de la Bahía de El Gorguel.

6.1.4.- Transporte por las Ramblas que tributan al Mar Menor.

Tras la revisión bibliográfica realizada, se detecta que las Ramblas que tributan al Mar Menor, representan una fuente importante de contaminación a la laguna salada, por el aporte de metales pesados y elementos traza que contienen los estériles mineros procedentes de la Sierra Minera.

La entrada de estos inputs potencialmente tóxicos, se producen tras los episodios de lluvia, especialmente los que se dan en la zona de clima semiárido que caracteriza nuestra Región y que suelen ser de carácter torrencial.

Varios investigadores recogen en sus trabajos el origen del impacto de la contaminación por metales pesados que las ramblas provocan en el Mar Menor (Simonneau, 1973; García García, C., 2004; Marín-Guirao et al., 2005, 2007; Marín Guirao, L., 2007; Conesa, H.M., y Jiménez-Cárceles, F.J., 2007; Conesa, H.M., et al., 2008; García Lorenzo, M.L., 2009; María Cervantes, A., 2009; Muñoz-Vera et al, 2015, 2016; García García, C., y Muñoz Vera, A., 2015; Muñoz Vera, A., 2016; Robles Arenas et al., 2006; Robles Arenas, V.M., 2007):

“Durante el proceso del lavado del mineral el principal tipo de residuo producido eran los lodos, que tradicionalmente se vertían a los cauces de las ramblas que drenan la Sierra, con el consiguiente transporte y deposición en el Mar Menor. Para evitar este impacto negativo, en 1955 las autoridades prohibieron a las empresas mineras el vertido de residuos al cauce de las ramblas; a partir de ese momento se construyeron balsas o pantanos donde se almacenaban los lodos procedentes de los lavaderos. Sin embargo, actualmente todavía existen 89 pantanos en la zona, la mayoría de los cuales no se han sometido a ningún tipo de restauración y que, debido a la acción del viento y de las

lluvias torrenciales, continúan erosionándose, vertiendo residuos a las ramblas, los cuales son transportados y depositados en el Mar Menor”.

El Campo de Cartagena, es una unidad hidrogeológica amplia y compleja situada en el sudeste de la Región de Murcia. Se caracteriza geomorfológicamente por su amplia llanura, con una pequeña inclinación hacia el sureste, rodeada, a excepción de la zona litoral, por elevaciones montañosas.

El Campo de Cartagena no es una cuenca fluvial en sentido estricto o un territorio estructurado en torno a un curso principal, sino que está constituido por varias ramblas que desembocan directamente en el mar, sin conexión, y que carecen de curso regular y permanente. Se trata de un sistema de ramblas que funcionan por separado e integran unidades específicas de drenaje. Son consecuencia de la particular disposición del terreno y del régimen climático, típicamente mediterráneo. Afluyen a dos vertientes, al Mediterráneo por el Sur y al Mar Menor por el Noreste. Las cabeceras hidrográficas de las sierras concentran el agua de lluvia, que aunque escasa, suele ser muy intensa, a través de los barrancos, ramblas y ramblizos, cuyos cauces experimentan súbitas avenidas, dejando tras ellas un manto de tarquín rojizo que se arquea y cuartea por efecto de una fuerte evaporación, reduciéndose posteriormente a polvo. Algunas de estas ramblas se extinguen en la llanura debido a la escasez de pendiente y a la permeabilidad de los terrenos circundantes o se debilitan aún más a causa de que diversas parcelas recogen parte de su caudal. Las Ramblas son cauces que presentan una fluctuación de su caudal ya que pueden sufrir fuertes crecidas y avenidas, fruto del régimen torrencial de las lluvias, tras largos periodos de sequía. La calidad de las aguas cuando discurren por las mismas es baja debido a que su estado de conservación también es bajo y las distintas actividades que se dan en ellas, entre las que cabe destacar:

- Son sistemas naturales poco valorados. Así, son frecuentes los vertidos de escombros, residuos sólidos urbanos, efluentes y todo tipo de material de deshecho, práctica, por otra parte, con cierta tradición cultural.
- Los suelos de las llanuras de inundación de las ramblas e incluso del propio lecho, rico en materia orgánica y nutrientes, son muy apreciados para la agricultura. Lo que conlleva una profunda transformación del hábitat y pérdida de especies de gran valor ecológico.

Estas actuaciones determinan cambios irreversibles, tanto en la fisonomía de las ramblas como en la calidad del agua y en la estructura y composición de las comunidades bióticas (Informe de Sostenibilidad Ambiental, 2008).

Del total de residuos minero-elementoúrgicos, el 60% en volumen se encuentra en las cuencas de las ramblas que vierten al Mar Menor, y el 40% restante lo hacen al Mar Mediterráneo.

El impacto de la entrada de residuos de estériles mineros al Mar Menor esta provocado por la cuenca de drenaje de la fachada Norte de la Sierra. Las principales ramblas que tributan al Mar Menor y que contribuyen a este impacto son: La rambla de El Beal, es la más importante de las existentes pues canaliza las aguas procedentes de El Llano y de los montes de San Ginés, presentando un cono de deyección muy amplio por lo que no sólo se acarrearán sedimentos en medio hídrico, sino que también en momentos de fuerte intensidad eólica. La rambla de Ponce, es de menor recorrido pero de notable importancia por los aportes que canaliza de los altos de los Blancos. Por último la rambla de la Carrasquilla forma en su desembocadura un prisma aluvial de carácter prodeltaico desembocando entre los Nietos y la Punta de las Lomas. (Marín Guirao, L., 2007; Moreno González, R., 2015; Muñoz Vera, A., 2016). La rambla de las Matildes procede de la zona de la Cantera Emilia, y arrastra sedimentos muy contaminados hasta el Mar Menor (Fundación Sierra Minera).

Son numerosas las investigaciones que evalúan y determinan el nivel de concentración de metales pesados y elementos traza, así los impactos derivadas del transporte de residuos mineros que se produce a través de las ramblas que tributan al Mar Menor.

El transporte de metales pesados que se da en las ramblas, desde la Sierra Minera al Mar Menor, tras los episodios de lluvias, es tan importante que en 1973 ya fue estudiado por Simonneau, J., donde se estimó en 25 millones de toneladas la cantidad de residuos mineros presentes en la laguna. Se ha llegado a considerar el Mar Menor como un yacimiento minero.

Marín Guirao, L., en 2007 estudia la entrada y toxicidad de los metales pesados que se produce al Mar Menor desde la Sierra Minera. Se concluye, que se produce entrada de residuos mineros, durante los episodios de lluvia, a través de las Ramblas que tributan al Mar Menor como son El Beal y Ponce. Como consecuencia, las aguas de la

laguna, se vuelven tóxicas, especialmente en las zonas próximas a las desembocaduras. Los sedimentos del Mar Menor también presentan contaminación por metales pesados. La acumulación de metales que presenta *Cymodocea nodosa* pone de manifiesto la biodisponibilidad de los metales para las plantas vasculares. Las comunidades de invertebrados bentónicos presentaron cierto nivel de perturbación. Se realizaron análisis de isótopos estables (C y N) para estudiar los poblamientos de invertebrados y peces del Mar Menor.

Sánchez i Bassols, M., 2008 analizó las distintas formas en las que los metales estaban unidos al sedimento en la zona sur de la laguna del Mar Menor. Se concluye que las concentraciones de metales más altas, de los sedimentos procedentes de la desembocadura de las ramblas que tributan al Mar Menor, con respecto al resto de sedimentos de la laguna ponen de manifiesto el aporte de residuos, procedente de la minería que se está produciendo.

Marín, A., et al., en 2009 abordan en un trabajo las investigaciones realizadas por el grupo de investigación sobre la problemática del Mar Menor teniendo en cuenta la interacción entre los sistemas terrestres y acuáticos. Además se evalúa y estudia el efecto de la entrada de metales pesados a la laguna, a través de las Ramblas del Beal, Ponce y el Albujón. El aporte de sedimentos es muy importante y contribuye a la colmatación natural de la laguna y la entrada de drenaje ácido de mina durante los periodos de lluvia, a través de las Ramblas de Ponce y el Beal.

Martínez Sánchez, M.J. & Pérez Sirvent, C. 2009 en el proyecto de delimitación de las zonas de influencia minera estudiaron la dispersión de metales que se produce a través de las diferentes ramblas que tributan al Mar Menor. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que los abanicos aluviales de las ramblas de Miranda y el Miedo son una zona de recepción que se puede considerar una franja divisoria entre la zona afectada por la actividad minera y la zona que no muestra signos de afectación. La zona afectada por la rambla de Miranda presenta valores de metales muy bajos, similares a los encontrados en los suelos de cultivo del Campo de Cartagena. La rambla del Miedo es una zona que alberga algunos puntos con niveles elevados de metales que pueden ser considerados como pequeños focos de dispersión. Se produce el vertido directamente al Mar Menor. La zona de depósito potencial de las ramblas del Beal y del Barranco de Ponce transporta materiales mineralizados de forma natural, desde muy antiguo. En la

Rambla de Ponce los valores de metales pesados son mucho más elevados que en la Rambla de Miranda pero inferiores a los valores de las muestras tomadas en sus inmediaciones dentro de la zona protegida de Lo Poyo.

García Lorenzo, M.L., 2009 identifica las ramblas como vías de dispersión superficial de estériles mineros desde la Sierra Minera al Mar Menor. Además se considera que el Mar Menor es una zona de recepción de estos materiales y éstos pueden actuar posteriormente como focos.

Martínez López, S., 2010 concluye que los sedimentos que se depositan en las ramblas o ramblizos que transportan estériles mineros pueden actuar de focos en la siguiente lluvia pero no son considerados como tales dado que no son depósitos permanentes. Las Ramblas actúan como vías de transferencia de Arsénico desde los focos a las zonas colindantes. Se concluye que aparecen concentraciones altas de As en la desembocadura de las ramblas que tributan al Mar Menor. Cuando los materiales particulados situados en las proximidades de las balsas y ramblas, entran en contacto con las aguas del drenaje ácido de mina reaccionan y se produce la liberación de As.

González Fernández, O., 2011; González Fernández, O., et al., 2008, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, estudiaron la cuenca de la Rambla del Beal, determinando la transferencia de contaminantes metálicos a los suelos y vegetación, el impacto generado por la removilización de sedimentos marinos, así como el papel que juegan los microorganismos. Entre las conclusiones destaca, que gracias al uso combinado de la técnica de tomografía eléctrica los datos geoquímicos obtenidos por fluorescencia de Rayos X, se determinan que en la Rambla del Beal hay 160 cm de sedimentos de claro origen minero-metalúrgico.

Carmona Garcés, D.M., 2012 aborda el estudio del contenido en metales y se identifican las zonas donde se dan los mayores riesgos de transporte y movilidad de los metales. Se concluye que la Rambla de las Matildes (El Descargador) aporta una gran cantidad de contaminantes y sedimentos a humedales que concluyen al Mar Menor.

García, G., et al., 2007; Moreno González, R., 2015; Muñoz Vera, A., 2016; Robles Arenas, V. M., 2007 ponen de manifiesto que las actividades mineras realizadas a cielo abierto han dado lugar a pozos, balsas y pantanos mineros que, aún tras el cese de actividad en la zona, siguen vertiendo residuos a las ramblas, principalmente a la rambla de El Beal y Rambla de Ponce. Esto es debido a que la mayor parte de ellos no se han

restaurado y por la acción del viento y las lluvias torrenciales continúan erosionándose, transportando y depositando los residuos mineros en el Mar Menor.

Otros investigadores han puesto de manifiesto la afección que supone el transporte de estériles mineros por las ramblas en los organismos del Mar Menor. Así es el ejemplo de Auernheimer, C., et al., 1996 donde los resultados obtenidos muestran que las conchas de *Cerastoderma edule* y *Veneriyis aurea* contienen alta concentración de Pb (influencia Rambla del Beal) y superiores a los contenidos a las muestras de las mismas especies de la zona norte (Lo Pagan) y a las muestras control (Pinet y Santa Pola). Marín Guirao, L., et al., 2005b, 2008, realizó un estudio comparativo entre 2 especies de *Cymodocea nodosa* que crece sobre sedimentos contaminados por actividades mineras (desembocadura de la Rambla del Beal y de Ponce), y 2 de referencia que crecen en el Mar Menor, alejadas de la zona de las desembocaduras de las ramblas. Los resultados muestran que *Cymodocea nodosa* acumula metales de los sedimentos y refleja su biodisponibilidad para esta pradera marína. Jiménez Martínez, J., et al., 2016 analizan el sistema Campo de Cartagena- Mar Menor a nivel de cuenca y realizan una revisión bibliográfica del estado del conocimiento de cada compartimiento hidrológico y los vínculos entre ellos. Los residuos de la actividad minera provocan impactos en la laguna, se constatan concentraciones altas de Pb= 4.000 ppm, Zn=4.600 ppm, Cd=4.5 ppm, Cu= 50 ppm, en los sedimentos de las Ramblas del Beal y Ponce. En los periodos de sequía, se produce la evaporación de aguas ácidas, desencadenado la precipitación de sales solubles que pueden disolverse fácilmente durante las lluvias torrenciales y se produce la movilización de metales y metaloides. Algunos autores han puesto de manifiesto, el riesgo que representa la recolección de algunos moluscos y que son consumidos localmente.

6.1.5.- Erosión Hídrica.

El impacto por la erosión hídrica, que se produce sobre los pantanos mineros que cubren cerca de 160Ha en el Distrito Minero de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión, y los suelos de la zona de estudio, es muy importante como ponen de manifiesto diversos investigadores: Pérez Sirvent et al, 1999; Álvarez Rogel, J. et al., 2004; García García., C., 2004; Navarro Hervás, 2004; Marín Guirao et al., 2005a; Muñoz Vera, A., 2006; Navarro et al, 2006; Robles Arenas, V.M., 2007; Sánchez i Bassols, M., 2008; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez López, S., 2010; González Fernández, O., 2011; Carmona Garcés, D.M., 2012; González Alcaráz, M.N., 2012; Kabas, S., 2013; Parra Torres, A., 2015; Párraga Aguado, I.M., 2015; Rosique López, M.G., 2016; Marimón Santos, J., 2017; Arco Lázaro, E., 2017; Caparros Ríos, A. V., 2017; Gabarrón Sánchez, M., 2017. La mayoría de estos pantanos carecen de proyectos de restauración por lo que están expuestos a agentes erosivos como es la erosión hídrica que se produce tras los episodios de precipitaciones. Además es muy importante tener en cuenta el régimen torrencial de las lluvias en los climas semiáridos como el del Sureste de la Región de Murcia.

Las zonas de depósito de estériles mineros se caracterizan por presentar una pobre estructura edáfica, compactación del suelo, pobre contenido en nutrientes y materia orgánica, baja aireación y captación de agua, escasa porosidad, inestabilidad física, además suelen situarse en zonas de fuertes pendientes.

Además, la concentración alta de metales que contienen estos materiales erosionados, hace que la dispersión de partículas contaminantes sea muy importante y son varios los investigadores que consideran la vía hídrica como la vía de dispersión de contaminantes más importante en la Sierra Minera, dado que se transportan grandes volúmenes de residuos tras las lluvias torrenciales. De esta forma se podría explicar las elevadas concentraciones de metales en zonas de influencia de la Sierra Minera, en los cauces y desembocaduras de las ramblas y especialmente el transporte y acumulación de metales que se produce a través de las ramblas hasta el Mar Menor.

El transporte de los productos de la erosión en superficie por la acción del agua se puede dar de distintas formas (Pérez-Sirvent, C., et al., 1999):

- Como carga disuelta procedente de sedimentos que contienen minerales solubles.

- En forma particulada, a partir de material suspendido.
- Como carga de fondo, arrastrados en el fondo de la corriente.

García García, C., 2004 cuantificó la tasa de erosión, para un depósito minero de la zona de estudio, tras un episodio de lluvia de 60.5 mm, resultado unas magnitudes de pérdida de suelo de 2.14 kg/m².

Además de la erosión de los materiales, la escorrentía que se produce desencadena la formación de aguas ácidas con elevado contenido en metales pesados y gran poder corrosivo provocando los efectos perjudiciales que se comentan para los drenajes ácidos (Romero Díaz, A. & García Fernández, G., 2007).

Alcolea, A., et al., 2015 estudiaron el efecto de los residuos mineros de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión en sus áreas de influencia, tras los episodios de lluvias torrenciales, así como el transporte a la atmósfera. La alta erosión producida en las capas sin vegetación incrementa la dispersión de metales en el aire y en el agua que puede ser transportada a 20 Km de distancia desde los focos de contaminación tras los episodios de lluvias.

La erosión hídrica que se produce en las zonas afectadas por la actividad minera en las superficies descubiertas debe de ser controlada. En la revisión bibliográfica realizada se constata, mediante el análisis de unos 70 trabajos aproximadamente, la importancia de los programas de fitoestabilización para proteger la superficie mediante el crecimiento de especies vegetales.

6.1.6.- Erosión eólica. Dispersión aire.

Otro factor de contaminación presente en la Sierra Minera es el impacto de la contaminación atmosférica que provocan, las áreas desprovistas de vegetación de la zona de estudio, al ser erosionadas por la acción del viento. La erosión eólica y la dispersión de contaminantes en el aire han sido estudiadas por varios investigadores, destacan:

García García, C., 2004 estima que hay una superficie cubierta de residuos minero metalúrgicos de 11 km². Las zonas desprovistas de vegetación se ven sometidas a la intensidad de los vientos que es un factor clave en la determinación del riesgo por erosión eólica. Las características que presentan las balsas de lodos de flotación, de granulometría fina y el proceso de oxidación de los sulfuros en sulfatos, les confieren alta vulnerabilidad

a ser erosiones por la acción eólica. Las costras de muy baja densidad que se forman en los procesos de oxidación de los sulfuros pueden ser erosionadas por el viento y transportadas a grandes distancias. Este fenómeno se produce durante todo el año, pero especialmente en los meses de verano, donde la deshidratación de las costras es total. Estimó en más de 16.000 t/año de lodos erosionados para el conjunto de presas de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión ubicadas en cuencas vertientes al Mar Menor.

Belmonte Serrano, F., et al., 2010 ponen de manifiesto la presencia de concentraciones importantes de plomo (Pb) y, especialmente, cinc (Zn). También se detectaron Cu, As y Cd, así como compuestos, en su mayoría en forma oxidada, como óxido férrico (Fe_2O_3), trióxido de azufre (SO_3), dióxido de silicio (SiO_2), y óxidos de magnesio y manganeso (MgO y MnO) entre otros. Se concluye que no puede establecerse una relación directa entre las concentraciones de metales pesados movilizados por erosión eólica, analizados en esta investigación y la incidencia de estos tipos de cáncer en el distrito minero, pero la coincidencia no deja de ser, cuanto menos, alarmante, e invita a la realización de un estudio epidemiológico riguroso.

Sánchez Bisquet, D., 2017 determinó el nivel promedio anual de deposición total registrado en la zona de estudio en $42,0 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, representando un valor por encima que en la mayoría de las áreas semiáridas. Destaca que los flujos anuales totales de deposición de Zn total superan los establecidos en la legislación nacional, para Mn, Cd y Pb los valores son más bajos que los determinados en otras áreas mineras del Mediterráneo.

Alcolea Rubio, L.A., 2015 constató que la erosión eólica que se produce durante los períodos secos origina el lavado rápido de metales que se produce durante los episodios de lluvia. Respecto a los mecanismo de transporte, dispersión y deposición de Ni, Cu, Zn, As, Cd y Pb, el balance de masas de metales traza geodisponibles en el Mar Menor reveló que la erosión eólica transfirió el 81 % de la entrada total de metales provenientes de la Sierra Minera, las aguas subterráneas contribuyeron en un 16 % y la escorrentía superficial en un 3 %. Todo ello demostró que la dispersión de estos contaminantes no está controlada por las aguas continentales (escorrentía superficial y agua subterránea).

Romero Díaz, A. & García Fernández, G., 2007 utilizaron colectores para evaluar la cantidad metales pesados que se transportan a través de la movilización del material transportado por el viento (erosión eólica) o por las aguas de escorrentía (erosión hídrica). Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la movilidad que se produce, de los sedimentos localizados en las balsas de lodos por el viento, y los metales pesados asociados a ellos. Se hace necesario conocer las fuentes de contaminación y áreas de afección para proponer soluciones que minimicen los efectos.

Conesa, H M., et al., 2010 ponen de manifiesto que la erosión eólica e hídrica que se produce en las zonas afectadas por la actividad minera debe de ser controlada. De ahí la importancia de los programas de fitoestabilización para proteger la superficie mediante el crecimiento de especies vegetales.

Moreno Brotons, et al., 2010 estudiaron la cantidad de material movilizado por el viento y el contenido en metales pesados de las balsas de estériles mineros del área de Cartagena- La Unión. Debido al tamaño de grano de los residuos mineros, son propensos a la erosión eólica. Como consecuencia de su composición con metales pesados, el material erosionado puede ser un potencial contaminante del suelo y del aire. Esto significa que son contaminantes potenciales tanto de la atmósfera como de los suelos circundantes, sin mencionar el alto riesgo que representan para las poblaciones cercanas. Se diseñaron colectores específicos para medir los sedimentos transportados por el viento en las trampas de polvo. Se colocaron a tres alturas (21, 42 y 63 cm.) y en ocho direcciones de viento (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW). Los resultados muestran una alta concentración de metales pesados, especialmente zinc y plomo, que podrían tener efectos perjudiciales en las ciudades cercanas, la agricultura y en zonas de playa.

Alcolea, A., et al., 2015 evaluaron el efecto de los residuos mineros de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión en sus áreas de influencia, tras los episodios de lluvias torrenciales, así como el transporte a la atmósfera. La alta erosión producida en las capas sin vegetación incrementa la dispersión de metales en el aire y en el agua que puede ser transportada a 20 Km de distancia desde los focos de contaminación tras los episodios de lluvias.

6.1.7.- Eflorescencias.

La presencia de eflorescencias salinas en el Distrito Minero de Cartagena- La Unión es un impacto muy importante debido a la alta concentración de metales pesados y elementos traza metálicos que contiene. Es un impacto que está muy relacionado con la erosión eólica debido a que las características de textura muy fina y baja densidad que presentan, le confieren un alto grado de erosionabilidad. Además son unas costras de densidad muy baja que pueden ser transportadas a grandes distancias. También presentan estrecha relación con el proceso de generación de las aguas de drenaje ácido de mina.

Las etapas finales del proceso de alteración supergénica, que se produce en las zonas mineralizadas como la Sierra Minera de Cartagena-La Unión, tienen como resultado la generación de un gran número de sulfatos con diferente grado de hidratación (Lapakko, 2002), que aparecen como eflorescencias salinas y que pueden retener metales liberados durante el proceso de oxidación (Chapman y col., 1983; Shum y Lavkulich, 1999). La acumulación de estos sulfatos, se que produce en las zonas de clima árido como puede ser el sureste de la Región de Murcia, puede explicar la mayor lentitud en la generación de drenajes ácidos de mina (Lapakko, 2002). Es importante resaltar que la formación de eflorescencias es un ciclo que produce durante todo el año pero que es los meses de mayor temperaturas, como son la época estival es cuando se produce el mayor efecto (García García, C., 2004).

Las eflorescencias salinas han sido estudiadas por varios investigadores (Robles Arenas, V.M., 2007; García Lorenzo, M.L., 2009; González Fernández, O., 2011; Carmona Garcés, D.M., 2012; Marimón Santos, J., 2015; Alcolea Rubio, L.A., 2015; Pérez Sirvent, C., et al., 2015; García Lorenzo, M.L., et al., 2016; Sánchez Bisquet, D., 2017; Pérez Hernández C., 2017). Algunos de los trabajos evaluados son:

Robles Arenas, V.M., 2007 estudió la formación, oxidación y disolución de eflorescencias salinas como otro proceso asociado al agua de mina. Define las eflorescencias salinas como unos precipitados muy solubles que se forman cuando se produce la evaporación del agua de mina que suele ser una solución muy concentrada. Además pone de manifiesto la movilización en disolución y/o suspensión de los metales, que se producen cuando estas sales son disueltas en los episodios de lluvias y el

consecuente riesgo que conlleva dado que puede alcanzar otras zonas provocando la contaminación de aguas y entrada de metales en el ecosistema. Se determinó la mineralogía de muestras de eflorescencias de la Sierra Minera mediante Difracción de Rayos X indicando que los minerales más comunes en las eflorescencias salinas son principalmente sulfatos de hierro, más o menos hidratados y los más abundantes son:

- la rozenita ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) para los lodos de flotación en mar y los estériles de pozo,
- la apjohnita ($\text{MnAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$) para los lodos depositados en tierra y para los estériles de mina y corta,
- la hexahidrita ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) para los residuos de granulometría,
- la epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) para el material procedente del gossan.

García Lorenzo, M.L., 2009 pone de manifiesto que las balsas de estériles mineros unas presentan grado de estabilización aceptable mientras que otras aparecen sin protección alguna, pero todas ellas están sometida a intensos procesos de erosión. Estos procesos se ven incrementados al tratarse de materiales de textura muy fina. Las características que presentan estos materiales siendo muy reactivos, con alto contenido en elementos traza y de pH ácidos (valores muy bajos) favorece la formación de aguas de drenaje ácido de mina en las balsas. Cuando estas aguas sufren procesos de evaporación dan lugar a la formación de eflorescencias, que generalmente están constituidas por sulfatos solubles como rocenita, copiapita, bianchita o hexdrita.

Alcolea Rubio, L.A., 2015 estudió eflorescencias formadas en diferente tipos de residuos mineros. Los resultados muestran que la alta solubilidad de muchas de las costras de sulfatos es una fuente importante de contaminación del agua. Es de resaltar la presencia de Zn, Mn y Pb de 0.1 a 10%, así como la aparición de As, Cu, Cd, Ni, Cr, Ba y Sb de 1-1000 ppm. El enriquecimiento de metales en sales de sulfato de las eflorescencias, en comparación con el suelo mostró una enriquecimiento fuerte para Zn, Cd y Pb; un enriquecimiento moderado para As, Sb y Cu; y un enriquecimiento bajo para Co, Ni y Cr. Estos resultados ponen de manifiesto que las eflorescencias y sales de sulfatos de la zona de residuos mineros estudiados, presentan concentraciones muy importantes de metales pesados. Los estudios de lixiviación de las eflorescencias muestran que ninguno de ellos cumplió con los criterios de aceptación de residuos para su vertido. De hecho, se estimó que 1 litro de los lixiviados podrían contaminar en promedio

hasta 1839 litros de agua potable, con los siguientes orden de movilidad de las diferentes especies metálicas: Zn> Cd> Ni> Cu> As> Sb> Pb.

Marimón Santos, J., 2015 utilizó el modelo MINTEDQ para evaluar los efectos que se pueden derivar de la formación de eflorescencias dado que el peligro que representan por la alta solubilidad y biodisponibilidad de los ETPs. Los sedimentos de la Sierra Minera que presentan sulfuros metálicos se ven afectados por la alteración supergénica (producción de gran cantidad de minerales secundarios solubles que cuando llueve son transportados por el agua y cuando se produce la evaporación, cristalizan como eflorescencias. Los resultados muestran que son generalmente sulfatos polihidratados de Fe, Mg, Zn, y en menor cantidad Ca, Al y Na. La importancia de este hecho reside en que los ETPs como Cd, Pb, As ... pueden estar retenidos en estas sales y representar un peligro por su alta solubilidad y biodisponibilidad. Se concluye, que los depósitos de estas sales controlan la movilidad y dispersión de elementos traza al medio ambiente, por lo que se recomienda realizar un estudio geoquímico y mineralógico.

Pérez Sirvent, C., et al., 2015; García Lorenzo, M.L., et al., 2016 estudiaron las eflorescencias encontradas en la superficie del suelo y hasta una profundidad entre 0.5 y 10 cm que se producen en los procesos de evaporación, tanto en superficie como en aguas de poro. Se pone de manifiesto que aunque las sales eflorescentes son efímeras, representan una fuerte influencia en los ecosistemas. Además, los minerales que las componen, proporcionan valiosa información sobre su formación así como de las condiciones de equilibrio que se producen en los depósitos de residuos mineros. Se concluye que las eflorescencias representan un mayor riesgo de contaminación que las muestras superiores de suelo, incluso cuando presentan menor contenido de elementos potencialmente tóxicos debido al elevado potencial de movilización de estos elementos tóxicos.

Sánchez Bisquet, D., 2017 estudió la formación de costras salinas poniendo de manifiesto el factor de riesgo por su erosionabilidad y el alto contenido en elementos traza metálicos que presentan. En los horizontes superficiales de los suelos y las balsas de estériles mineros afectados por el drenaje ácido de mina se produce la formación y acumulación de sales salinas. En el trabajo se explica que su formación se debe principalmente a la dinámica bidireccional que presenta el agua en el suelo en las zonas

semiáridas. De forma que en los periodos lluviosos predominan los fenómenos de infiltración y disolución que provocan un movimiento descendente, y en épocas secas se produce el fenómeno inverso. Cuando por procesos de capilaridad y gradiente de humedad que produce el ascenso del agua de las capas más profundas hasta llegar a un ambiente oxidante como el que caracteriza la superficie del suelo, el agua se va evaporando y estas sales en disolución pueden precipitar formando las eflorescencias que se pueden ver en los suelos mineros de la zona de estudio. La ascensión de la sal, que se produce en el perfil del suelo, va a estar condicionada por su solubilidad, de forma que cuanto más soluble sea más ascenderá.

Pérez Hernández C., 2017 estudió las floraciones que surgen, cuando no hay drenajes, y se producen fenómenos de capilaridad y de lavado ascendente, con cristalizan en superficie formando costras y agrupaciones de gran espectacularidad y variedad, con coloraciones que van del blanco al naranja, a veces con tonos verdosos y ocres. Estas sales solubles son materiales muy reactivos y con procesos de alteración supergénica. Presentan sulfatos hidratados muy solubles como es la copiapita. Esta sal de Fe^{+3} y Al^{+3} , junto a Fe^{+2} , Mg^{+2} y Zn^{+2} (según se trate de copiapita, magnesiocopiapita o dietrichita, respectivamente), suele estar acompañada de otros sulfatos hidratados del metal trivalente (Fe^{+3} y Al^{+3}) como halotrichita, conquimbita, pickeningita, sideronatrita...entre otros y por sales divalentes (Mg^{+2} , Fe^{+2} , Zn^{+2}) como hexahydrita, siderotilo, rocenita, bianchita...constituyendo lo que se conoce como eflorescencias.

6.1.8.- Ausencia de vegetación y recubrimiento de suelo de los pantanos y depósitos.

La ausencia de vegetación y recubrimiento de suelo de los pantanos y depósitos representa el mayor impacto de movilización de los metales pesados y elementos traza contenidos en los depósitos de estériles mineros de la Sierra de Cartagena-La Unión. Prácticamente la totalidad de las publicaciones analizadas ponen de manifiesto y coinciden en que la ausencia de cobertura vegetal, en las superficies de los depósitos de lodos y de estériles mineros, aumentan la acción de los procesos erosivos (eólicos e hídricos) favoreciendo y dando lugar al transporte de metales pesados y elementos traza que se produce en la Sierra Minera y que llega hasta el Mar Menor y a la cuenca del Mar Mediterráneo. El impacto es tan importante que ha dado lugar a un número muy elevado

de investigaciones que se han desarrollado con el objetivo último de encontrar las especies vegetales que presentan la mayor idoneidad para ser utilizadas en programas de restauración de la Sierra Minera (Conesa, H.M., et al., 2005, 2006,2007a,b, 2009a,b, 2010a,b; Ottenhof, C.J.M., et al., 2007; Marín Guirao, L., 2007; Maria Cervante, A., 2009; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez López, S., 2010; Maria Cervantes, E., et al., 2010; Pérez Sirvent, C., et al., 2011; Kabas, S., et al., 2011; Conesa H.M. & Faz, A., 2011; Lambrechts, T., et al., 2011; González Fernández, O., 2011; González Alcaráz, M.N., 2012; Zorzona, R. et al., 2012a, b, 2013, 2015; 2016; 2017; Pérez Sirvent, C., et al., 2012; Clemente, R., et al., 2012; Kabas, S., et al., 2012; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2012; Párraga Aguado, I.M, et al., 2013a,b; González Alcaráz, M. N., et al, 2013a,b,c; Gómez Ros, J.M., et al., 2013; González Alcaráz, M.N., 2013, José Álvarez Rogel, J., 2013; Párraga Aguado, I.M., et al., 2014a,b,c,d; Martínez López, S., et al., 2014; Martínez Fernández, D., et al., 2014;Kabas, S., et al., 2014; Kohler, J., et al., 2015; Arco Lázaro, E., et al., 2015; Párraga Aguado, I.M., et al., 2015; Martínez López, S., 2015; Parra Torres, A., 2015; Párraga Aguado, I.M., 2015; Aguado Juan, I, 2015; Parra, A., et al., 2016; González Alcaráz, M. N. & Van Gestel, C.A.M., 2017; López Orenes, A., et al., 2017; Martínez Or, D., et al., 2017; Pérez Sirvent, C., et al., 2017; Parra, A., et al., 2017; Pardo, T., et al., 2017; Párraga Aguado, I.M., et al., 2017; Moreno Barriga, F., et al., 2017; Arco Lázaro, et al., 2017; Hernández Pérez, C., 2017; López Orenes, A., et al., 2018; Acosta, J.A., et al., 2018; Martínez Oró, D., et al., 2019).

6.1.9.- Movilidad potencial y toxicidad de los metales pesados y elementos traza.

Tras la revisión bibliográfica realizada se concluye que para el estudio y determinación de la movilidad de los metales pesados y elementos traza presentes en el Sierra Minera y su área de influencia se ha utilizado métodos físicos, químicos y biológicos. A la hora de realizar un estudio de movilidad y biodisponibilidad de elementos en una determinada zona hay que escoger el procedimiento adecuado ya que de lo contrario puede tener graves consecuencias de diagnóstico y evaluación de impacto ambiental.

Para la evaluación y determinación de la movilidad de los elementos potencialmente tóxicos se han empleado métodos físicos no destructivos (Navarro Hervás, M.C., 2004; García García, C., 2004; González Fernández, O., et al., 2007, 2011a, 2011b, 2011c, ;

Martínez Pagán, P., et al., 2009a, 2009b, 2013; Herrera, G., et al., 2010; Conesa, H.M., et al., 2010; Martínez López, S., 2010; Marguá, E., et al., 2011; Acosta, J.A., et al., 2011; Gómez García, C., et al., 2015; Hernández Pérez, C., 2017; Moreno Barriga, E., et al., 2017; Martín Crespo, T., et al., 2018).

Las técnicas como la tomografía de resistividad eléctrica (ERT) que ha permitido determinar tanto la geometría general de la base del estanque como el espesor de los residuos mineros (Martín Crespo, T., et al., 2018). El método de imágenes de resistividad (ERI) ayudó a identificar los procesos de erosión, el espesor de los residuos de los materiales y su contacto con las capas mineras. Según el método ERI, las tres balsas mineras estudiadas, (Las Lajas, La Encontrada y El Beal) experimentaron erosión por la acción del agua (Acosta, J.A., et al., 2014). La aplicación del método imágenes de resistividad (ERI) en Brunita muestra alguna región de resistividad eléctrica más baja, lo que se describe como una ocurrencia de fallas debido a rupturas sufridas en las balsas. Por las rupturas se puede dar la circulación del drenaje ácido de mina que contiene gran concentración de metales (Martínez Pagán, P., et al., 2009). González Fernández, O., et al., 2007 concluyen que la técnica de fluorescencia de Rayos X es válida y rápida para el análisis de residuos de las balsas mineras de la zona estudiada de Cartagena-La Unión. Navarro, M.C., et al., 2012 concluye que los resultados de difracción de rayos X sugirieron que las muestras del Cabezo Rajao analizadas tienen una mineralogía compleja, incluyendo productos de alteración. Los materiales superficiales en el área de estudio se vieron afectados por los procesos de meteorización, generando ensamblajes supergénicos, incluyendo óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, carbonatos, hidratados, sulfatos y jarosita. Se concluye que el conocimiento de los procesos geoquímicos que tuvieron lugar en el pasado y que aún están teniendo lugar proporciona una herramienta importante para evaluar los problemas ambientales asociados a esta zona. Cesar, A 2003, refleja que una de las conclusiones obtenidas es la adecuación de la microscopia electrónica de barrido para la evaluación de la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de larvas de erizos. Hernández Pérez, C., 2017, pone de manifiesto que el empleo de microscopia electrónica de barrido es muy útil para estudiar la situación e interacciones de los EPTs en la planta.

Los métodos químicos selectivos han sido ampliamente utilizados en el estudio de la movilidad potencial de los elementos potencialmente tóxicos dado que permiten simular diferentes condiciones ambientales (naturales o potenciales)

Uno de los métodos empleados para tal fin es la extracción química selectiva (simple y/o secuencial) que, en general, nos permite diferenciar los elementos de una muestra en cinco fracciones (en orden creciente de movilización al medio):

- Fracción intercambiable (elementos adsorbidos en las partículas).
- Fracción carbonatada (elementos asociados a los carbonatos).
- Fracción ligada a óxidos de Fe y Mn.
- Fracción ligada a M.O. y sulfuros.
- Fracción residual (solamente disponible por erosión).

A pesar de las críticas que puedan recaer sobre los fallos que puedan presentar, el empleo de las extracciones selectivas es adecuado a la hora de establecer los límites en las concentraciones de elementos traza en suelos y sedimentos ya que el hacerlo en base a las concentraciones totales de los mismos supone considerar que todas las formas en las que se encuentra el elemento en suelo son igualmente tóxicas y producen el mismo impacto sobre el medio ambiente, lo cual no es cierto. Por tanto, sería más correcto, establecer el límite máximo de un elemento permitido en un suelo en función de la fracción biodisponible o lixiviable que en función de la concentración total, siempre teniendo en cuenta las características del suelo y las condiciones del medio.

Las extracciones químicas selectivas (simple y/o secuencial) han sido ampliamente utilizadas por diversos investigadores tal y como se muestra en los trabajos realizados (Navarro Hervás, M.C., 2004; Margu, E., et al., 2004; García García, C., 2004; Conesa, H.M., et al., 2008; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez López, S., 2010; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2011; Carmona Garcés, D.M., 2012; González Alcaráz, M.N., 2012; Kabas, S., 2013; Marimón Santos, J., 2015; Rosique López, M.G., 2016; Hernández Pérez, C., 2017; Gabarrón Sánchez, M., 2017; Soriano Disla, J.M., et al., 2018).

En la evaluación de la movilidad y toxicidad de los elementos potencialmente tóxicos se han empleado bioensayos que ponen de manifiesto la toxicidad que provoca la bioaccesibilidad de los metales pesados y elementos traza.

Los trabajos realizados por Murcia, F. J., et al., 2007; Zornoza, R., et al., 2012a, Zornoza, R., et al., 2013; Zornoza, R., et al., Zornoza, R., et al., 2015; Zornoza, R., et al., 2016; Zornoza, R., et al., 2017a, 2017b, han estudiado como la aplicación de enmendantes contribuye a la mejora de las propiedades de los suelos de la Sierra Minera, influyendo en su fertilidad, secuestro de C, metales biodisponibles entre otras, de forma que mejora la actividad microbiana del suelo. El papel que juegan los microorganismos en el suelo también ha sido estudiado por González Fernández, O., 2011.

Para estudiar la toxicidad producida por la movilización de los metales pesados y elementos traza investigadores como Cesar, A., 2003 emplea test de toxicidad realizados con larvas de erizos (*Arbacia lixula* y *Paracentrotus livids*) y con anfípodos (*Gammarus aequicauda* y *Microdeutopus grillootalpa*). Marín Guirao, L., et al., 2005a realizan bioensayos de toxicidad, empleando tres especies de erizos Marínos y dos especies de anfípodos, y por medio de medidas de bioacumulación en la fanerógama Marína *Cymodocea nodosa* para estudiar la biodisponibilidad de los metales pesados de los sedimentos del Mar Menor. García Lorenzo, M.L., et al., 2009 realiza test de ostrácodos para la realización de bioensayos. Pérez Sirvent, C., et al., 2010 estudió la aplicación de varios bioensayos para determinar la toxicidad: toxicidad en elutriado (*Vibrio fischeri*), mientras que en el sedimento (especies de plantas *Sorghum saccharatum*, *Lepidium sativum* y *Sinapis alba* y de crustáceos *Heterocypris incongruens*). Benhamed, S., et al., 2016, 2007 estudiaron la incidencia de los metales en muestras de dorada (*Sparus aurata*)

Otros investigadores utilizan los bioensayos con *Microtox* para evaluar los riesgos de la movilidad de los elementos potencialmente tóxicos al ecosistema biótico (Pérez Sirvent, C., et al., 2007; García Lorenzo, M.L., et al., 2009; García Lorenzo, M.L., 2009; Pérez Sirvent, C., et al., 2010; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2010; Marimón Santos, J., 2015).

Otras investigaciones llevadas a cabo (Navarro Hervás, M.C., 2004; García Lorenzo, L., 2009, Martínez López, S., 2010; García Lorenzo, M.L., 2014 a, 2014c; Martínez López, S., et al., 2014; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2013, González Ciudad, E., 2014; Pérez Sirvent, C., et al., 2015; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2015) ponen de manifiesto la gran variabilidad existente en la bioaccesibilidad del arsénico y metales pesados por las plantas, por animales de vida silvestre, y por ingesta de las personas en

función de la granulometría y la mineralogía de los sedimentos existentes, pasando de ser inertes a peligrosos. Es de resaltar la gran bioaccesibilidad oral que tienen los compuestos carbonatados de metales pesados, particularidad a tener en cuenta en las metodologías de recuperación de suelos contaminados. Por otra parte, es de destacar la presencia de As (III) junto a As(V) en las zonas de humedales contaminadas en mayor abundancia que en el resto de la cuenca vertiente (Martínez López, S., 2010).

6.1.10.- Rotura de presas.

Otro impacto que debe ser contemplado, en el Distrito Minero de Cartagena-la Unión, es el riesgo asociado a la rotura de las balsas si se producen fallos de las estructuras de almacenamiento o contención de los residuos de estériles. Las posibilidades de que se produzcan roturas de diques o taludes va a depender de una serie de factores como el posible deterioro de las condiciones de estabilidad, los aspectos de construcción de la balsa, su situación en el entorno, etc. Los efectos de la rotura de taludes o diques se manifiestan rápidamente y la magnitud de la zona afectada va a determinar los elementos en riesgo, que será tanto mayor cuando se trate de zonas habitadas con población, ecosistemas de valor ecológico, infraestructuras ó actividades económicas. Si se produce la rotura de la presa se puede encontrar zonas nuevas contaminadas por elementos potencialmente tóxicos.

García García, C., 2004, pone de manifiesto el riesgo que se produce de rotura o falla de las balsas de residuos con la pérdida de estabilidad que ocurre durante los episodios de lluvias torrenciales. Este proceso se justifica por las propiedades físico-mecánicas (baja cohesión, ángulo de fricción interna elevado y partículas areno limosa) de los lodos que facilitan la licuefacción de los mismos ante la presencia de un fuerte aguacero.

Rodríguez, R., et al., 2011 pone de manifiesto que cuando se produce la saturación y lavado de los residuos, puede desaparecer la cohesión aparente que proporcionan la succión en los lodos y la cementación por sales precipitadas. Se realizó una caracterización geológico-geotécnica de los lodos de flotación (LF), de 8 presas de la Sierra Minera Cartagena-La Unión. Se aplicaron ensayos granulométricos, medida del peso específico de las partículas sólidas, determinación del índice de plasticidad, medidas de permeabilidad in situ y de laboratorio, corte directo y humedad. Los resultados

muestran que los LF estudiados presentan una granulometría limosa-arenosa, un grado de saturación elevado. Las principales causas de fallos ó rotura de las presas que se han detectado son debida a: 1) deslizamiento del talud, 2) sobrepaso de agua, 3) erosión del dique, 4) subsidencias o colapso del terreno.

6.1.11.- Variación de la morfología del terreno y paisaje.

La zona de estudio presenta una profunda transformación de la orografía del terreno como consecuencia de las numerosas acumulaciones de residuos mineros, además de un importante impacto visual y paisajístico. Además, suele estar acompañado de ausencia de vegetación, ó si la está es muy degradada, ruinas de edificios existentes, los 1902 pozos que se han inventariado entre otros, en la zona de estudio.

García García, C., 2004 considera que el paisaje se verá corregido en tanto se actúe con los elementos que en él interactúan.

Parra Torres, A., 2015, aborda una estrategia de recuperación de depósitos mineros con fines ambientales y culturales. Se concluye que las plantas *O. lanceolata* y *C. humilis* son adecuadas para proyectos de fitoestabilización de zonas mineras, dado que acumulan metales en sus raíces pero no los transfieren a su parte aérea por otro lado, se concluye que el tratamiento del suelo contaminado con carbonato de calcio y estiércol de cerdo reduce las fracciones intercambiables y extraíbles de los metales pesados del suelo. Finalmente se da al depósito minero un uso recreativo y educativo

6.2.- Medidas correctoras y/o actuaciones correctoras propuestas y/o previstas, en los distintos estudios y publicaciones para la protección del Mar Menor en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión, así como las posibles vías de transferencia de metales pesados y elementos traza, a través de las ramblas que tributan al Mar Menor.

Los principales impactos generados durante el desarrollo de las actividades mineras pasadas en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión y su posterior abandono, en la mayoría de las zonas sin proyecto de restauración, ha sido objeto de estudio de muchos investigadores, a través del desarrollo de diferentes proyectos de investigación, como se ha podido comprobar tras la revisión bibliográfica realizada. Principalmente los estudios se han centrado en la Sierra Minera, en la cuenca del Mar Menor y la del Mar Mediterráneo. Pero estas investigaciones no han abordado únicamente los impactos sino que en todas ellas se han desarrollado metodologías y líneas de investigación que tratan de dar respuestas a la problemática de contaminación ambiental que presenta el Distrito Minero de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión y sus zonas de influencia como es el Mar Menor. Es necesario la realización de actuaciones que eviten la dispersión de contaminantes procedentes de los residuos mineros, especialmente la entrada y acumulación de metales pesados en la laguna del Mar Menor.

García García, C., 2004, pone de manifiesto que la principal limitación de éstos trabajos, es la ausencia de un análisis multidisciplinar del problema.

A continuación se presentan las medidas correctoras y/o actuaciones correctoras propuestas y/o previstas en las numerosas investigaciones analizadas.

6.2.1.- Especies vegetales recomendadas para los programas de fitoestabilización que minimicen los riesgos de movilización de metales pesados y elementos traza a las zonas de influencia de la Sierra Minera como es el Mar Menor.

Prácticamente la totalidad de los investigadores coinciden en señalar que la gran superficie afectada por las actividades mineras representan dificultades tanto técnicas como socioeconómicas. Por tanto a la hora de orientar los posibles proyectos de remediación y/o restauración ambiental de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión se han utilizado técnicas orientadas a solventar problemas concretos mediante las investigaciones en campo. Los resultados obtenidos concluyen que una de las primeras medidas ó actuaciones correctoras pasa por la estabilización de la superficie de los estériles mineros. Las investigaciones realizadas también se han centrado en las estrategias para controlar la movilidad de los Elementos Potencialmente Tóxicos, los riesgos derivados de las erosiones, principalmente la hídrica y los problemas ambientales que genera la producción de drenaje ácido de mina. Para dar respuesta a la problemática planteada, han sido numerosas las investigaciones que se han centrado en estudiar las características que presentan las especies vegetales, que crecen de forma natural en las zonas contaminadas por altas concentraciones de metales pesados de la Sierra Minera y cauces de las Ramblas que tributan al Mar Menor.

Se han estudiado las capacidades que presentan las especies vegetales para retener el suelo y de esta forma evitar la erosión y el transporte de metales pesados que se produce desde la Sierra Minera hasta el Mar Menor. Es decir, se ha estudiado la idoneidad de las especies vegetales para los proyectos de restauración de la Zona de estudio a través de programas de fitorremediación, ya sea fitoestabilización, fitoextracción, etc.

Los resultados de la bibliografía analizada concluyen que existen especies vegetales que pueden soportar altas concentraciones de metales en sus suelos rizosféricos, son hipertolerantes. No se consideran hiperacumuladoras (factor de transferencia <1), además presentan unas estrategias de colonización de suelos contaminados por metales pesados, adaptadas a la toxicidad del metal y a la sequía, evitando la transmisión al aire y la producida por la erosión eólica e hídrica de los metales presentes en el suelo y de esta forma mitigar la propagación de la contaminación a las áreas de influencia como es el

Mar Menor. Además al no transferir grandes concentraciones de metales pesados y elementos traza a sus tejidos de su parte aérea se convierten en **especies vegetales recomendadas para los programas de fitoestabilización**, dado que pueden ser usadas para reducir los efectos de la erosión y lixiviación de los metales pesados de zonas mineras abandonadas. Al no transferir metales pesados a su parte aérea se evita el riesgo de entrada de Elementos Potencialmente Tóxicos a la cadena trófica a través del riesgo de ingesta de las mismas por la fauna de la zona. Así lo concluyen: Conesa, H.M., et al., 2006, 2007a, 2007b, *Zygophyllum fabago*, *Helichrysum decumbens*, *Tamarix sp*, *Lygeum spartum*, *Piptatherum miliaceum*, *Dittrichia viscosa*, *Helichrysum decumbens*, *Brassica fruticulosa*, *Pinus halepensis*, *Hyparrhenia hirta*. Ottenhof, C.J.M., et al., 2007, *Lygeum spartum*, *Sarconia ramosissima* y *Phragmites australis*. Pérez Sirvent, C., et al., 2008, 2011, 2012 *Arthrocnemum macrostachyum*, *Dittrichia viscosa*, *Ecballium Elaterium*, *Limonium angustebracteatum*, *Sarcocornia fruticosa*, *Hyparrhenia sinaica*, *Thymelaea hirsuta*, *Teucrium dunense*, *Oxalis pes-caprea*, *Oxalis pes-caprea*, *Salsola oppositifolia*, *Helichrysum decumbens*, *Glaucium flavum*, *Zygophyllum fabago*, *Limonium carthaginens*. García Lorenzo, M. L., 2009., *Dittrichia viscosa* es hiperacumuladora de Cd y *Zygophyllum fabago* de Fe, Carrasco, L. et al., 2010, *Lygeum spartum* L, *Piptatherum miliaceum* L, 2011 *Aspergillus niger*. De la Fuente, C., et al., 2011, *Beta maritima* L.; González Fernández, O., et al., 2011b, 2011c, *Piptatherum miliaceum*, *Dittrichia viscosa* y *Hirsfeldia incana*. Conesa, H.M. & Faz, A., 2011; *Lygeum spartum*, *Piptatherum miliaceum* y *Helichrysum decumbens*. Martínez Sánchez, M.J., et al., 2012 *Limonium carthaginens*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Dittrichia viscosa*, *Glaucium flavum* y *Zygophyllum fabago*; Martínez Alcalá, I., et al., 2012, *Lupinus albus* L; Pardo, T., 2013, 2014a, *A. halimus*, 2014b *Bituminaria bituminosa*; Párraga Aguado, I.M., et al., 2013a, 2014b, 2014c, 2014d, 2014e, *Pinus halepensis*, *Lavandula dentata*, *RosMarínus officinalis* y *Thymus vulgaris*, *Zygophyllum fabago*. Gómez Ros, J.M., et al., 2013, *H. syriacum*, *H. stoechas*, Párraga Aguado, I.M., et al., 2014 concluye que para mejorar la sostenibilidad de una comunidad vegetal, a largo plazo, es conveniente la combinación de halófitos con especies de plantas no halófitas, Martínez López, S., et al., 2014 *Dittrichia viscosa*, *Arthrocnemum Macrostachyum* y *Glaucium flavum*. Martínez Fernández, D., et al., 2014 *Dittrichia viscosa*, *Nicotiana glauca* y *Silybum marianum*. Parra, A., et al., 2016 *Nerium oleander*, *Cistus albidus* y *Pistacia lentiscus*. López

Orenes, A., et al., 2017 *Zygophyllum fabago*, Gabarrón, M., et al., 2018 *Ballota hirsuta* puede ser utilizado como especie de fitostabilización para Zn, Co, Pb y Cd.

Cuando las especies vegetales estudiadas presentan factor de transferencia >1 , es decir que transfieren grandes concentraciones de metales pesados a su parte aérea son recomendadas para los programas de fitoextracción. Tienen la capacidad de acumular grandes concentraciones de metales pesados y elementos traza en sus tejidos. Estas especies son recomendadas para los programas de fitoextracción. En un programa de fitorremediación se debe de estudiar la contribución que la planta aporta de Elementos Potencialmente Tóxicos a la dieta de los animales, este indicar puede ser usado para la selección de especies vegetales. Una vez llevado a cabo la descontaminación del suelo, estas plantas deberían ser gestionadas como residuos peligrosos.

Conesa, H.M., et al., 2009b concluye que el contenido en Cd que presenta la especie *Cicer arietinum* puede representar un riesgo de entrada de metales tóxicos a la cadena trófica. Clemente, R., et al., 2012, la acumulación de As en las hojas *Atriplex halimus*, dificulta su uso en tareas de fitoestabilización, y hace que sea necesario una evaluación ecotoxicológica, para poder ser utilizada en programas de remediación de suelos contaminados de áreas semiáridas. Martínez López, S., et al., 2014 desaconseja el uso *Helichrysum decumbens*, *Carduus bourgeanus*, *Lygeum spartum* para los programas de fitoestabilización dado que serían fitoextractoras para As. Gabarrón, M., et al., 2018 *Ballota hirsuta* puede ser utilizado como especie de fitostabilización para Zn, Co, Pb y Cd y especie fitoextractora para Cr, Cu, As y Ni.

También se han realizado numerosas investigaciones para estudiar y determinar como la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo mejora y favorece el crecimiento de determinadas especies vegetales.

Conesa, H.M., et al., 2007a, 2009a, 2009b *Lygeum spartum*. Kabas, S., et al., 2012 *Piptatherum miliaceum* (L.) Cosson. González Alcaráz, M. N., et al, 2013a halófito *Sarcocornia fruticosa* de Zn, Cu y Pb pero no de Mn y Cd soluble que se aumentan. González Alcaráz, M.N., et al., 2013b, 2013c, *Sarcocornia fruticosa* y *Phragmites australi*. Kohler, J., et al., 2015 se estudió la efectividad de combinar, un hongo *Glomus sp.* y la adición de un compost de residuos orgánicos urbanos, en la estabilización de una la especie vegetal *Anthyllis cytisoides*, Párraga Aguado, I.M., et al., 2015 *Piptatherum miliaceum*, Martínez Or, D., et al., 2017 *Pinus halepensis*, Parra, A., et al., 2017a, 2017b,

Lavandula dentata, *RosMarínus officinalis*, *Thymus vulgaris*, *Nerium oleander*, *Cistus albidus* y *Pistacia lentiscus*, Zea mays Pardo, T., et al., 2017 *Atriplex halimus* y *Zygophyllum fabago* Moreno Barriga, F., et al., 2017 *Piptatherum miliaceum*. Acosta, J.A., et al., 2018 *Atriplex halimus*, López Orenes, A., et al., 2018 del pino Alepo (pino carrasco), Martínez Oró, D., et al., 2019 *Pinus halepensis* y *Piptatherum miliaceum*, esta última es una especie de pasto.

Kabas, S., et al., 2011, concluye que el uso de enmendantes y la fitoestabilización con especies de plantas vegetales reducen el riesgo medioambiental de la zona, inmovilizando los metales, evitando su propagación a los alrededores y previniendo la erosión.

También se ha estudiado las características de las especies vegetales para los trabajos de fitorremediación de humedales salinos.

Maria Cervantes, A., et al., 2010, *Sarcocornia fruticosa* y *Phragmites australis* concluye que para evitar el riesgo de movilización de As, en las marismas saladas contaminadas por metales, se debe tener en cuenta la dinámica de las inundaciones. González Alcaráz, M. N., et al, 2013, halófito *Sarcocornia fruticosa*, los resultados ponen de manifiesto, que con el tratamiento del suelo, se produce la inmovilización de Zn, Cu y Pb pero no de Mn y Cd soluble que se aumentan. Se concluye, que el tratamiento de enmendante más vegetación puede aumentar el riesgo de movilización de metales a largo plazo. González Alcaráz, M.N., José Álvarez Rogel, J., 2013, *Sarcocornia fruticosa* concluye que la combinación de enmendante y vegetación mejora la movilización del Fe en suelos de humedales contaminados por residuos mineros. González Alcaráz, M. N. & Van Gestel, C.A.M., 2017 *Phragmites australis* en suelos de humedales contaminados por metales y bajo la influencia de variaciones del nivel freático. Pérez Sirvent, C., et al., 2017 *Phragmites australis*, *Juncus effusus* e *Iris pseudacorus* concluye que es posible utilizar las especies estudiadas para la fitoestabilización de suelos contaminados con (PTEs). Álvarez Rogel, J., et al., 2018 *Sarcocornia fruticosa* concluye que el uso de biochar, en humedales contaminados con metales, tiene implicaciones ambientales que deben de ser planificadas para cada caso específico, optimizar los aspectos positivos (humedales como sumidero de contaminantes) y reducir los inconvenientes (humedales como fuente de contaminantes).

En los suelos encharcados y contaminados por metales pesados es más difícil poder establecer una estrategia de gestión única. La efectividad de las técnicas de remediación depende del metal objeto de eliminación, el tipo de suelo, agua, el régimen de niveles freáticos y la presencia/ausencia de vegetación.

6.2.2.- Evitar la degradación física, química y biológica que se produce en los suelos circundantes de la cuenca del Mar Menor.

El grupo de Contaminación de Suelos de la Universidad de Murcia, a través de diferentes trabajos, entre los que destacan (Navarro Hervás, M.C., 2004, 2006; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez López, S., 2010), ha puesto de manifiesto que existe una atenuación natural de la contaminación hacia el Mar Menor, debido a la disminución de la solubilidad de los compuestos de arsénico y metales pesados, por sus reacciones con el carbonato cálcico de los suelos carbonatados de las zonas circundantes a dichas explotaciones mineras, además de con compuestos de hierro y otros. Dicha atenuación con carbonatos no tiene lugar en contacto con suelos rojos descarbonatados por lo que en estas zonas aumenta el riesgo de que lleguen metales pesados al Mar Menor sin neutralizar. Estos contaminantes alcanzan la laguna con lluvias torrenciales. Según estas conclusiones, se recomienda *evitar la degradación física, química y biológica que se produce en los suelos circundantes de la cuenca del Mar Menor y que conlleva procesos erosivos perjudiciales para la laguna* (Martínez Sánchez, M.J., y Pérez Sirvent, C., 2005, 2009; Mantilla, W., 2010). Se recomienda las prácticas de actividades agrarias que eviten la erosión a través de la disminución de la conversión de secanos a regadíos intensivos, eliminación de movimientos de grandes volúmenes de tierra, prácticas de cultivo inadecuadas como el arado perpendicular a la pendiente facilitando las escorrentías hacia el Mar Menor, la compactación superficial y subsuperficial, la modificación o eliminación de ramblas y ramblizos, la eliminación de los bancales y de las franjas vegetales de contención de sedimentos, así como las insuficientes actuaciones de recuperación de antiguos cauces de ramblas y de la vegetación natural en la cuenca y los propios cauces.

6.2.3.- Aplicación de enmendantes y creación de tecnosuelos/ tecnosoles para reducir y/o eliminar la movilidad potencial de los metales pesados y elementos traza evitando la transferencia al Mar Menor.

La problemática de la contaminación por elementos potencialmente tóxicos y los riesgos de movilización asociada, ha sido abordado por diferentes investigadores. Se han aplicado diferentes estrategias que demuestran la consecución de la inmovilización de los metales y la reducción de la toxicidad. Además, las estrategias empleadas mejoran las propiedades del suelo (aumento de pH; materia orgánica; nutrientes, disminución del contenido en sales, formación de agregados estables) y facilitan el desarrollo de las cubiertas vegetales. Las técnicas empleadas se han realizado seleccionando diferentes materiales de origen antrópico, en función de las características del residuo minero, que garanticen la inmovilización de los metales. La creación de tecnosoles (creación de un suelo artificial utilizando materiales antrópicos).

El Proyecto de Restauración Ambiental y Paisajística del Depósito de Residuos en Gloria Este fue el primer proyecto que abordaba la rehabilitación de estériles mineros en la Sierra de Cartagena-La Unión. Se planteaba la creación de un tecnosol diseñado. Finalmente el proyecto no llegó a realizarse nunca, pero el planteamiento general de emplear los estériles mineros conocidos como filitas grises podría ser válido para crear coberturas de suelo sobre las numerosas presas mineras abandonadas de la zona y es un tema que merecería ser estudiado.

A pesar de no existir una solución global para la rehabilitación de estos depósitos mineros, sí que son numerosas las experiencias de fitoestabilización asistida en algunas de las presas de residuos. La finalidad de esta técnica, que consiste en la aplicación de enmiendas y la promoción del desarrollo de la vegetación, no es descontaminar el área afectada, sino inmovilizar y retener los metales del suelo para que estos elementos sean menos disponibles y se minimice la transferencia por erosión y la lixiviación.

Los buenos resultados obtenidos sobre la inmovilización de metales y mejora de las características del suelo, convierte estos métodos en medidas correctoras aconsejables a aplicar en la zona de estudio.

El grupo de investigación GARSA, de la Universidad Politécnica de Cartagena ha realizado investigaciones en laboratorio y rehabilitación de depósitos de lodos de

flotación como se desarrolla en las patentes PCT/ES2015/070061, ES 2 450 090 B1 y ES 2 474 91.

Conesa, H.M., et al., 2006 analizaron las características edáficas en las presas Belleza (el Descargador), El Lirio y El Gorguel y se estudió el crecimiento natural de las especies *Zygophyllum fabago*, *Helichrysum decumbens*, *Tamarix* sp. y *Lygeum spartum*. Conesa, H.M., et al., 2007a, emplea enmendante calizo.

Faz, A., et al., 2008, estudiaron la utilización de lodos de la producción de cerdos, para reducir el proceso de drenaje ácido de mina, provocado por la movilización de metales pesados en las zonas mineras así como mejorar las condiciones del suelo y favorecer el establecimiento de la vegetación. Se utilizó el estiércol de cerdo, los lodos de depuradora y la cal como enmiendas del suelo. Los resultados muestran que el estiércol de cerdo puede ser utilizado para remediar suelos contaminados; aumenta inicialmente el pH del suelo y disminuye la movilidad del metal. Presenta el inconveniente que después de 21 semanas, el lixiviado era ligeramente ácido aunque la movilidad de los metales era baja. Las adiciones de 7 y 14% de estiércol de cerdo fueron insuficientes para mantener un pH neutro en el lixiviado por lo tanto, se recomienda la aplicación continua del estiércol de cerdo.

Kabas, S., et al., 2012 estudia el efecto de los residuos de mármol y el purín de cerdo en los ensayos realizados en parcelas en los depósitos mineros de El Gorguel y El Lirio, en el marco de un proyecto FP7 de la Unión Europea.

Zornoza, R., et al., 2012a estudiaron el efecto del tratamiento con residuos de mármol, estiércol de cerdo y lodos de depuradora. Zornoza, R., et al., 2013 estudiaron el efecto a corto plazo, de la aplicación de enmienda de lodo porcino solo y junto a residuos de mármol. Zornoza, R., et al., 2015 estudiaron el efecto de la utilización de la fitoestabilización asistida, con carbonato de calcio y estiércol de cerdo. Zornoza, R., et al., 2016 realizaron un experimento de incubación con cuatro enmiendas: lechada de cerdo (PS), estiércol de cerdo (PM) y material pirogénico carbonatado (PCM) aplicado con y sin residuos de mármol (MW; CaCO₃). Zornoza, R., et al., 2017a, se estudió el desarrollo de una estrategia de rehabilitación en una presa de residuos mineros basada en la fitoestabilización asistida. Se aplicó sobre la superficie de la presa lodo de mármol (6.7 kg m⁻²), purín de cerdo (1.7 ,7 L m⁻²) y la fase sólida de purín de cerdo (7 kg m⁻²). Zornoza, R., et al., 2017b, construye un Tecnosol con residuos de mármol y dos

materiales orgánicos (estiércol de cerdo y lodos de depuradora con y sin inoculación de microorganismos).

Acosta, J.A., et al., 2018 trata el suelo con enmendante, combinando residuos de mármol (CaCO_3) y purines de cerdo.

Moreno Barriga, E., et al., 2017a estudiaron los resultados de la creación de un tecnosol, con biochar de estiércol de cerdo, residuos de cultivos y residuos sólidos municipales como estrategia sostenible para recuperar zonas mineras y reducir la movilidad de los metales. Las disminuciones en la movilidad de Cd se relacionaron con la retención por el carbonato, los óxidos Fe/ Mn y las fracciones oxidables (compuestos orgánicos). Las del Pb con la retención de los óxidos Fe/ Mn y las fracciones residuales, mientras que las disminuciones en la movilidad de Zn se relacionaron con la retención en los óxidos Fe/ Mn y las fracciones oxidables. Con los resultados obtenidos, de la utilización de SEM/EDX, se concluye que biochar muestra una gran afinidad por los óxidos de hierro, sulfatos de calcio y filosilicatos y puede retener metales. Moreno Barriga, E., et al., 2017b estudiaron el diseño de un Tecnosol adecuado para una estrategia sostenible de recuperación de balsas de estériles mineros. Se estudiaron diferentes materiales primas (estiércol de cerdo, algodón *Gossypium hirsutum*, residuos de cereales y residuos sólidos municipales) y residuos de mármol para evaluar sus efectos sobre la evolución de los contenidos de C y N, GEI, la estabilidad de los agregados así como la actividad y biomasa microbiana. Los resultados muestran que todos los biochars aumentan la estabilidad de los agregados así como la actividad microbiana (pero sólo durante los primeros 7 días). Las emisiones de CH_4 disminuyeron en todos los tecnosoles que recibieron biochar. Se concluye que el uso combinado de biochar y residuos de mármol contribuyó al secuestro de C del suelo y mejoró la estructura del suelo. Se necesitarían compuestos para estimular las poblaciones microbianas en los Tecnosoles.

Murcia, F. J., et al., 2007 estudiaron la evolución de los suelos afectados por la actividad minera (El Lirio y La Esperanza), tras la aplicación de residuos con carbonatos, residuos de la construcción y demolición y lodos de depuradora. La evolución se estudió a través de la comunidad microbiana. Los resultados ponen de manifiesto que la adición de enmiendas del suelo a los suelos mineros conduce a cambios en algunas propiedades del suelo y características, tales como pH, nitrógeno total y metales biodisponibles. Estos cambios representan una mejora de las condiciones del suelo que le permita soportar el

crecimiento de los microorganismos. Los suelos mostraron, en general, un bajo número de microorganismos, pero cualquiera de las enmiendas aplicadas (en cualquiera de las concentraciones) conducen a un aumento significativo en los conteos de las diferentes comunidades microbianas, lo que puede considerarse como una mejora del suelo causada por estas enmiendas.

El grupo de investigación de Contaminación de suelos de la Universidad de Murcia, ha abordado una serie de proyectos de investigación, donde se ha priorizado los tratamientos “in situ” frente a los tratamientos “ex situ” ó la utilización de residuos que contiene filler calizo como enmendante para la recuperación de los suelos afectados por las actividades mineras de la Sierra Minera de Cartagena-la Unión. Los buenos resultados obtenidos se muestran en una serie de publicaciones.

Pérez Sirvent, C., et al., 2007 estudiaron el efecto, desde un punto de vista ecotoxicológico, de la adición de lodos de corte de mármol, en la fracción móvil de los metales de contenidos en los suelos contaminados de las zonas mineras. El estudio se realizó sobre dos sedimentos derivados de actividades mineras en Bahía de Portman (SE, España) que fueron mezclados con lodos de corte de mármol. Los resultados obtenidos por lixiviación muestran que la adición de lodo de corte de mármol (carbonatos principalmente), a un sedimento contaminado de metales pesados influye en la disminución de las formas disponibles del metal. El contenido de carbonato parece desempeñar un papel en la estabilización química de los metales y en una disminución de toxicidad de los sedimentos.

Pérez Sirvent, C., et al., 2010, estudiaron la aplicación de los lodos de mármol a los suelos contaminados por metales pesados de las actividades mineras, como una posible forma de remediación. Se analizaron dos muestras de sedimentos de la Bahía de Portman y 2 muestras de una zona altamente industrializada como el Valle de Escombreras. Los sedimentos contaminados fueron mezclados los lodos de corte de mármol. Los resultados muestran que la adición de lodos disminuye la disponibilidad de los metales estudiados (Pb, Zn y Cd), se debe principalmente a su contenido en carbonatos. Las soluciones de lixiviados sometidas al bioensayo de Microtox resultaron efecto no tóxico. Se concluye que el contenido en carbonatos juega un papel importante en la química de estabilización de metales y disminuye la toxicidad de este tipo de sedimentos.

José Manuel Veiga Del Baño, 2011 utiliza una cámara climática, de temperatura y humedad controladas, para caracterizar suelos contaminados por actividades mineras y enmendados con filler calizo. Además se utiliza la espectroscopia Raman como herramienta complementaria para el estudio cualitativo. Se concluye que la utilización de filler calizo como enmendante en los procesos de estabilización in situ, es muy recomendable. Los resultados obtenidos muestran que en los procesos de sorción, los metales analizados (As, Cu, Zn, Cd y Pb) son retirados de la disolución, en un porcentaje global superior al 95%.

Eva González Ciudad, 2014 identifica los peligros asociados a los materiales representativos de la Bahía de Portman, en relación con las características físico-químicas y mineralógicas, así como la evaluación de riesgos por vía ingesta, inhalación y dérmica. En el trabajo se despejan las incertidumbres para el diseño de Tecnosoles para la recuperación de espacios mineros polimetálicos contaminados para uso residencial. Se concluye que el carbonato cálcico es un enmendante efectivo en los procesos de inmovilización de EPTs.

Martínez Sánchez, M.J., et al., 2014a aplicaron una técnica de inmovilización in situ, de sedimentos contaminados por metales pesados, de la Bahía de Portman. El desarrollo del tecnosol se realizó con sedimentos originales contaminados, otros mezclados con un 50% de filler calizo, grava para evitar el ascenso capilar y suelo natural que permite el crecimiento de las especies vegetales. También se aplicó el bioensayo de microtox. Los resultados obtenidos después de la inmovilización mostraron que las muestras de sedimento tenían valor de pH neutro (promedio 8.3), baja conductividad eléctrica (1.32 dS m^{-1}) y baja concentración de elementos traza. Además, el bioensayo realizado con microtox, no dio resultados de ecotoxicidad. Se puede concluir que el uso de filler calizo es una excelente opción, para la remediación de sedimentos contaminados por metales pesados dado que desaparece o disminuye el riesgo para la salud humana y el ecosistema. Además la técnica diseñada permite optimizar la proporción del enmendante, lo cual supone un gran ahorro de costos del proyecto en áreas afectadas por actividades mineras. Martínez Sánchez, M.J., et al., 2014b estudiaron la toxicidad de los elementos potencialmente tóxicos (EPTs), de los tecnosoles formados por suelos afectados por la actividad minera y filler calizo. Se utilizaron sedimentos contaminados por metales pesados de la Bahía de Portman, mezclados con filler calizo a diferentes proporciones.

10, 20 y 30%. Los resultados muestran que el material estabilizado tiene pH neutro y baja concentración de (As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn) solubles. Los resultados de aplicar el bioensayo Microtox®, indican bajos niveles de toxicidad en las muestras estabilizadas. Se concluye, que la formación de tecnosoles con filler calizo, puede considerarse una buena herramienta para la detección de contaminación por EPTs, en áreas afectadas por las actividades mineras, al tiempo que proporcionan información sobre los posibles procesos de atenuación.

Víctor Pérez Espinosa, 2014 evalúa la inmovilización de elementos potencialmente tóxicos en zonas mineras abandonadas y recuperadas mediante tecnologías de descontaminación, estabilización in situ, a partir de sus lixiviados de flujo vertical y lateral. Se concluye que el filler tiene efecto estabilizante en los suelos, disminuyendo la alteración de los materiales, y por tanto la movilización, además, su granulometría fina influye en el aumento de la velocidad de estabilización. Se obtienen % de retención cercanos al 99% de EPTs en los ensayos realizados en columnas. Tras la experiencia realizada, estudiando la variabilidad temporal de los lixiviados, los Tecnosoles con filler calizo, con el paso del tiempo, son estables.

García Lorenzo, M.L., et al., 2014 evaluaron la efectividad del bioensayo en plantas (Phytotoxkit®) para determinar los riesgos ecotoxicológicos que presentan los suelos afectados por actividades mineras abandonadas. Estos sedimentos fueron mezclados con filler calizo en diferentes proporciones: 10, 20 y 30%. Los resultados obtenidos para el análisis de la concentración total, soluble y aplicación de bioensayo, concluyen la baja concentración de metal, similar a cuando ocurre un proceso de atenuación natural de la contaminación debido a la mezcla de materiales ricos en carbonatos de los suelos circundantes. El bioensayo dio baja toxicidad en las muestras analizadas. El ensayo de toxicidad es una herramienta adecuada para el screening de suelos contaminados por actividades minera y la mezcla de sedimentos con relleno de piedra caliza podría aplicarse a la remediación de estos suelos contaminados.

Pérez Sirvent, C. & Martínez Sánchez, M.J., 2015 abordan una serie de cuestiones planteadas para la gestión ecoeficiente de los suelos contaminados por metales pesados. Algunas de las conclusiones obtenidas son la prioridad de los tratamientos “in situ” frente a los tratamientos “ex situ” ó la utilización de residuos que contiene filler calizo como enmendante para la recuperación de estos suelos.

Martínez Sánchez, M.J., et al., 2015 estudiaron las implicaciones que tiene el análisis de riesgos para la salud de las personas en la toma de decisiones para la gestión del riesgo de un suelo contaminado, de tal manera que el riesgo aceptable/inaceptable es decisivo en la selección de las tecnologías de recuperación de dicho suelo para un uso determinado. Se expone un ejemplo que se está llevando a cabo en la Bahía de Portmán, en el distrito minero de La Unión (Murcia). Los resultados muestran que los receptores más afectados por el uso de la Bahía son los niños; la vía de exposición más importante es la de ingesta de partículas sólidas, dadas las características del material, seguida de la dérmica y de inhalación. La recuperación se plantea mediante la fabricación de Tecnosoles ad hoc, según el riesgo detectado.

Pérez Espinosa, V., 2015 estudia la utilización de filler calizo y hormigón, procedente de los residuos de la construcción y demolición, como materiales adsorbentes de las formas solubles de los elementos potencialmente tóxicos. Los resultados obtenidos en los estudios en batch y en columnas realizados en laboratorio se concluye que son materiales adecuados para la recuperación de aguas y suelos contaminados por metales pesados en zonas de influencia minera.

Inés Aguado Juan, 2015 realiza un estudio experimental en invernadero para modelizar los procesos que pueden tener lugar en suelos restaurados de origen minero. El estudio se desarrolla con diferentes especies vegetales de consumo, lechuga “Baby”, puerro, cebolla, brócoli, alfalfa, lechuga “Iceberg” y acelga. Se utiliza suelo natural y Tecnosoles (con diferente proporción de suelo minero y otros materiales como tierra vegetal, residuos de la construcción, filler calizo). Se concluye que son precisos estudios de la contaminación para el uso agrícola del suelo influenciado por la contaminación minera para disminuir el nivel de exposición de As en la dieta. Se asemeja el efecto de los Tecnosoles, con filler calizo y RCDs, a la atenuación natural de la contaminación que existe en los emplazamientos mineros cuando existen suelos con carbonato cálcico y arcilla.

Jorge Marimón Santos, 2015, desarrolla una técnica de recuperación de suelos contaminados por actividades mineras mediante valorización de residuos de lodos de corte de mármol y con inmovilización in situ. Se concluye que las propiedades que presentan los lodos de mármol: elevado contenido en carbonato cálcico, pH elevado,

granulometría muy fina, se obtengan unos resultados excelentes de inmovilización de EPTs. Los resultados obtenidos con bioensayos realizados con el método Microtox, ponen de manifiesto, que los residuos ricos en carbonato cálcico son viables para producir compuestos estables con los metales y reducir el riesgo para el ecosistema biótico.

Carmen Hernández Pérez, 2017, aborda la problemática de los drenajes de aguas ácidas, que se producen en las inmediaciones de la Bahía de Portmán, intentado dar una solución viable y ecoeficiente a través del estudio de movilización de metales en plantas acuáticas utilizadas en fitorremediación de humedales artificiales. Entre las conclusiones obtenidas a destacar esta el comportamiento de los Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs) en las rizosferas va a estar condicionado por la proporción y tipo de arena así como proporción de material calizo presente.

Desde el CSIC-Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Kohler, J., et al., 2015 estudiaron la efectividad de combinar, un hongo *Glomus sp.* y la adición de un compost de residuos orgánicos urbanos, en la estabilización de una la especie vegetal *Anthyllis cytisoides*. Los resultados mostraron que el uso combinado de una dosis alta del enmendante orgánico y la inoculación del hongo aumenta significativamente la biomasa de la planta, en comparación con el control. Carrasco, L., et al., 2011 estudiaron la estabilización de las superficies de las balsas de residuos mineros para controlar la propagación de metales pesados debido a la vulnerabilidad a la erosión del agua y del aire que presenta. Se realizó un experimento en invernadero para evaluar el efecto de la adición de desechos de remolacha azucarera tratados con *Aspergillus niger* e inoculación con una bacteria nativa, *Bacillus cereus*, sobre la estabilización de los agregados del suelo de dos residuos mineros ácidos, semiáridos, con diferentes grado de acidez, durante los períodos de riego y secado. Los resultados ponen de manifiesto que estos métodos de estabilización están restringidos para los suelos mineros que presentan una acidez moderada.

Desde el grupo de investigación de Conservación de Suelos y Agua y Manejo de Residuos Orgánicos del CEBAS-CSIC se han realizado varios proyectos de investigación para la recuperación de suelos contaminados por elementos traza mediante fitotecnologías.

Pardo, T., et al., 2011 estudiaron el potencial del compost de alperujo (residuos sólidos oliva molida) y el purín de cerdo, como enmienda orgánica para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados, en la zona minera de La Unión (Murcia). Se realizó un test de toxicidad para los parámetros microbianos, así como la solubilidad del As y metales pesados en suelos tratados y no tratados. Los resultados muestran que la adición de las enmiendas orgánicas incrementa la comunidad microbiana, así como su actividad (incluida la nitrificación) y la germinación de semillas. Se concluye que son buenos candidatos para las estrategias de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados.

De la Fuente, C., et al., 2011 evaluaron el efecto de la adición de un material de desecho orgánico (cáscara de olivo fresca) como enmienda para la remediación de suelos contaminados por metales pesados de la zona minera de Cartagena- La Unión. El experimento se realizó sobre un suelo calcáreo y se utilizó *Beta maritima* L. como una especie indicadora para los efectos del tratamiento sobre la solubilidad del metal. Se concluye que la cáscara de olivo compostada puede ser un material apropiado para el desarrollo de las estrategias de biorremediación, especialmente la fitoestabilización y fitoinmovilización. Además mejora la actividad microbiana del suelo.

Clemente, R., et al., 2012 estudiaron los efectos de la aplicación de un enmendante orgánico (compost) y del purín de cerdo, en un suelo de la Sierra Minera altamente contaminado por metales (As, Cd, Cu, Mn, Pb y Zn) y sobre el arbusto halófito *Atriplex halimus*. Los resultados muestran que la enmienda (compost) aumenta los nutrientes del suelo y de materia orgánica, así como el desarrollo de una biomasa microbiana del suelo (efectos que son mejorados por la presencia de *A. halimus*). El purín tiene efectos sobre el aumento y revegetación de *Atriplex halimus*. La acumulación de As en las hojas *Atriplex halimus*, dificulta su uso en tareas de fitoestabilización, y hace que sea necesario una evaluación ecotoxicológica, para poder ser utilizada en programas de remediación de suelos contaminados de áreas semiáridas.

Martínez Alcalá, I., et al., 2012 estudiaron la viabilidad del uso del lupino blanco (*Lupinus albus* L.) en las técnicas de fitoinmovilización de metales pesados de los suelos contaminados de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Al ser una especie anual, se plantea la problemática que puede haber cuando los metales pesados absorbidos por la planta y almacenados en las raíces pueden incorporarse nuevamente al suelo durante la

degradación de las raíces. En este trabajo se han utilizado tres suelos contaminados con metales (calcáreo, neutro y ácido). Los resultados ponen de manifiesto que las cantidades de metales pesados liberados en el suelo después de la degradación de la raíz fueron muy bajas en comparación con la concentración total de metales en el suelo. Los resultados obtenidos confirman la viabilidad del uso de *L. albus* para técnicas de fitoinmovilización de metales.

Tania Pardo, 2013, estudió el efecto de la aplicación de técnicas de fitoestabilización basadas en el uso de enmiendas orgánicas y plantas autóctonas, sobre las propiedades que determinan la salud de los suelos mineros contaminados por elementos traza. Los resultados ponen de manifiesto que la utilización tanto de compost de alperujo como de purín de cerdo, y especialmente en combinación con *A. halimus*, puede ser una estrategia eficaz para la recuperación de la salud de los suelos pobres con elevados niveles de elementos traza propios de la Sierra Minera de La Unión. La fitotecnología que se ha investigado puede ser aplicable a gran escala.

Pardo, T., et al., 2014, estudiaron el efecto de la aplicación de un compost maduro (alperujo + estiércol de vaca 10:1) como enmendante de suelos, en programas de fitorestauración de suelos afectados por la actividad minera, contaminados por oligoelementos (As, Cd, Cu, Mn, Pb y Zn). También se estudió el efecto de un fertilizante inorgánico para hacer una comparación. Además se seleccionó *Bituminaria bituminosa*, que es una leguminosa que crece de forma natural en estos suelos mineros. Los resultados al final del experimento (2 años) muestran una colonización espontánea con mayor cobertura vegetal en las parcelas modificadas con compost. Se concluye que se aconseja el uso de compost como enmendante para la mejora de cobertura vegetal para la fitoestabilización de suelos mineros en ambientes semiáridos que presentan moderada contaminación.

Arco Lázaro, E., et al., 2015 estudiaron los diferentes procedimientos de fitoestabilización basados en el cultivo de una leguminosa (*Bituminaria bituminosa*) y otra especie de gran biomasa (*Piptatherum miliaceum*). Ambas son especies características de este tipo de suelos. Se concluye que el nitrógeno juega un papel importante en el crecimiento de *Piptatherum miliaceum*, en los suelos contaminados por metales pesados. Se propone, como técnica eficaz para el cultivo de esta especie en los suelos estudiados, la combinación de la adición del compost orgánico (residuo sólido de

oliva molido) junto con el cultivo de leguminosas dado que mejora su crecimiento y absorción de N, así como las propiedades del suelo.

Arco Lázaro, E., et al., 2016 estudiaron cómo afecta a la adición de enmiendas orgánicas, en suelos contaminados por la actividad minera, a la solubilidad del arsénico en el suelo. Se estudian los procesos de adsorción y desorción, en cuatro suelos diferentes, con y sin adición de compost y también la competencia con el fosfato a través de isotermas de sorción. Además, el uso de compost y fosfato redujo la adsorción de As en suelos mineros, mientras que en los suelos agrícolas el compost incrementó su baja capacidad de adsorción. Por lo tanto, el uso de compost puede ser una buena opción para favorecer la inmovilización en suelos de baja adsorción. Se concluye que el conocimiento de la composición del suelo será crucial para predecir los efectos de las enmiendas orgánicas en cuanto a la solubilidad del As y el riesgo ambiental asociado a estos suelos.

Pardo, T., et al., 2016 consideraron necesario estudiar la aplicación de enmiendas para facilitar el establecimiento de la planta y reducir el impacto medioambiental mediante los procesos de fitoestabilización. Se realizó un experimento usando dos materiales (carbonato cálcico y derivado del lodo rojo ViroBind™) para evaluar la capacidad de estabilización de oligoelementos en ambientes ácidos. La especie vegetal seleccionada fue *Atriplex halimus*. Los resultados muestran que la aplicación de los tratamientos enmendantes incrementó el pH de los residuos mineros, disminuyó la solubilidad de los elementos traza, pero también cambió la especiación de Cd, Cu y Pb solubles. *Atriplex halimus* creció (no aparecía en los suelos contaminados sin tratar) aumentando su biomasa y el estado nutricional, además se redujeron la acumulación de elementos traza en la planta.

Pardo, T., et al., 2017 estudiaron el tratamiento de remediación realizado en suelos contaminados por metales pesados y pH ácido del distrito minero de La Unión en Cartagena (SE España). El enmendante que se aplicó a las parcelas fue una combinación de lodo rojo (óxidos de Fe/Al), compost y cal hidratada (hidróxido de Ca). Las plantas halófitas utilizadas fueron *Atriplex halimus* y *Zygophyllum fabago*. Los resultados ponen de manifiesto que la solubilidad de los elementos traza en un suelo con residuos mineros se redujo mediante la adición de enmiendas. Los diferentes tratamientos permitieron el crecimiento de las plantas y limitaron la acumulación de metales en sus hojas. La combinación de lodo rojo, compost y halófitas tiene éxito como opción de remediación.

Elena Arco Lázaro, 2017, estudia los efectos de la utilización de enmiendas orgánicas e inorgánicas en la inmovilización de elementos traza de suelos contaminados de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Algunas de las conclusiones obtenidas son que las enmiendas orgánicas en suelos contaminados por actividades mineras favorece el crecimiento de especies vegetales, además disminuye la toxicidad en las plantas (inmovilización de elementos traza en suelo). Se pone de manifiesto que un compost procedente de purín de cerdo es más eficiente que un fertilizante húmico en la disminución de la contaminación por elementos traza del suelo.

Desde el grupo de Edafología Ambiental, Química y Tecnología Agrícola se han realizado diversos proyectos de investigación para estudiar el efecto de los tratamientos enmendantes en los humedales salinos de la Costa del Mar Menor.

González Alcaráz, M. N., et al, 2013a estudiaron el efecto de combinar tratamiento enmendantes y vegetación para los trabajos de fitorremediación de humedales salinos, ácidos y contaminados por residuos mineros. Se utilizó la especie halófito *Sarcocornia fruticosa*. Los resultados ponen de manifiesto, que con el tratamiento del suelo, se produce la inmovilización de Zn, Cu y Pb pero no de Mn y Cd soluble que se aumentan. Se concluye, que el tratamiento de enmendante más vegetación puede aumentar el riesgo de movilización de metales a largo plazo. González Alcaráz, M.N., José Álvarez Rogel, J., 2013b estudiaron el efecto del enmendante y la vegetación en la dinámica del Fe, en suelos de humedales, afectados por residuos mineros y bajo diferentes regímenes de inundación. La especie vegetal *Sarcocornia fruticosa*. El tratamiento enmendante disminuye el Eh y aumenta el contenido de Fe soluble. Se concluye que la combinación de enmendante y vegetación mejora la movilización del Fe en suelos de humedales contaminados por residuos mineros.

Parra, A., et al., 2014c estudiaron tres especies de Lamiaceae (*Lavandula dentata*, *RosMarínus officinalis* y *Thymus vulgaris*), que crece de forma natural, en los suelos de las zonas mineras abandonadas, para estudiar su uso en programas de fitoestabilización. También se estudio el efecto de enmendante con carbonato cálcico y estiércol de cerdo. Los resultados indican que la tasa de supervivencia de las semillas y el desarrollo radicular es negativo cuando se planta en suelo minero sin tratar, por el contrario en el suelo tratado se reduce la fracción intercambiable y extraíble de los metales del suelo. *L. dentata* y *R. officinalis* se relacionó con la inmovilización de

elementos traza. Las enmiendas redujeron la acumulación de Zn en todas las especies, pero aumentaron la translocación de Pb y As en *L. dentata* y *T. vulgaris*, aunque los niveles estaban por debajo de los umbrales de toxicidad. Las especies estudiadas pueden utilizarse para la fitoestabilización de suelos ácidos contaminados.

Párraga Aguado, I.M., et al., 2015 estudiaron el efecto de la adición de un enmendante (residuos sólidos municipales) para la fitoestabilización de la zona afectada por residuos mineros. Se evaluó el crecimiento y acumulación del metal/metaloide de un especie vegetal de pasto *Piptatherum miliaceum*. Los resultados muestran que la adición del enmendante mejora la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, pero también aumentan las fracciones móviles de Zn, Pb, Cd, Mn, Ni. El isótopo estable ^{15}N se asoció con un mejor estado nutricional, mientras que ^{13}C y ^{18}O indican una mejor eficacia estomálica. Se da una competencia intraespecífica en el crecimiento de las plantas, posiblemente ligado a la falta de nutrientes en el suelo de mina. *Piptatherum miliaceum* puede ser considerada una especie para la fitoestabilización dado que aunque acumula metales en sus hojas, está por debajo del límite de toxicidad.

González Alcaráz, M. N. & Van Gestel, C.A.M., 2017 determinaron la efectividad del enmendante y del *Phragmites australis* en suelos de humedales contaminados por metales y bajo la influencia de variaciones del nivel freático. Se concluye que no es posible establecer una estrategia de gestión única para los suelos encharcados y contaminados por metales pesados. La efectividad de las técnicas de remediación depende del metal objeto de eliminación, el tipo de suelo, agua, el régimen de niveles y la presencia/ausencia de vegetación.

Párraga Aguado, I.M, et al., 2017c evaluaron la extractabilidad del metal (Cd, Cu, Mn, Pb y Zn) en dos suelos semiáridos degradados enmendados (un suelo agrícola y un suelo de residuos mineros). Se emplea residuos urbanos orgánicos como enmendante de metales. En el caso de los suelos afectados por la actividad minera, los resultados ponen de manifiesto que los cambios generados por la mineralización de la materia orgánica puede alterar el estado de los metales, promoviendo el aumento de las fracciones unidas a carbonato que podrían ser fácilmente movilizables. Se concluye que para proporcionar un empleo seguro de este tipo de enmendante para la restauración de suelos degradados se debe de evaluar la dinámica a largo plazo de la mineralización de la materia orgánica y su relación con la geoquímica de los metales.

Álvarez Rogel, J., et al., 2018 avaluaron la efectividad del biochar, a partir de lodos de depuradora y de poda de árboles, en la inmovilización de metales en suelos ácidos y básicos de mina en condiciones de inundación variables. También se simularon cambios en el nivel de la capa freática y se utilizó *Sarcocornia fruticosa* para estudiar el efecto del biochar en su crecimiento. Los resultados muestran, que la aplicación del enmendante orgánico, sobre el suelo básico de mina, no tiene efectos sobre la disminución de metales ni la disminución de metales para ser absorbidos por la planta. La aplicación sobre el suelo ácido si obtuvo resultados efectivos; disminución de pH, así como metales en el agua de poro y se reduce la absorción de metal por la planta. Se concluye que el uso de biochar, en humedales contaminados con metales, tiene implicaciones ambientales que deben de ser planificadas para cada caso específico, optimizar los aspectos positivos (humedales como sumidero de contaminantes) y reducir los inconvenientes (humedales como fuente de contaminantes).

6.2.4- Actuaciones sobre los cauces de las Ramblas para disminuir y/o eliminar la carga contaminantes de las aguas antes de su entrada al Mar Menor.

En el Informe Integral sobre el estado ecológico del Mar Menor elaborado por el Comité de Asesoramiento Científico del Mar Menor en 2017, se propone que en las ramblas conocidas que realizan aportes de metales pesados a la laguna, se modifiquen las rocas actuales por un lecho de rocas de naturaleza calcárea ó caliza que favorezca la elevación del pH de las aguas de escorrentía y favorecer así el precipitado de los metales pesados que circulen por esas ramblas, antes de llegar al Mar Menor.

Esta medida correctora propuesta fue estudiada por Alcolea, A., et al., 2012 donde se evaluó la efectividad del tratamiento pasivo (colocación de roca caliza en el cauce de la rambla: OLC) para el tratamiento de las áreas mineras abandonadas, contrarrestando así el drenaje ácido de mina que se produce tras las lluvias en las Ramblas. Aunque se pudieron observar formación de precipitados ocreos en la superficie de las rocas del canal, no se constató la formación de eflorescencias. Además, los citados autores ponen de manifiesto que a pesar del ligero aterrazamiento que ha sufrido el canal en su parte más alta del tramo superior y en la presa de entrada al mismo, el canal sigue funcionando después de cuatro años transcurridos desde el inicio de su construcción, primeros de 2005 hasta finales de 2008. Los resultados muestran que el tratamiento con (OLC) reduce la entrada de metales pesados al Mar Menor, por la Rambla del Beal, en un orden de

magnitud. Se concluye que una solución efectiva para mitigar los efectos que se producen por el drenaje ácido de mina en las zonas semiáridas del Mediterráneo.

No obstante, Alcolea, A., et al., 2012 aconsejan labores de mantenimiento periódico (retirada de sedimentos) una o dos veces al año, aunque sostienen que este tipo de obras pueden ser de utilidad en la zona de la Sierra Minera de Cartagena-la Unión.

En el trabajo realizado bajo la dirección de D. Antonio Cabrera: Actividad 2. Revisión de técnicas y medidas correctoras realizadas para la recuperación ambiental de las instalaciones de residuos mineros. (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural. Instituto Geológico y Minero de España), se pone como ejemplo la construcción de este tipo de canal. Constituye una de las fórmulas clásicas de tratamientos pasivos de aguas ácidas, con efectos amortiguadores sobre la acidez y el contenido en elementos potencialmente tóxicos disueltos. Este tipo de tratamiento requiere un mantenimiento, al menos hasta que la conjunción de otra serie de medidas elimine totalmente la emisión de aguas ácidas y sedimentos en las áreas fuente de los mismos. El mantenimiento responde a la disminución de la eficacia con el tiempo, a causa del tapado de las superficies reactivas con sedimentos y con precipitados de hidróxidos de hierro y aluminio o de yeso.

Otras actuaciones sobre los cauces de las Ramblas son las propuestas por Marín Guirao, L., 2007 donde se pone de manifiesto, que el dragado de los sedimentos contaminados de las Ramblas parece ser necesario para acelerar la restauración del Mar Menor. Además, el autor coincide con lo anteriormente expuesto y considera el recubrimiento de los lechos de las ramblas con calizas, de manera que el agua de escorrentía sea tratada conforme fluye hacia la laguna reduciendo el impacto de las aguas en la laguna costera del Mar Menor. María Cervantes, A., 2009 considera que cualquier plan que se realice en la zona para disminuir los riesgos o para eliminar la contaminación debe afrontar el problema desde su origen, es decir, la presencia de ingentes cantidades de residuos mineros en los lechos de las Ramblas y en los pantanos de estériles mineros de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Para evitar el continuo aporte de contaminantes al Mar Menor, considera que sería necesario retirar los estériles presentes en las Ramblas y minimizar la erosión de los pantanos, por ejemplo mediante su soterramiento.

En esta misma línea se encuentran algunas de las conclusiones del Proyecto Jara (Fundación Sierra Minera), donde se proponen una serie de medidas correctoras para reducir la contaminación directa y deterioro al Mar Menor en la que se propone la limpieza y adecuación de las ramblas que vierten al Mar Menor, procedentes de la Sierra Minera. En el proyecto se pone de manifiesto que es necesario la construcción de sedimentadoras en las diferentes ramblas para así evitar el aporte al Mar Menor de sedimentos con altas concentraciones en metales. Esta medida correctora se articula mediante empleando gaviones que sean permeables y retengan el sedimento (ej: los de las Ramblas de la Bahía de Portmán y las actuaciones iniciadas en la rambla de Las Matildes entre la Fundación Sierra Minera y la Confederación Hidrográfica del Segura). Estos gaviones facilitan el desarrollo de la vegetación en el lecho del cauce de las ramblas. Además se recomienda construirlos de forma que esté garantizado su mantenimiento necesario de forma que se pueden retirar de los cauces de las Ramblas las acumulaciones de residuos que se general las tras el paso de las aguas superficiales en los periodos de precipitación. Además se indica la idoneidad de proceder a la restauración y revegetación de sus riberas con las especies características de las ramblas; con esta medida se evitaría al aporte directo de sedimentos y metales pesados al Mar Menor.

El Estudio de Impacto Ambiental, 2018 (Análisis de soluciones para el objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena), se recomiendan medidas sobre los cauces de las ramblas muy similares a las comentadas con anterioridad como son como las obras de corrección hidrológica para la retención de sólidos, complementando a las ya existentes en alguno de los cauces (se han inventariado un total de 10 diques de mampostería hidráulica: 4 en la rambla de las Matildes, 4 en la del Beal y 2 en el barranco del Ponce y 2 de mampostería gavionada en la rambla de la Carrasquilla, que han impedido el transporte de todo este material contaminado por la red de drenaje). Se propone la construcción de diques de retención y plazoletas de sedimentación en las ramblas con mayor actividad de transporte de sedimentos: rambla del Beal, rambla de la Carrasquilla y barranco de Ponce, realizando además su vaciado con carácter periódico y tras los eventos torrenciales de especial intensidad. Se recomienda un estudio topográfico de detalle de la red de drenaje y de los procesos de arranque y sedimentación de materiales. De forma análoga a las propuestas realizadas por la

Fundación Sierra Minera, se recomienda la restauración con vegetación de ribera del entorno de las nuevas obras de retención de sedimentos.

6.2.5- Restauración hidrológica forestal de las cuencas mineras y recuperación de suelos para reducir las aportaciones sólidas al Mar Menor.

Además de la intervención comentada anteriormente en las ramblas, sería necesario otro tipo de actuaciones sobre los suelos afectados por la minería de forma que se ejecuten medidas correctoras en el origen de los sedimentos contaminantes que son arrastrados por las ramblas. Así queda reflejado en el Estudio de Impacto Ambiental 2018 (Análisis de soluciones para el objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena) donde pone de manifiesto que es necesario un plan de reforestación y recuperación de los suelos con mayores concentraciones de residuos mineros. Consideran las zonas completamente desprovistas de vegetación y altamente inestables, por los movimientos de tierras realizados a lo largo de décadas de actividad, como la principal fuente de sedimentos y de contaminantes en forma de metales pesados que llegan al Mar Menor. Para llevar a cabo esta medida correctora, los autores proponen la inertización y posterior repoblación en zonas incultas afectadas por la actividad minera. Estas actuaciones proponen tanto actuaciones en el ámbito de la restauración hidrológico-forestal como la restauración ambiental de zonas mineras y de suelos contaminados. Para este trabajo se aborda, una primera fase, con la creación de tecnosuelos para llevar a cabo la inertización de los suelos contaminados. De forma integrada a la inertización, se recomienda llevar a cabo la estabilización de las escombreras y taludes mediante técnicas de estabilización de taludes y laderas: recuperación de bermas, construcción de bancales, fajinadas, muretes de contención, incluida la construcción de pequeñas obras transversales (albarradas) en las vaguadas. Y como última fase se recomienda las repoblaciones y revegetación de taludes. En este trabajo se estima que la zona inculta contaminada ocupa una superficie aproximada de 550 ha.

La Fundación Sierra Minera coincide en actuar sobre la fuente contaminante y para ello propone una metodología de restauración consistiría en crear las condiciones idóneas para que se desarrolle la vegetación. Comprendería las siguientes fases:

1. Creación de las condiciones geomorfológicas (pendientes del terreno) adecuadas para evitar o reducir los procesos erosivos.

2. Construcción en la cabecera de las balsas de un sistema de colectores para recoger la escorrentía superficial y encauzarla a las zonas de los cauces de las ramblas para evitar la acción sobre los residuos mineros.

3. Creación del sustrato donde pueda desarrollarse la vegetación, que podría ajustarse al siguiente esquema:

- ✓ Creación de un sustrato de origen mineral estratificado en:
 - Sustrato con propiedades confinantes de los residuos.
 - Sustrato con propiedades aptas para la restauración vegetal.
- ✓ Adición de enmienda orgánica.

Gómez Ros, J.M., et al., 2013, estudiaron la movilidad del metal en las zonas mineras, donde se llevó a cabo la primera restauración ecológica, en el Distrito Minero de Cartagena-La Unión en 1982, mediante el sellado de los residuos mineros con una capa de tierra de 0,5 m que favorecía el crecimiento natural de la vegetación. Los resultados muestran que 30 años después el sellado no impidió el ascenso de los metales pesados a la superficie del suelo y que se han alcanzado niveles superiores a los permitidos en la legislación. Además, se han encontrado altas concentraciones de metales en las plantas silvestres de la zona como *Dittrichia viscosa*, *Tetraclinis articulata*, *Thymelaea hirsuta*, *Teucrium capitatum*, *Hyparrhenia hirta*. Los autores opinan, que las acciones de recuperación que se están realizando en la Sierra Minera, en los últimos años, están utilizando enmiendas y / o fitostabilización, que son una técnicas suaves para aplicar en suelo no muy contaminados y que no parecen ser apropiadas para estos suelos mineros. En su opinión, este tipo de acciones deben realizarse después de un sellado efectivo de los residuos mineros que aseguran una inmovilización de metales pesados y por lo tanto la no contaminación de la superficie del suelo.

6.2.6- Técnicas aplicadas en el estudio de la problemática ambiental de la Sierra Minera y su zona de influencia el Mar Menor.

Otras técnicas que han empleado los investigadores para estudiar la contaminación de la Sierra Minera, que se clasifican en tres tipos de métodos: químicos, biológicos y físicos, han sido comentados anteriormente, por lo que a continuación sólo

se muestran a modo de ejemplos para resaltar la idoneidad de su uso a través de los resultados y /o conclusiones obtenidas.

5.2.6.1.- Métodos químicos.

➤ *Aplicaciones de extracciones selectivas.*

Son numerosas las investigaciones que emplean el método de las extracciones selectivas para determinar la biodisponibilidad de los contaminantes en suelos y sedimentos. Se emplean para conocer la distribución de las distintas formas en que puede presentarse un elemento en el suelo o sedimento, esto es la especiación del mismo, mediante la simulación de diferentes condiciones ambientales que pueden darse en la zona de estudio. La mayoría de autores coinciden en que es una técnica adecuada a la hora de establecer los límites en las concentraciones de elementos traza en suelos y sedimentos ya que el hacerlo en base a las concentraciones totales de los mismos supone considerar que todas las formas en las que se encuentra el elemento en suelo son igualmente tóxicas y producen el mismo impacto sobre el medio ambiente, lo cual no es cierto. Por tanto, sería más correcto, establecer el límite máximo de un elemento permitido en un suelo en función de la fracción biodisponible o lixiviable que en función de la concentración total, siempre teniendo en cuenta las características del suelo y las condiciones del medio. Así lo concluyen los resultados obtenidos en la bibliografía analizada, donde se han aplicado diferentes extracciones selectivas para estudiar la movilidad de los metales pesados y elementos traza, así como determinar la fracción mineralógica a la que se encuentra ligado el elemento potencialmente tóxico: Marguá, E., et al., 2004, BRC; García García, C., 2004, extracciones en agua Milli-Q (norma alemana DIN38414 S4); Navarro Hervás, M.C., 2004, Sánchez i Bassols, M., 2008, extracciones secuenciales y simples (agua, medio ácido, complejante, reductor, oxidante); García Lorenzo, M.L., 2009, extraíbles con DTPA, en agua, en medio ácido, en medio complejante reductor, en medio oxidante; Martínez López, S., 2010, movilidad del As en agua de lluvia, movilidad por aguas ácidas, movilidad para las plantas (DTPA, acetato amónico, bicarbonato, sulfato amónico, movilidad potencial del Arsénico (HCl, medio oxidante, medio complejante-reductor); González Fernández, O., 2011, Agua, HNO₃, Citronita y ditionita; Kabas, S., 2013, DTPA, Agua, EDTA; González Ciudad, E., 2014,

extraíbles en el tracto gastrointestinal; Marimón Santos, J., 2015, DTPA, ácido, complejante-reductor, extraíbles en el tracto gastrointestinal, extracciones secuenciales BRC; Párraga Aguado, I.M., 2015, CaCl₂-extractable, Hernández Córdoba, C., 2017, DTPA, Oxalato, Medio bicarbonato; Gabarrón Sánchez, M., 2017, DTPA, EDTA. Otros trabajos donde se aplican extracciones simples: Martínez Sánchez, M.J., et al., 2008; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2011; Pérez Sirvent, C., et al., 2011; García Lorenzo, M.L., et al., 2014; Soriano Disla, J.M., et al., 2018; Pérez Sirvent, C., 2018. Otros trabajos donde se aplican extracciones secuenciales: Conesa, H.M., et al., 2008.

➤ ***Aplicaciones de extraíbles en el tracto gastrointestinal.***

Son ensayos *in vitro* que se realizan mediante extracciones químicas que simulan las condiciones gastrointestinales del estómago en humanos y con las que se determina la fracción bioaccesible (Juhász, 2003a). Estos estudios han demostrado que la exposición directa al suelo, incluyendo la ingestión de suelo, la absorción cutánea y exposición por inhalación, es una vía importante de ingesta de elementos traza potencialmente peligrosos para el ser humano y en particular para los niños, por lo que resulta de una gran importancia la aplicación de estos de métodos *in vitro*, comparables a los *in vivo*, más rápidos y baratos, para el cálculo de la bioaccesibilidad. Según la bibliografía analizada esta técnica ha sido ampliamente empleada por los investigadores del grupo de contaminación de suelos de la Universidad de Murcia (Navarro Hervás, M.C., 2004; Navarro, M.C., et al., 2006; García Lorenzo, M.L., 2009; Martínez López, S., 2010, 2015; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2013; Marimón Santos, J., 2015; Martínez López, S., et al., 2014; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2017a, 2017b). Los métodos *in vitro* también han sido empleados por varios autores con el propósito de determinar la biodisponibilidad de los elementos en el suelo tras el empleo de técnicas de inmovilización de elementos en la recuperación de suelos contaminados (González Ciudad, E., 2014; 2015; Martínez Sánchez, M.J., et al., 2015)

La determinación de los metales extraíbles, junto con otra serie de parámetros, constituyen la base para el análisis de riesgos. Es un proceso de identificación, medida y comparación de diversos parámetros, mediante el cual se identifican y evalúan los riesgos potenciales y reales que la presencia de un suelo contaminado puede suponer para el

hombre, contemplando los escenarios posibles para el uso actual y futuro. Se contemplan 4 etapas: (1) Identificación de peligros; (2) Análisis de la toxicidad de los contaminantes; (3) Análisis de la exposición, y (4) Caracterización del riesgo.

6.2.6.2.- Ensayos biológicos.

Varios investigadores consideran la evaluación de la concentración de un contaminante no es suficiente en la determinación de los efectos tóxicos o en la caracterización de emplazamiento contaminados. Consideran se debe emplear otros métodos, como los biológicos, que sean complementarios a los químicos, para estimar el riesgo de los contaminantes. Los bioensayos de ecotoxicidad miden la biodisponibilidad de los contaminantes. Esta metodología ha sido utilizada por varios investigadores en la evaluación de los elementos potencialmente tóxicos de la Sierra Minera y del Mar Menor, concluyendo que la utilización de estos bioensayos es adecuada para evaluar la toxicidad dado que muestran buena correlación con otros métodos para determinar la toxicidad aguda.

Cesar, A., 2003, evaluó la toxicidad de los sedimentos de la Bahía de Portmán a través de dos grupos de invertebrados Marinos. Los resultados de los análisis de los sedimentos de la Bahía presentan un gradiente de concentración de metales pesados (Fe, As, Zn, Al, Pb). Los resultados de los test de toxicidad realizados con larvas de erizos (*Arbacia lixula* y *Paracentrotus livids*) y con anfípodos (*Gammarus aequicauda* y *Microdeutopus grillotalpa*) en la bahía de Portmán.

Marín Guirao, L., et al., 2005a, estudió la biodisponibilidad de los metales pesados de los sedimentos del Mar Menor, procedentes, de la actividad minera desarrollada en las montañas situadas en su orilla sur. Para la determinación se realizan bioensayos de toxicidad, empleando tres especies de erizos Marinos y dos especies de anfípodos, y por medio de medidas de bioacumulación en la fanerógama Marína *Cymodocea nodosa*. Los resultados muestran que los metales pesados se encuentran en los sedimentos, en concentraciones importantes, y los encontrados en los tejidos de fanerógamas marinas ponen de manifiesto la biodisponibilidad de los mismos

Marín Guirao, L., 2007, determinó la biodisponibilidad de los metales en los sedimentos del Mar Menor empleando bioensayos de toxicidad. Para ello seleccionó tres

especies de erizos Marínos (*Arbacia Lixula*, *Paracentrotus lividus* y *Sphaerechinus granularis*) y dos especies de anfípodos (*Microdeutopus grillotalpa* y *Siphonocetes sabatien*) y por medio de medidas de bioacumulación en la farenógama marína *Cymodocea nosdosa* recolectada en la laguna.

Maria Cervantes, A., 2009, determinó el contenido de elementos tóxicos en dos especies de moluscos Marínos recogidos en las zonas adyacentes a la laguna del Mar Menor, y que la gente captura para su consumo: el gasterópodo carnívoro *Hexaplex trunculus* (comúnmente llamado “caracola” o “corneta”) y un bivalvo filtrador, la almeja *Tapes decussatus*.

García Lorenzo, M.L., 2009, aplicó bioensayos para evaluar la toxicidad de la Sierra Minera y su área de influencia. Empleó tres bioensayos:

- Microtox. Utiliza la bacteria Marína *Vibrio fischeri* (se basa en determinar los cambios en la emisión de la luz natural de la bacteria luminiscente).
- Phytotoxkit. Utiliza tres especies de plantas; monocotiledónea: *Sorghum saccharratem* (Sorgo), y dicotiledóneas: *Lepidium sativum* (Mastuerzo) y *Sinopsis alba* (Mostaza blanca).
- Ostracodtoxkit. Empleó huevos del crustáceo bentónico *Heterocypris incongruens*.

Con la batería de test aplicada se pudo realizar una clasificación de los puntos en función de su toxicidad creciente, que coincide con las realizadas en la caracterización química y mineralógica en los materiales y aguas de la zona de estudio.

García Lorenzo, M.L., et al., 2009, estudió la aplicabilidad de tres bioensayos que representan varios niveles tróficos. Se realiza un screening ecotoxicológico en los sedimentos contaminados por las actividades mineras. Los resultados muestran, que los bioensayos utilizados, el test de ostrácodos fue el más sensible. *Vibrio fischeri* luminiscente fue menos sensible a los tóxicos de los sedimentos que los ensayos de fitotoxicidad. Al aumentar la concentración de metal movilizable en los sedimentos se observa un incremento de toxicidad en los bioensayos realizados. Se concluye, que la batería de prueba se puede utilizar como una herramienta rápida y sensible para evaluar la contaminación de metales pesados en sedimentos.

Pérez Sirvent, C., et al., 2010, aplicaron de varios bioensayos para determinar la toxicidad de los sedimentos recogidos en la Bahía de Portman contaminados por actividades mineras. Se realizaron tests de toxicidad en elutriado (*Vibrio fischeri*),

mientras que en el sedimento (especies de plantas *Sorghum saccharatum*, *Lepidium sativum* y *Sinapis alba* y de crustáceos *Heterocypris incongruens*). Los resultados muestran que todas las muestras de lixiviados no fueron tóxicas para el bioensayo de *Vibrio fischeri*. Sin embargo, los sedimentos fueron tóxicos para las plantas y ostrácodos. Los resultados del análisis de correlación mostraron que la toxicidad fue positiva con el contenido total de Pb y Zn, y con As soluble

Pérez Sirvent, C., et al., 2010, estudiaron la aplicación de los lodos de mármol a los suelos contaminados por metales pesados de las actividades mineras, como una posible forma de remediación. Se analizaron dos muestras de sedimentos de la Bahía de Portman y 2 muestras de una zona altamente industrializada como el Valle de Escombreras. Los sedimentos contaminados fueron mezclados con los lodos de corte de mármol. Los resultados muestran que la adición de lodos disminuye la disponibilidad de los metales estudiados (Pb, Zn y Cd), se debe principalmente a su contenido en carbonatos. Las soluciones de lixiviados sometidas al bioensayo de Microtox resultaron efecto no tóxico. Se concluye que el contenido en carbonatos juega un papel importante en la química de estabilización de metales y disminuye la toxicidad de este tipo de sedimentos

García Lorenzo, M.L., et al., 2014, evaluó la efectividad del bioensayo en plantas (Phytotoxkit®) para determinar los riesgos ecotoxicológicos que presentan los suelos afectados por actividades mineras abandonadas. Estos sedimentos fueron mezclados con filler calizo en diferentes proporciones: 10, 20 y 30%. Los resultados obtenidos para el análisis de la concentración total, soluble y aplicación de bioensayo, concluyen la baja concentración de metal, similar a cuando ocurre un proceso de atenuación natural de la contaminación debido a la mezcla de materiales ricos en carbonatos de los suelos circundantes. El bioensayo dio baja toxicidad en las muestras analizadas. El ensayo de toxicidad es una herramienta adecuada para el screening de suelos contaminados por actividades minera y la mezcla de sedimentos con relleno de piedra caliza podría aplicarse a la remediación de estos suelos contaminados

Martínez Sánchez, M.J., 2014a, 2014b, ponen de manifiesto que los resultados de aplicar el bioensayo Microtox®, indican bajos niveles de toxicidad en las muestras estabilizadas con filler calizo.

Marimón Santos, J., 2015, empleó el método Microtox, y pone de manifiesto, que los residuos ricos en carbonato cálcico son viables para producir compuestos estables con los metales y reducir el riesgo para el ecosistema biótico.

Benhamed, S., et al., 2016, 2007 estudiaron la incidencia de los metales en muestras de dorada (*Sparus aurata*).

6.2.6.3.- Estudios físicos.

La bibliografía evaluada muestra la idoneidad que aconsejan algunos investigadores en el empleo de métodos físicos para estudiar la contaminación por metales pesados y elementos traza en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión y su área de influencia el Mar Menor.

➤ *Análisis de Isótopos estables.*

La caracterización de la distribución de isótopos estables de determinados elementos dentro de los compuestos químicos, es una técnica utilizada por algunos investigadores para entender los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, Marín Guirao, L., 2007, realizó análisis de isótopos estables (C y N) para estudiar los poblamientos de invertebrados y peces del Mar Menor. Pedro José Tovar Frutos, P.J., 2008, empleó métodos isotópicos para la caracterización de aguas y vertidos que permiten diferenciar la procedencia de cada analito y la influencia de los distintos sectores y materiales en la composición del agua mediante la comparación de las distintas relaciones isotópicas. Se establece un diagnóstico acerca de la procedencia de aguas superficiales del sistema Campo de Cartagena-Mar Menor en función de la caracterización físico-química e isotópica de las estaciones de muestreo. Se identifica la entrada de aguas a través de las Ramblas, procedente principalmente de lixiviación minera, precipitaciones y canales de drenaje agrícola. García Lorenzo, M.L., et al., 2014a, evaluaron los procesos que afectan a las aguas de la Bahía de Portman mediante el análisis de isótopos estables, concretamente H y O, así como S y O de la disolución de los sulfatos. También se analizan las aguas de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Los resultados isotópicos sugieren que los sulfatos procedentes de la Sierra Minera y de la Bahía de Portman tiene un origen similar, principalmente derivados de la oxidación del sulfuro y el transporte de

los sulfatos hidratados. Párraga Aguado, I.M., et al., 2015, evaluó los isótopos estables para estudiar el efecto de un enmendante (residuos sólidos municipales) para la fitoestabilización. Los resultados muestran que el isótopo estable ^{15}N se asoció con un mejor estado nutricional, mientras que ^{13}C y ^{18}O indican una mejor eficacia estomálica.

Otras técnicas como son la Difracción de Rayos X (DRX) y la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), son utilizadas con frecuencia por los investigadores para así tener un conocimiento más profundo de las formas a las que están ligadas los elementos.

➤ ***Microscopia electrónica de barrido (SEM).***

Algunos ejemplos en cuanto a la aplicación de SEM, son: Cesar, A., 2003, una de las conclusiones obtenidas en su investigación, es la adecuación de la microscopia electrónica de barrido para la evaluación de la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de larvas de erizos. Martínez López, S., 2015, emplea técnicas complementarias como es la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para observar el transporte activo que se produce en el xilema de la raíz de *Dittrichia viscosa*. Moreno Barriga, E., et al., 2017a, con los resultados obtenidos, de la utilización de SEM/EDX, se concluye que biochar muestra una gran afinidad por los óxidos de hierro, sulfatos de calcio y filosilicatos y puede retener metales.

➤ ***Fluorescencia de Rayos X.***

Algunos ejemplos en cuanto a la aplicación de Rayos X, son: Cesar, A 2003, refleja que una de las conclusiones obtenidas es la adecuación de la microscopia electrónica de barrido para la evaluación de la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de larvas de erizos. González Fernández, O., et al., 2007, concluyen que la técnica de fluorescencia de Rayos X es válida y rápida para el análisis de residuos de las balsas mineras de la zona estudiada de Cartagena-La Unión. González Fernández, O., et al., 2008 evaluaron el contenido en Cr, Cu, As, Zn y Pb de un sondeo de sedimentos de la Rambla del Beal usando la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos X. Oscar González Fernández, O., 2011, entre las conclusiones destaca la idoneidad de las técnicas no invasoras de fluorescencia de Rayos X es el estudio de metales de espacios mineros. Navarro, M.C., et al., 2012 concluye que los resultados de difracción de rayos X sugirieron que las muestras del Cabezo Rajao analizadas tienen una mineralogía

compleja, incluyendo productos de alteración. Los materiales superficiales en el área de estudio se vieron afectados por los procesos de meteorización, generando ensamblajes supergénicos, incluyendo óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, carbonatos, hidratados, sulfatos y jarosita. Hernández Pérez, C., 2017, pone de manifiesto que el empleo de microscopia electrónica de barrido es muy útil para estudiar la situación e interacciones de los EPTs en la planta. Pérez Sirvent, C., et al., 2018 realizaron la difracción de rayos X para la caracterización de las muestras y la de los residuos que quedan después de cada extracción química.

➤ **Otras técnicas.**

Gómez García, C., et al., 2015, evaluó la susceptibilidad magnética, histéresis, adquisición de IRM, SIRM-IRM y espectros de coercitividad de campo posterior, curvas termomagnéticas y diagrama de FORC y tomaron micropicturas SEM. Los datos se correlacionan con las estimaciones de contenido clásico de magnetita derivadas de difracción de rayos X (DRX) en tres granos separados (grano grueso, medio y fino).

Las técnicas como la tomografía de resistividad eléctrica (ERT) que ha permitido determinar tanto la geometría general de la base del estanque como el espesor de los residuos mineros (Martín Crespo, T., et al., 2018). El método de imágenes de resistividad (ERI) ayudó a identificar los procesos de erosión, el espesor de los residuos de los materiales y su contacto con las capas mineras. Según el método ERI, las tres balsas mineras estudiadas, (Las Lajas, La Encontrada y El Beal) experimentaron erosión por la acción del agua (Acosta, J.A., et al., 2014). La aplicación del método imágenes de resistividad (ERI) en Brunita muestra alguna región de resistividad eléctrica más baja, lo que se describe como una ocurrencia de fallas debido a rupturas sufridas en las balsas (Martínez Pagán, P., et al., 2009).

7. CONSIDERACIONES FINALES.

El número de proyectos de investigación y publicaciones en relación con la Sierra Minera y su área de influencia, Campo de Cartagena – Mar Menor, así como en su vertiente mediterránea, son muy numerosos. En la revisión llevada a cabo, a partir de los más de doscientos trabajos analizados, se pone de manifiesto que los temas más abordados son la problemática de las altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos presentes en los residuos de estériles mineros, el uso de plantas y búsqueda de enmendantes para proyectos de fitoestabilización, la contaminación del Mar Menor debido a la entrada de estériles mineros a través de la ramblas que tributan en él, así como aplicación de metodologías para abordar la problemática.

Es de destacar el gran número de investigaciones realizadas, y escasa coordinación entre los diferentes grupos de investigación, sin que hayan prevalecido unos objetivos comunes.

Existe un alto conocimiento de las características generales de los materiales, de su contenido en elementos traza, así como de su movilización, e incluso de su posible transferencia al medio ambiente, es decir se conocen los focos, las vías de transferencia y los receptores, incluso el modelo conceptual de la contaminación del sistema Sierra Minera-campo de Cartagena-Mar Menor. Así mismo, se han propuesto gran cantidad de enmendantes y técnicas para la recuperación ambiental, y también se han realizado proyectos piloto que demuestran la eficacia de tecnologías de descontaminación para diferentes usos del suelo, transferibles a diferentes situaciones de contaminación que pueden darse en estos entornos similares.

A pesar de todo ello, existen lagunas en la información disponible para poder llevar a cabo la toma de decisiones, especialmente en lo siguiente:

- Integración de la mayor parte de los datos existentes georreferenciados, metadatos, en un SIG lo más completo posible.
- Definición de indicadores, y aplicación a los datos existentes
- Realización de análisis de riesgos a priori, a una escala que permita una zonificación para la gestión.
- Zonificación a diferentes escalas.

- Toma de decisiones en función de un nuevo paradigma de gestión de la contaminación centrada en el análisis de riesgos según los usos del suelo.
- Realización de proyectos de recuperación/rehabilitación/descontaminación a escala local, siguiendo los órdenes de prioridad establecidos en función del riesgo y los usos del suelo.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- Acosta, J.A., Faz, A., Martínez-Martínez, S., Zornoza, R., Carmona, D.M., Kabas, S., 2011. Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behavior in mine sites for future reclamation. *Journal of Geochemical Exploration* 109(1-3), 8-17.
- Acosta, J.A., Zornoza, R., Faz Cano, A., Carmona, D.M., Martínez-Martínez, S., 2011. Integration of Landscape Reclamation and Design in a Mine Tailing in Cartagena-La Unión, SE Spain. *INTERNATIONAL JOURNAL of ENERGY and ENVIRONMENT*. Issue 2, Volume 5, 2011.
- Acosta, J.A., Martínez-Pagán, P., Martínez-Martínez, S., Faz, A., Zornoza, R., Carmona, D.M., 2014. Assessment of environmental risk of reclaimed mining ponds using geophysics and geochemical techniques. *Journal of Geochemical Exploration* 147, 80-90.
- Acosta, J.A., Abbaspour, A., Martínez, G.R., Martínez-Martínez, S., Zornoza, R., Gabarrón, M., Faz, A., 2018. Phytoremediation of mine tailings with *Atriplex halimus* and organic/inorganic amendments: A five-year field case study. *Chemosphere* 204, 71-78.
- Agudo Juan, I., 2015. Transferencia de elementos traza potencialmente tóxicos en cultivos desarrollados en suelos con influencia minera. Tesis Doctoral.
- Al, T.A., Martin, C.J. y Blowes, D.A. 2000. Carbonate-mineral/water interactions in sulfide-rich mine tailings. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 64 (23), 3933-3948.
- Alcolea, A., Vázquez, M., Caparrós, A., Ibarra, I., García, C., Linares, R., Rodríguez, R., 2012. Heavy metal removal of intermittent acid mine drainage with an open limestone channel. *Minerals Engineering* 26, 86-98.
- Alcolea, A., Fernández-López, C., Vázquez, M., Caparrós, A., Ibarra, I., García, C., Zarroca, M., Rodríguez, R., 2015. An assessment of the influence of sulfidic mine wastes on rainwater quality in a semiarid climate (SE Spain). *Atmospheric Environment* 107, 85-94.

- Alcolea Rubio, L. A., 2015. Geoavailability of Ni, Cu, Zn, As, Cd, and Pb in the Sierra de Cartagena- La Unión (SE Sapin). Tesis Doctoral.
- Álvarez-Rogel J., Jiménez Cárceles, F.J., Egea Nicolás, C., María-Cervantes, A., González Alcaráz, M.N., Párraga Aguado, I. M., Conesa, H.M. 2009. Papel de los humedales costeros del Mar Menor en la depuración de aguas eutrofizadas: el caso de la Marina del Carmolí. Instituto Euromediterráneo del Agua. El Mar menor. Estado actual del conocimiento científico. ISBN: 978-84-936326-8-7.
- Álvarez-Rogel J., González Alcaráz, M.N., Conesa Alcaráz, H.M., Tercero Gómez, M.C., Párraga Aguado, I.M., María-Cervantes, A., Jiménez Cárceles, F.J., 2016. Eutrofización y contaminación por residuos mineros en humedales del Mar Menor comprendiendo los procesos biogeoquímicos para plantear posibles actuaciones de manejo. Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Economía y Competitividad. ISBN 978-84-95877-55-0.
- Álvarez-Rogel, J., Tercero Gómez, M.D.C., Conesa, H.M., Párraga-Aguado, I.M., González-Alcaráz, M.N., 2018. Biochar from sewage sludge and pruning trees reduced porewater Cd, Pb and Zn concentrations in acidic, but not basic, mine soils under hydric conditions. *J Environ Manage* 223, 554-565.
- Arco Lázaro, E., Martínez Fernández, D., Bernal, M.P., Clemente, R., 2015 Response of *Piptatherum miliaceum* to co-culture with a legume species for the phytostabilisation of trace elements contaminated soils. *J Soils Sediments*. DOI 10.1007/s11368-015-1261-9.
- Arco-Lázaro, E., Agudo, I., Clemente, R., Bernal, M.P., 2016. Arsenic (V) adsorption-desorption in agricultural and mine soils: Effects of organic matter addition and phosphate competition. *Environ Pollut* 216, 71-79.
- Arco Lázaro, E., 2017. Implicación de Enmiendas Orgánicas e Inorgánicas en la Adsorción y Biodisponibilidad de Elementos Traza en Suelos. Tesis Doctoral.
- Auernheimer, C., Chincon, S., Pina, J.A., 1996. Lead pollution in bivalve shells: Mar Menor, Spain. doi.org/10.5169/seals-74041.
- Baños González, I & Baños Paez, P., 2013. Portmán: de el Portus Magnus del Mediterráneo occidental a la Bahía aterrada. Editum. ISBN.: 978-84-16038-02-2.
- Barmentlo, S.H., van Gestel, C.A.M., Alvarez-Rogel, J., González-Alcaráz, M.N., 2017. Influence of climate change on the multi-generation toxicity to *Enchytraeus*

- crypticus of soils polluted by metal/metalloid mining wastes. *Environ Pollut* 222, 101-108.
- Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A., Moreno Brotóns, J., 2010. Environmental pollution by sterile miners in a tourist area under development: sierra minera de Cartagena-La Union (southeast of Spain). *Cuadernos de Turismo*, nº 25, (2010); pp. 11-24 Universidad de Murcia ISSN: 1139-7861.
- Benedicto Albadalejo, J., Marín-Guirao, L., Guerrero Pérez, J., 2009. Contaminación por metales y compuestos organoesnnicos en el Mar Menor. Instituto Euromediterráneo del Agua. El Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico. ISBN:978-84936326-8-7.
- Benhamed, S., Guardiola, F.A., Martínez, S., Martínez-Sánchez, M.J., Perez-Sirvent, C., Mars, M., Esteban, M.A., 2016. Exposure of the gilthead seabream (*Sparus aurata*) to sediments contaminated with heavy metals down-regulates the gene expression of stress biomarkers. *Toxicol Rep* 3, 364-372.
- BenHamed, S., Guardiola, F., Cuesta, A., Martínez, S., Martínez-Sánchez, M.J., Perez-Sirvent, C., Esteban, M.A., 2017. Head kidney, liver and skin histopathology and gene expression in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) exposed to highly polluted Maríne sediments from Portman Bay (Spain). *Chemosphere* 174, 563-571.
- Bernal, M.P., De la Fuente, C., Albuquerque, J.A., Martínez-Alcalá, I., Pardo, T., Clemente, R., 2009. Opciones de recuperación de suelos del entorno del Mar Menor afectados pro la actividad minera. Instituto Euromediterráneo del Agua.El Mar menor. Estado actual del conoimiento científico. ISBN: 978-84-936326-8-7.
- Bes, C.M., Pardo, T., Bernal, M.P., Clemente, R., 2014. Assessment of the environmental risks associated with two mine tailing soils from the La Unión-Cartagena (Spain) mining district. *Journal of Geochemical Exploration* 147, 98-106.
- Brotóns, J.M., Díaz, A.R., Sarría, F.A., Serrato, F.B., 2010. Wind erosion on mining waste in southeast Spain. *Land Degradation & Development* 21(2), 196-209.
- Campos-Herrera, R., Rodriguez Martin, J.A., Escuer, M., García-González, M.T., Duncan, L.W., Gutierrez, C., 2016. Entomopathogenic nematode food webs in an ancient, mining pollution gradient in Spain. *Sci Total Environ* 572, 312-323.

- Caparrós Ríos, A.V., 2017. Rheology of Pb-Zn part-flotations wastes in the Sierra de Cartagena-La Unión (SE Spain). Tesis Doctoral.
- Cárceles Jiménez, F.J., 2006. Papel de los suelos de los humedales del entorno del Mar Menor en la reducción de impactos ambientales causados por aguas eutrofizadas y residuos mineros caso de la Marína del Carmolí. Tesis doctoral.
- Carmona Garcés, D., 2012. Recuperación de suelos acidificados y contaminados por minería metálica. Ensayos en columnas. Tomo I. Tesis Doctoral.
- Carrasco, L., Gattinger, A., Fließbach, A., Roldán, A., Schloter, M., Caravaca, F., 2010. Estimation by PLFA of Microbial Community Structure Associated with the Rhizosphere of *Lygeum spartum* and *Piptatherum miliaceum* Growing in Semiarid Mine Tailings. *Microb Ecol* (2010) 60:265–271.
- Carrasco, L., Caravaca, F., Azcón, R., Roldán, A., 2011. Soil acidity determines the effectiveness of an organic amendment and a native bacterium for increasing soil stabilisation in semiarid mine tailings. *Chemosphere* 74 (2009) 239–244.
- Cervantes, A.M., 2009. Aproximación a los riesgos derivados de la presencia de residuos mineros en saladares del entorno del mar menor: dinámica de metales pesados y arsénico y su acumulación en plantas y moluscos. Tesis Doctoral.
- Cesar, A., 2003. Análisis ecotoxicológico integrado de la contaminación Marína en los sedimentos de la costa de Murcia el caso de Portmán, Sudeste -España. Tesis Doctoral.
- Cesar, A., Marín, A., Marín-Guirao, L., Vita, R., Lloret, J., Del Valls, T.A., 2009. Integrative ecotoxicological assessment of sediment in Portman Bay (southeast Spain). *Ecotoxicol Environ Saf* 72(7), 1832-1841.
- Chapman, B.M., Jones, D.R. y Jung, R.F. 1983. Processes controlling metal ion attenuation in acid mine drainage streams. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 47, 1957-1973.
- Clemente, R., Walker, D.J., Pardo, T., Martínez-Fernández, D., Bernal, M.P., 2012. The use of a halophytic plant species and organic amendments for the remediation of a trace elements-contaminated soil under semi-arid conditions. *J Hazard Mater* 223-224, 63-71.

- Conesa Alcaráz, H.M., 2005 Restauración estabilización de suelos contaminados por metales pesados como consecuencia de actividades mineras en la zona de Cartagena y La Unión. Tesis doctoral. Tesis doctoral.
- Conesa, H.M., Faz, A., Arnaldos, R., 2006. Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena-La Union mining district (SE Spain). *Sci Total Environ* 366(1), 1-11.
- Conesa, H.M., Faz, A., Arnaldos, R., 2007. Initial studies for the phytostabilization of a mine tailing from the Cartagena-La Union Mining District (SE Spain). *Chemosphere* 66(1), 38-44.
- Conesa, H.M., García, G., Faz, A., Arnaldos, R., 2007. Dynamics of metal tolerant plant communities' development in mine tailings from the Cartagena-La Union Mining District (SE Spain) and their interest for further revegetation purposes. *Chemosphere* 68(6), 1180-1185.
- Conesa, H.M., Jimenez-Carceles, F.J., 2007. The Mar Menor lagoon (SE Spain): A singular natural ecosystem threatened by human activities. *Mar Pollut Bull* 54(7), 839-849.
- Conesa, H.M., Robinson, B.H., Schulin, R., Nowack, B., 2007. Growth of *Lygeum spartum* in acid mine tailings: response of plants developed from seedlings, rhizomes and at field conditions. *Environ Pollut* 145(3), 700-707.
- Conesa, H.M., Robinson, B.H., Schulin, R., Nowack, B., 2008. Metal extractability in acidic and neutral mine tailings from the Cartagena-La Unión Mining District (SE Spain). *Applied Geochemistry* 23(5), 1232-1240.
- Conesa, H.M., Moradi, A.B., Robinson, B.H., Jiménez-Cárceles, F.J., Schulin, R., 2009. Effects of Increasing Dosages of Acid Mining Wastes in Metal Uptake by *Lygeum spartum* and Soil Metal Extractability. *Water, Air, and Soil Pollution* 202(1-4), 379-383.
- Conesa, H.M., Moradi, A.B., Robinson, B.H., Kühne, G., Lehmann, E., Schulin, R., 2009. Response of native grasses and *Cicer arietinum* to soil polluted with mining wastes: Implications for the management of land adjacent to mine sites. *Environmental and Experimental Botany* 65(2-3), 198-204.

- Conesa, H.M., Pérez-Chacón, J.A., Arnaldos, R., Moreno-Caselles, J., Faz-Cano, Á., 2009. In Situ Heavy Metal Accumulation in Lettuce Growing Near a Former Mining Waste Disposal Area: Implications for Agricultural Management. *Water, Air, and Soil Pollution* 208(1-4), 377-383.
- Conesa, H.M., Schulin, R., 2010. The Cartagena-La Union mining district (SE Spain): a review of environmental problems and emerging phytoremediation solutions after fifteen years research. *J Environ Monit* 12(6), 1225-1233.
- Conesa, H.M., Schulin, R., Nowack, B., 2010. Suitability of using diffusive gradients in thin films (DGT) to study metal bioavailability in mine tailings: possibilities and constraints. *Environ Sci Pollut Res Int* 17(3), 657-664.
- Conesa, H.M., Faz, Á., 2011. Metal Uptake by Spontaneous Vegetation in Acidic Mine Tailings from a Semiarid Area in South Spain: Implications for Revegetation and Land Management. *Water, Air, & Soil Pollution* 215(1-4), 221-227.
- Cortez Condori, H.R., 2012. Atenuación natural de la contaminación por metales pesados producida por un residuo minero sulfurado. Tesis doctoral.
- Dassenakis, M., García, G., Diamantopoulou, E., Girona, J.D., García-Marín, E.M., Filippi, G., Fioraki, V., 2010. The impact of mining activities on the hypersaline Mar Menor lagoon. *Desalination and Water Treatment* 13(1-3), 282-289.
- De la Fuente, C., Clemente, R., Martínez Alcalá, I., Tortosal, G., Bernal, M.P., 2011. Impact of fresh and composted solid olive husk and their water-soluble fractions on soil heavy metal fractionation; microbial biomass and plant uptake. *Journal of Hazardous Materials* 186 (2011) 1283-1289.
- Estrategias para el desarrollo de un turismo sostenible en la Sierra Minera”: <http://www.fundacionsierraminera.org/proyectos/jara/PDF/conclusiones.pdf>
- Estudio de Impacto Ambiental. Análisis de soluciones para el objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena. 2018. BOE Núm. 136 Martes 5 de junio de 2018.
- Faz, A., Carmona, D.M., Zanuzzi, A., Mermut, A.R., 2008. Pig manure application for remediation of mine soils in Murcia Province, SE Spain. *ScientificWorldJournal* 8, 819-827.

- Gabarrón, M., Faz, A., Martínez-Martínez, S., Acosta, J.A., 2018. Change in metals and arsenic distribution in soil and their bioavailability beside old tailing ponds. *J Environ Manage* 212, 292-300.
- García Aróstegui, J.L., Jiménez-Martínez, J., Baudron, B., Huninks, J., Contreras, S., Candela, L., 2016. Las aguas subterráneas en el Campo de Cartagena- Mar Menor. Leon, V.M y J.M. Bellido. *Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluacion científica de su estado*. Madrid, Instituto Espanol de Oceanografia, Ministerio de Economia y Competitividad, 2016. 414 p. *Temas de Oceanografia*, 9. ISBN 978-84-95877-55-0.
- Gabarrón Sánchez, M., 2017. Environmental and health risk assesement of metal pollution in different land uses. Tesis Doctoral.
- García García, C., 2004. Impacto y riesgo ambiental de los residuos minero-metalúrgicos de la Sierra minera de Cartagena-La Unión (Murcia-España). Tesis Doctoral.
- García, G., Manteca, J.I., Peñas, J.M., 2007. Leaching and transport of Zn through soil profiles in a seasonal river of a mining area in SE Spain. *Global NEST Journal*, Vol 9, No 3, pp 214-223.
- García Lorenzo, M.L., 2009. Evolución de la contaminación por vía hídrica de elementos traza en áreas con influencia de actividades minero-metalúrgicas. Aplicación a la Sierra Minera de Cartagena- La Unión (Murcia). Tesis Doctoral
- García-Lorenzo, M.L., Martínez-Sánchez, M.J., Perez-Sirvent, C., Molina, J., 2009. Ecotoxicological evaluation for the screening of areas polluted by mining activities. *Ecotoxicology* 18 (8), 1077-1086.
- García-Lorenzo, M.L., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Molina-Ruiz, J., 2012. Trace elements contamination in an abandoned mining site in a semiarid zone. *Journal of Geochemical Exploration* 113, 23-35.
- García-Lorenzo, M.L., Perez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Molina-Ruiz, J., Tudela, M.L., 2012. Spatial distribution and sources of trace elements in sediments affected by old mining activities. *Environ Monit Assess* 184(11), 7041-7052.
- García-Lorenzo, M.L., Martínez-Sánchez, M.J., Pérez-Sirvent, C., Agudo, I., Recio, C., 2014. Isotope geochemistry of waters affected by mining activities in Sierra Minera and Portman Bay (SE, Spain). *Applied Geochemistry* 51, 139-147.

- García-Lorenzo, M.L., Pérez-Sirvent, C., Molina-Ruiz, J., Martínez-Sánchez, M.J., 2014. Mobility indices for the assessment of metal contamination in soils affected by old mining activities. *Journal of Geochemical Exploration* 147, 117-129.
- García Lorenzo, M.L., Martínez Sánchez, M.J., Pérez Sirvent, C., 2014. Application of a plant bioassay for the evaluation of ecotoxicological risks of heavy metals in sediments affected by mining activities. *J Soils Sediments* (2014) 14:1753–1765.
- García-Lorenzo, M.L., Marimón, J., Navarro-Hervas, M.C., Perez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Molina-Ruiz, J., 2016. Impact of acid mine drainages on surficial waters of an abandoned mining site. *Environ Sci Pollut Res Int* 23(7), 6014-6023.
- García-Lorenzo, M.L., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Molina-Ruiz, J., Martínez, S., Arroyo, X., Martínez-Martínez, L.B., Bech, J., 2018. Potential bioavailability assessment and distribution of heavy metal(oids) in cores from Portman Bay (SE, Spain). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, geochem2018-2054.
- García, G., Muñoz-Vera, A., 2015. Characterization and evolution of the sediments of a Mediterranean coastal lagoon located next to a former mining area. *Mar Pollut Bull* 100(1), 249-263.
- García, G., Peñas, J.M., Manteca, J.I., 2008. Zn mobility and geochemistry in surface sulfide mining soils from SE Spain. *Environ Res* 106(3), 333-339.
- Gómez-García, C., Martín-Hernández, F., López García, J.Á., Martínez-Pagán, P., Manteca, J.I., Carmona, C., 2015. Rock magnetic characterization of the mine tailings in Portman Bay (Murcia, Spain) and its contribution to the understanding of the bay infilling process. *Journal of Applied Geophysics* 120, 48-59.
- Gómez-Ros, J.M., García, G., Peñas, J.M., 2013. Assessment of restoration success of former metal mining areas after 30 years in a highly polluted Mediterranean mining area: Cartagena-La Unión. *Ecological Engineering* 57, 393-402.
- González Alcaráz, M. N., 2012. Dynamics of nitrogen, phosphorus and metlas in eutrophic wetlands affected by mine wastes. Tesis Doctoral.
- González-Alcaráz, M.N., Álvarez-Rogel, J., 2013. Liming and vegetation favor Fe-mobilization in eutrophic wetland soils affected by mine wastes. *Ecological Engineering* 53, 183-193.

- González-Alcaráz, M.N., Conesa, H.M., Alvarez-Rogel, J., 2013. Nitrate removal from eutrophic wetlands polluted by metal-mine wastes: effects of liming and plant growth. *J Environ Manage* 128, 964-972.
- González-Alcaráz, M.N., Conesa, H.M., Alvarez-Rogel, J., 2013. Phytomanagement of strongly acidic, saline eutrophic wetlands polluted by mine wastes: the influence of liming and *Sarcocornia fruticosa* on metals mobility. *Chemosphere* 90(10), 2512-2519.
- González-Alcaráz, M.N., Conesa, H.M., Alvarez-Rogel, J., 2013. When liming and revegetation contribute to the mobilisation of metals: learning lessons for the phytomanagement of metal-polluted wetlands. *J Environ Manage* 116, 72-80.
- González-Alcaráz, M.N., van Gestel, C.A.M., 2017. Changes in soluble metal concentrations induced by variable water table levels as response to liming and *Phragmites australis* growth in metal-polluted wetland soils: Management effectiveness. *Geoderma* 289, 20-28.
- González Ciudad, E., 2014. Evaluación en Nave Cerrada de los Riesgos para la Salud en Tecnosoles Procdenes de Residuos de Minería Polimetálica. Tesis Doctoral.
- González Ciudad, E., 2015. Análisis de riesgos como instrumento en el diagnostico de la contaminación del suelo. *Innovación en la gestión e Investigación Ambiental*. Ed. Salvadora Martínez López. ISBN:978-84-16296-15-6.
- González-Fernández, O., Queralt, I., Carvalho, M.L., García, G., 2007. Elemental analysis of mining wastes by energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 262(1), 81-86.
- González Fernández, O., Queralt, I., García, G., Candela, L., 2008. Metals' leaching from mining sediments to the hydrologic media at the Cartagena-La Unión mining district. *Geo-Temas* 10, 2008 (ISSN: 1567-5172).
- González-Fernández, O., Jurado-Roldan, A.M., Queralt, I., 2010. Geochemical and Mineralogical Features of Overbank and Stream Sediments of the Beal Wadi (Cartagena-La Union Mining District, SE Spain): Relation to Former Lead-Zinc Mining Activities and Its Environmental Risk. *Water, Air, & Soil Pollution* 215(1-4), 55-65.

- González-Fernández, O., Queralt, I., Manteca, J.I., García, G., Carvalho, M.L., 2010. Distribution of metals in soils and plants around mineralized zones at Cartagena-La Unión mining district (SE, Spain). *Environmental Earth Sciences* 63(6), 1227-1237.
- González Fernández, O., 2011. Impacto Ambiental de las áreas de minería metálica. Aplicación de metodologías analíticas no destructivas de análisis geoquímico. Tesis Doctoral.
- González-Fernández, O., Queralt, I., Carvalho, M.L., García, G., 2011. Lead, Zinc, Arsenic and Copper Pollution in the Alluvial Plain of a Mining Wadi: The Beal Case (Cartagena–La Union Mining District, SE Spain). *Water, Air, & Soil Pollution* 220(1-4), 279-291.
- González-Fernández, O., Rivero, L., Queralt, I., Viladevall, M., 2011. Distribution of Metals in Vadose Zone of the Alluvial Plain in a Mining Creek Inferred from Geochemical, Mineralogical and Geophysical Studies: The Beal Wadi Case (Cartagena–La Union Mining District, SE Spain). *Water, Air, & Soil Pollution* 221(1-4), 45-61.
- Hernández Pérez, C., 2017. Trazabilidad de elementos potencialmente peligrosos en humedales con influencia minera. Tesis Doctoral.
- Herrera, G., Tomás, R., Vicente, F., López-Sánchez, J.M., Mallorquí, J.J., Mulas, J., 2010. Mapping ground movements in open pit mining areas using differential SAR interferometry. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 47(7), 1114-1125.
- Informe de Sostenibilidad Ambiental del PGM O Cartagena 2008. www.gemuc.es
- Jiménez-Cárceles, F.J., Álvarez-Rogel, J., 2008. Phosphorus fractionation and distribution in salt marsh soils affected by mine wastes and eutrophicated water: A case study in SE Spain. *Geoderma* 144(1-2), 299-309.
- Jiménez-Martínez, J., García-Aróstegui, J.L., Hunink, J.E., Contreras, S., Baudron, P., Candela, L., 2016. The role of groundwater in highly human-modified hydrosystems: a review of impacts and mitigation options in the Campo de Cartagena-Mar Menor coastal plain (SE Spain). *Environmental Reviews* 24(4), 377-392.

- Kabas, S., Faz, A., Acosta, J.A., Zornoza, R., Martínez-Martínez, S., Carmona, D.M., Bech, J., 2012. Effect of marble waste and pig slurry on the growth of native vegetation and heavy metal mobility in a mine tailing pond. *Journal of Geochemical Exploration* 123, 69-76.
- Kabas, S., 2013. Integration of landscape reclamation, planning and design in a post-mining district. Cartagena La Unión, SE SPAIN. Tesis Doctoral.
- Kabas, S., Faz, A., Acosta, J.A., Arocena, J.M., Zornoza, R., Martínez-Martínez, S., Carmona, D.M., 2014. Marble wastes and pig slurry improve the environmental and plant-relevant properties of mine tailings. *Environ Geochem Health* 36(1), 41-54.
- Khademi, H., Abbaspour, A., Martínez-Martínez, S., Gabarron, M., Shahrokh, V., Faz, A., Acosta, J.A., 2018. Provenance and environmental risk of windblown materials from mine tailing ponds, Murcia, Spain. *Environ Pollut* 241, 432-440.
- Kohler, J., Caravaca, F., Azcon, R., Diaz, G., Roldan, A., 2015. The combination of compost addition and arbuscular mycorrhizal inoculation produced positive and synergistic effects on the phytomanagement of a semiarid mine tailing. *Sci Total Environ* 514, 42-48.
- Lambrechts, T., Couder, E., Bernal, M.P., Faz, Á., Iserentant, A., Lutts, S., 2011. Assessment of Heavy Metal Bioavailability in Contaminated Soils from a Former Mining Area (La Union, Spain) Using a Rhizospheric Test. *Water, Air, & Soil Pollution* 217(1-4), 333-346.
- Lapakko, K. 2002. Metal Mine Rock and Waste Characterization Tools: An Overview. *Mining, Minerals and Sustainable Development*. No. 67
- López-Orenes, A., Bueso, M.C., Conesa, H.M., Calderon, A.A., Ferrer, M.A., 2017. Seasonal changes in antioxidative/oxidative profile of mining and non-mining populations of Syrian beancaper as determined by soil conditions. *Sci Total Environ* 575, 437-447.
- López-Orenes, A., Bueso, M.C., Conesa, H., Calderon, A.A., Ferrer, M.A., 2018. Seasonal ionic and metabolic changes in Aleppo pines growing on mine tailings under Mediterranean semi-arid climate. *Sci Total Environ* 637-638, 625-635.

- López Sánchez, J., 2014. Estudio geoquímico de elementos traza en suelos de la Región de Murcia y detección de anomalías-contaminación. Tesis Doctoral.
- Manteca y Ovejero 1992. Los yacimientos Zn, Pb, Ag-Fe del distrito minero de la Unión-Cartagena, Betica Oriental.
- Manteca Martínez, J.I., 1993. De la modelización del yacimiento a la producción mineral diaria. Seguimiento y control geológico de una explotación minera. Tesis Doctoral.
- Marguá, E., Salvadó, V., Queralt, I., Hidalgo, M., 2004. Comparison of three-stage sequential extraction and toxicity characteristic leaching tests to evaluate metal mobility in mining wastes. *Analytica Chimica Acta* 524(1-2), 151-159.
- Marguá, E., González-Fernández, O., Hidalgo, M., Pardini, G., Queralt, I., 2011. X-ray fluorescence spectrometry used to assess the dispersion of metals within mining environments. *Boletín Geológico y Minero*, 122 (2): 273-286 ISSN: 0366-0176
- María-Cervantes, A., Jiménez-Cárceles, F.J., Álvarez-Rogel, J., 2008. As, Cd, Cu, Mn, Pb, and Zn Contents in Sediments and Mollusks (*Hexaplex trunculus* and *Tapes decussatus*) from Coastal Zones of a Mediterranean Lagoon (Mar Menor, SE Spain) Affected by Mining Wastes. *Water, Air, and Soil Pollution* 200(1-4), 289-304.
- Maria Cervantes, A., 2009. Aproximación a los riesgos derivados de la presencia de residuos mineros en saladares del entorno del mar menor: dinámica de metales pesados y arsénico y su acumulación en plantas y moluscos. Tesis doctoral.
- María-Cervantes, A., Conesa, H.M., González-Alcaráz, M.N., Álvarez-Rogel, J., 2010. Rhizosphere and flooding regime as key factors for the mobilisation of arsenic and potentially harmful metals in basic, mining-polluted salt marsh soils. *Applied Geochemistry* 25(11), 1722-1733.
- Marín, A., Millán Sánchez, A., Velasco García, J., Lloret Romero, J., Marín, L., 2009. Interacciones tierra-mar en la laguna costera del Mar Menor. Instituto Euromediterráneo del Agua. El Mar menor. Estado actual del conocimiento científico. ISBN: 978-84-936326-8-7.
- Marín-Guirao, L., 2005. Assessment of sediment metal contamination in the Mar Menor coastal lagoon (SE Spain): Metal distribution, toxicity, bioaccumulation and benthic community structure. *Ciencias Marinas* 31(2), 413-428.

- Marín-Guirao, L., Atucha, A.M., Barba, J.L., López, E.M., Fernández, A.J., 2005. Effects of mining wastes on a seagrass ecosystem: metal accumulation and bioavailability, seagrass dynamics and associated community structure. *Mar Environ Res* 60(3), 317-337.
- Marín-Guirao, L., 2007. Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor. Tesis Doctoral.
- Marín-Guirao, L., Lloret, J., Marín, A., García, G., García Fernández, A.J., 2007. Pulse-discharges of mining wastes into a coastal lagoon: Water chemistry and toxicity. *Chemistry and Ecology* 23(3), 217-231.
- Marín-Guirao, L., Lloret, J., Marín, A., 2008. Carbon and nitrogen stable isotopes and metal concentration in food webs from a mining-impacted coastal lagoon. *Sci Total Environ* 393(1), 118-130.
- Martín-Crespo, T., Gómez-Ortiz, D., Martín-Velázquez, S., Martínez-Pagán, P., De Ignacio, C., Lillo, J., Faz, Á., 2018. Geoenvironmental characterization of unstable abandoned mine tailings combining geophysical and geochemical methods (Cartagena-La Union district, Spain). *Engineering Geology* 232, 135-146.
- Marimón Santos, J., 2015. Valoración de residuos industriales en el desarrollo de técnicas de tratamiento innovadoras en suelos contaminados de la Región de Murcia. Tesis Doctoral.
- Martínez Alcalá, I., Clemente, R., Bernal, M.P., 2012. Efficiency of a phytoimmobilisation strategy for heavy metal contaminated soils using white lupin. *Journal of Geochemical Exploration* 123 (2012) 95–100
- Martínez-Fernández, D., Arco-Lázaro, E., Bernal, M.P., Clemente, R., 2014. Comparison of compost and humic fertiliser effects on growth and trace elements accumulation of native plant species in a mine soil phytorestation experiment. *Ecological Engineering* 73, 588-597.
- Martínez López, S., 2010. El Arsénico en suelos con influencia minera en ambientes semiáridos. Tesis Doctoral.
- Martínez-López, S., Martínez-Sánchez, M.J., Pérez-Sirvent, C., Bech, J., del Carmen Gómez Martínez, M., García-Fernández, A.J., 2014. Screening of wild plants for

- use in the phytoremediation of mining-influenced soils containing arsenic in semiarid environments. *Journal of Soils and Sediments* 14(4), 794-809.
- Martínez López, S., Martínez-Sánchez, M.J., Pérez Sirvent, C., 2014. Relación del Arsénico, Hierro, Manganeso con la Mineralogía de los Suelos con Influencia Minera del Sureste de España (Murcia). *Macla* 18, p. 84-86
- Martínez López, S., 2015. Técnicas de estudio en la transferencia de Arsénico del suelo a la población y al ecosistema. *Innovación en la gestión e Investigación Ambiental*. Ed. Salvadora Martínez López. ISBN:978-84-16296-15-6.
- Martínez-Martínez, S., Acosta, J.A., Cano, A.F., Carmona, D.M., Zornoza, R., Cerda, C., 2013. Assessment of the lead and zinc contents in natural soils and tailing ponds from the Cartagena-La Unión mining district, SE Spain. *Journal of Geochemical Exploration* 124, 166-175.
- Martínez-Oro, D., Párraga-Aguado, I.M, Querejeta, J.I., Conesa, H.M., 2017. Importance of intra- and interspecific plant interactions for the phytomanagement of semiarid mine tailings using the tree species *Pinus halepensis*. *Chemosphere* 186, 405-413.
- Martínez-Oro, D., Párraga-Aguado, I.M., Querejeta, J.I., Alvarez-Rogel, J., Conesa, H.M., 2019. Nutrient limitation determines the suitability of a municipal organic waste for phytomanaging metal(loid) enriched mine tailings with a pine-grass co-culture. *Chemosphere* 214, 436-444.
- Martínez-Pagán, P., Faz, A., Acosta, J.A., Carmona, D.M., Martínez-Martínez, S., 2009. A multidisciplinary study for mining landscape reclamation: A study case on two tailing ponds in the Region of Murcia (SE Spain). *Physics and Chemistry of the Earth*, 36 (2011) 1331-1344.
- Martínez-Sánchez, M.J., & Perez Sirvent, C., 1998. Parque minero y ambiental Cabezo Rajao. Dirección General del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. MU-1699-1998.
- Martínez Sánchez, M.J. & Pérez Sirvent, C., 2007. Niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados en suelos de la Región de Murcia. ISBN: 978-84-6909-104-3.
- Martínez-Sánchez, M.J., Navarro, M.C., Pérez-Sirvent, C., Marimón, J., Vidal, J., García-Lorenzo, M.L., Bech, J., 2008. Assessment of the mobility of metals in a mining-

- impacted coastal area (Spain, Western Mediterranean). *Journal of Geochemical Exploration* 96(2-3), 171-182.
- Martínez-Sánchez, M.J., y Pérez Sirvent, C., 2009. Análisis del estado de la contaminación del suelo en el Sistema Campo de Cartagena- Mar Menor. Instituto Euromediterráneo del Agua. *El Mar menor. Estado actual del conocimiento científico*. ISBN: 978-84-936326-8-7.
- Martínez-Sánchez, M.J., Martínez-López, S., García-Lorenzo, M.L., Martínez-Martínez, L.B., Pérez-Sirvent, C., 2011. Evaluation of arsenic in soils and plant uptake using various chemical extraction methods in soils affected by old mining activities. *Geoderma* 160(3-4), 535-541.
- Martínez-Sánchez, M.J., García-Lorenzo, M.L., Pérez-Sirvent, C., Bech, J., 2012. Trace element accumulation in plants from an aridic area affected by mining activities. *Journal of Geochemical Exploration* 123, 8-12.
- Martínez-Sánchez, M.J., Martínez-López, S., Martínez-Martínez, L.B., Pérez-Sirvent, C., 2013. Importance of the oral arsenic bioaccessibility factor for characterising the risk associated with soil ingestion in a mining-influenced zone. *J Environ Manage* 116, 10-17.
- Martínez-Sánchez, M.J, Pérez Sirvent, C., García Lorenzo, M.L., Martínez López, S., Veiga del Baño, J.M., González Ciudad, E., Pérez Espinosa, V., Martínez Martínez, L.B., Hernández Pérez, C., 2013. Las Arenas de la Bahía de Portman: ¿Residuo o Mena de Hierro?. *Macla* 17, p. 69-70.
- Martínez-Sánchez, M.J, Pérez Sirvent, C., García Lorenzo, M.L., Martínez López, S., Martínez Martínez, L.B., Hernández Córdoba, M., Hernández Pérez, C., 2014. La Rambla de El Avenque-Gorguel (Murcia): Un Caso de Estudio para la Zonificación de Riesgos por Elementos Potencialmente Tóxic. *Macla* 18, p. 87-89
- Martínez-Sánchez, M.J., García-Lorenzo, M.L., Pérez-Sirvent, C., González, E., Pérez, V., Martínez, S., Martínez, L., Molina, J., 2014. Heavy metal immobilisation by limestone filler in soils contaminated by mining activities: Effects on metal leaching and ecotoxicity. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* 28(6), 414-425.

- Martínez-Sánchez, M.J., Perez-Sirvent, C., García-Lorenzo, M.L., González, E., Perez-Espinosa, V., Martínez-López, S., Hernández, C., Molina, J., Martínez, L.B., 2014. Critical Zone Remediation by Using Environmental Geoengineering Projects. *Procedia Earth and Planetary Science* 10, 392-398.
- Martínez Sánchez, M.J., García Lorenzo, M.L., Martínez López, S., Martínez Martínez, L.B., Hernández Pérez, C., Pérez Sirvent, C., 2015. The analysis of risks for human health in the paradigm of contaminated soil management: the case of Portman Bay. *Rev. Salud ambient.* 2015;15(2):103-112
- Martínez-Sánchez, M.J., Pérez-Sirvent, C., García-Lorenzo, M.L., Martínez-López, S., Bech, J., Hernández, C., Martínez, L.B., Molina, J., 2017. Ecoefficient In Situ Technologies for the Remediation of Sites Affected by Old Mining Activities: The Case of Portman Bay. 355-373.
- Martínez Sánchez, M.J., Pérez Sirvent, C., Martínez Martínez, L.B., Martínez López, S., García Lorenzo, M.L., Hernández Pérez, C., Molina Ruiz, J., Tudela Serrano, M.L., 2017. Contaminación de suelos por metales. Los riesgos ambientales en la Región de Murcia. ISBN: 978-84-17157-45-6.
- Moreno Barriga, F., 2017. Formación de suelos en depósitos de residuos mineros mediante la aplicación de biocarbón y fitoestabilización factores reguladores del secuestro de carbono y de la formación de agregados estables. Tesis doctoral.
- Moreno-Barriga, F., Díaz, V., Acosta, J.A., Muñoz, M.Á., Faz, Á., Zornoza, R., 2017. Creation of Technosols to Decrease Metal Availability in Pyritic Tailings with Addition of Biochar and Marble Waste. *Land Degradation & Development* 28(7), 1943-1951.
- Moreno-Barriga, F., Díaz, V., Acosta, J.A., Muñoz, M.Á., Faz, Á., Zornoza, R., 2017. Organic matter dynamics, soil aggregation and microbial biomass and activity in Technosols created with metalliferous mine residues, biochar and marble waste. *Geoderma* 301, 19-29.
- Moreno-Barriga, F., Faz, Á., Acosta, J.A., Soriano-Disla, M., Martínez-Martínez, S., Zornoza, R., 2017. Use of *Piptatherum miliaceum* for the phytomanagement of biochar amended Technosols derived from pyritic tailings to enhance soil aggregation and reduce metal(loid) mobility. *Geoderma* 307, 159-171.

- Moreno González, R., 2015. Fuentes y Distribución de Microcontaminantes orgánicos regulados y emergentes en la laguna costera del Mar Menor. Tesis Doctoral.
- Muñoz-Vera, A., García, G., García-Sánchez, A., 2015. Metal bioaccumulation pattern by *Cotylorhiza tuberculata* (Cnidaria, Scyphozoa) in the Mar Menor coastal lagoon (SE Spain). *Environ Sci Pollut Res Int* 22(23), 19157-19169.
- Muñoz Vera, A., 2016. Impacto de los residuos de la minería metálica sobre el ecosistema Marítimo del Mar Menor. RESUMEN Tesis Doctoral.
- Muñoz-Vera, A y García, C., 2016. Influencia de los residuos mineros de la Sierra Minera de Cartagena La Unión en la evolución de los sedimentos de la Laguna costera Mar Menor.
- Murcia, F. J., Gómez, M.J., Palop, A., García, G., 2007. Assessment of mining soil improvement after construction and demolition wastes amendment additions evaluated by microbiological analysis. *Global NEST Journal*, Vol 9, No 3, pp 224-228, 2007.
- Mustafa Aukour, F. J., 2002. Evaluación de la degradación por sales y metales pesados en los suelos rojos mediterráneos. Tesis doctoral.
- Navarro García, G., Jerez Rodríguez, S., Farinós Celdrá, P., Robledano Aymerich, F., Motas Guzmán, M., 2010. Biomonitorización de la contaminación por metales pesados mediante cormoranes grandes (*Phalacrocorax carbo sinensis*) de la laguna costera del Mar Menor. Comunicación técnica. Conama 2010. Congreso Nacional de Medio Ambiente.
- Navarro- Hervás, M.C., 2004. Movilidad y Biodisponibilidad de Metales Pesados en el emplazamiento minero Cabezo Rajao (Murcia). Tesis Doctoral.
- Navarro- Hervás, M.C., Perez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Vidal, J., Marimon, J., 2006. Lead, cadmium and arsenic bioavailability in the abandoned mine site of Cabezo Rajao (Murcia, SE Spain). *Chemosphere* 63(3), 484-489.
- Navarro-Hervás, M.C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Vidal, J., Tovar, P.J., Bech, J., 2008. Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone. *Journal of Geochemical Exploration* 96(2-3), 183-193.

- Navarro-Hervás, C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., García-Lorenzo, M.L., Molina, J., 2012. Weathering processes in waste materials from a mining area in a semiarid zone. *Applied Geochemistry* 27(10), 1991-2000.
- Ottenhof, C.J., Faz Cano, A., Arocena, J.M., Nierop, K.G., Verstraten, J.M., van Mourik, J.M., 2007. Soil organic matter from pioneer species and its implications to phytostabilization of mined sites in the Sierra de Cartagena (Spain). *Chemosphere* 69(9), 1341-1350.
- Pardo, T., Clemente, R., Bernal, M.P., 2011. Effects of compost, pig slurry and lime on trace element solubility and toxicity in two soils differently affected by mining activities. *Chemosphere* 84(5), 642-650.
- Pardo, T., 2013. Recuperación de suelos contaminados por elementos traza mediante fitotecnologías de estabilización. Tesis doctoral.
- Pardo, T., Clemente, R., Epelde, L., Garbisu, C., Bernal, M.P., 2014a. Evaluation of the phytostabilisation efficiency in a trace elements contaminated soil using soil health indicators. *Journal of Hazardous Materials* 268 (2014) 68–76.
- Pardo, T., Martínez Fernández, D., Clemente, R., Walker, D.J., Bernal, M.P., 2014b. The use of olive-mill waste compost to promote the plant vegetation cover in a trace-element-contaminated soil. *Environ Sci Pollut Res* (2014) 21:1029–1038.
- Pardo, T., Bes, C., Bernal, M.P., Clemente, F., 2016. Alleviation of environmental risks associated with severely contaminated mine tailing using amendments: Modeling of trace element speciation, solubility and plant accumulation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 35, No. 11, pp. 2874–2884.
- Pardo, T., Bernal, M.P., Clemente, R., 2017. Phytostabilisation of severely contaminated mine tailings using halophytes and field addition of organic and inorganic amendments. *Chemosphere* 178, 556-564.
- Párraga-Aguado, I.M., Álvarez-Rogel, J., González-Alcaráz, M.N., Jiménez-Cárceles, F.J., Conesa, H.M., 2013. Assessment of metal(loid)s availability and their uptake by *Pinus halepensis* in a Mediterranean forest impacted by abandoned tailings. *Ecological Engineering* 58, 84-90.
- Párraga-Aguado, I.M., González-Alcaráz, M.N., Álvarez-Rogel, J., Jiménez-Cárceles, F.J., Conesa, H.M., 2013. The importance of edaphic niches and pioneer plant

- species succession for the phytomanagement of mine tailings. *Environ Pollut* 176, 134-143.
- Párraga-Aguado, I.M., Zornoza, R., Conesa, E., Gómez-López, M.D., Faz, A., 2014. Evaluation of the suitability of three Mediterranean shrub species for phytostabilization of pyritic mine soils. *Catena* 136, 59-65.
- Párraga-Aguado, I.M., 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.
- Párraga-Aguado, I.M., González-Alcaráz, M.N., Álvarez-Rogel, J., Conesa, H.M., 2014. Assessment of the employment of halophyte plant species for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas. *Ecological Engineering* 71, 598-604.
- Párraga Aguado, I. M., Querejeta, J.I., González Alcaráz, M.N., Jiménez Cárceles, F.J., Conesa, H.M., 2014. Elemental and stable isotope composition of *Pinus halepensis* foliage along a metal (loid) polluted gradient: implications for phytomanagement of mine tailings in semiarid areas. *Plant Soil* (2014) 379:93–107.
- Párraga-Aguado, I.M., Querejeta, J.I., González-Alcaráz, M.N., Conesa, H.M., 2014. Metal(loid) allocation and nutrient retranslocation in *Pinus halepensis* trees growing on semiarid mine tailings. *Sci Total Environ* 485-486, 406-414.
- Párraga Aguado, I.M., 2015. The importance of edaphic niches and spontaneous vegetation for the phytomanagement of mine tailings under semiarid climate. Tesis Doctoral.
- Párraga-Aguado, I.M., González-Alcaráz, M.N., Schulin, R., Conesa, H.M., 2015. The potential use of *Piptatherum miliaceum* for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas: Role of soil fertility and plant competition. *J Environ Manage* 158, 74-84.
- Párraga-Aguado, I.M., González-Alcaráz, M.N., López-Orenes, A., Ferrer-Ayala, M.A., Conesa, H.M., 2016. Evaluation of the environmental plasticity in the xerohalophyte *Zygophyllum fabago* L. for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas. *Chemosphere* 161, 259-265.

- Párraga-Aguado, I.M., Alcoba-Gómez, P., Conesa, H.M., 2017. Suitability of a municipal solid waste as organic amendment for agricultural and metal(loid)-contaminated soils: effects on soil properties, plant growth and metal(loid) allocation in *Zea mays* L. *Journal of Soils and Sediments* 17(10), 2469-2480.
- Párraga-Aguado, I.M., Álvarez-Rogel, J., González-Alcaráz, M.N., Conesa, H.M., 2017. Metal mobility assessment for the application of an urban organic waste amendment in two degraded semiarid soils. *Journal of Geochemical Exploration* 173, 92-98.
- Párraga-Aguado, I.M., Zornoza, R., Conesa, E., Faz, A., Gómez-López, M.D., 2017. Nutritional status and its interaction with soil properties and trace elements in six Mediterranean shrub species grown in reclaimed pyritic tailings. *Ecological Engineering* 109, 25-34.
- Parra Torres, A., 2015. Metodología para la valorización paisajística y rehabilitación ambiental de zonas mineras mediante el uso de modelos de ayuda a la toma de decisiones. Tesis Doctoral.
- Pellegrini, S., García, G., Peñas-Castejón, J.M., Vignozzi, N., Costantini, E.A.C., 2016. Pedogenesis in mine tails affects macroporosity, hydrological properties, and pollutant flow. *Catena* 136, 3-16.
- Pérez Espinosa, V., 2014. Inmovilización de Elementos Potencialmente Tóxicos en Zonas Mineras Abandonadas mediante la Construcción de Tecnosoles y Barreras Reactivas Permeables. Tesis Doctoral.
- Pérez Espinosa, V., 2015. Los residuos de cantera caliza como nuevos materiales adsorbentes para la descontaminación de aguas. *Innovación en la gestión e Investigación Ambiental*. Ed. Salvadora Martínez López. ISBN:978-84-16296-15-6.
- Pérez Ruzafa, A., 2005. The ecology of the Mar Menor coastal lagoon: A fast changing ecosystem under human pressure. *Ecosystem processes and modeling for sustainable use and development*. CRC Press Boca Raton.
- Perez-Sirvent, C., García-Lorenzo, M.L., Martínez-Sánchez, M.J., Navarro, M.C., Marimon, J., Bech, J., 2007. Metal-contaminated soil remediation by using sludges of the marble industry: toxicological evaluation. *Environ Int* 33(4), 502-504.

- Pérez Sirvent, C. & Martínez Sánchez, M. J., 2009. Rehabilitación de escombreras y depósito de estériles. Rehabilitación turística y para el ocio. Rehabilitación de espacios mineros. Experiencia española. Editor Rafael Fernández Rubio. 218-230.
- Pérez-Sirvent, C., García-Lorenzo, M.L., Martínez-Sánchez, M.J., Molina-Ruiz, J., Marimon, J., Navarro, M.C., 2010. Use of marble cutting sludges for remediating soils and sediments contaminated by heavy metals. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 30(4), 533-539.
- Pérez Sirvent, C., Martínez Sánchez, M.J., Molina, J., García Lorenzo, M.L., 2010. Toxicity of sediments and their leachates in samples from Portman Bay (Se, Spain). *Fres Fresenius Environmental Bulletin*. Volume 19. No 2.2010.
- Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Martínez-López, S., Hernández-Córdoba, M., 2011. Antimony distribution in soils and plants near an abandoned mining site. *Microchemical Journal* 97(1), 52-56.
- Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Martínez-López, S., Bech, J., Bolan, N., 2012. Distribution and bioaccumulation of arsenic and antimony in *Dittrichia viscosa* growing in mining-affected semiarid soils in southeast Spain. *Journal of Geochemical Exploration* 123, 128-135.
- Pérez Sirvent, C., Martínez Sánchez, M.J., Martínez López, S., 2013. Mineralógica de los Suelos, Indicador para la delimitación de las Zonas de Influencia Minera. *Composición Macla* 17, p. 87-88.
- Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., García-Lorenzo, M.L., Hernández-Córdoba, M., Molina, J., Martínez, S., González, E., Pérez-Espinosa, V., 2014. A Preliminary Zonation to Support the Remediation and the Risk Assessment of an Area Contaminated by Potentially Toxic Elements in Murcia Region (SE, Spain). *Procedia Earth and Planetary Science* 10, 388-391.
- Pérez-Sirvent, C., Hernández-Pérez, C., Martínez-Sánchez, M.J., García-Lorenzo, M.L., Bech, J., 2015. Geochemical characterisation of surface waters, topsoils and efflorescences in a historic metal-mining area in Spain. *Journal of Soils and Sediments* 16(4), 1238-1252.
- Pérez- Sirvent y Martínez Sánchez, 2015. Gestión ecoeficiente en descontaminación de suelos, incertidumbres asociadas. *Innovación en la gestión e Investigación Ambiental*. Ed. Salvadora Martínez López. ISBN:978-84-16296-15-6.

- Pérez Sirvent, C., Hernández Pérez, C., Martínez Sánchez, M.J., García Lorenzo, M.L., Bech, J., 2016. Geochemical characterisation of surface waters, topsoils and efflorescences in a historic metal-mining area in Spain. *J Soils Sediments* (2016) 16:1238–1252.
- Pérez-Sirvent, C., Hernández-Pérez, C., Martínez-Sánchez, M.J., García-Lorenzo, M.L., Bech, J., 2017. Metal uptake by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Journal of Soils and Sediments* 17(5), 1384-1393.
- Pérez-Sirvent, C., García-Lorenzo, M.L., Hernández-Pérez, C., Martínez-Sánchez, M.J., 2017. Assessment of potentially toxic element contamination in soils from Portman Bay (SE, Spain). *Journal of Soils and Sediments* 18(6), 2248-2258.
- Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., García-Lorenzo, M.L., Martínez-López, S., Hernández, C., Martínez, L.B., Molina, J., Bech, J., 2017. Proposals for the Remediation of Soils Affected by Mining Activities in Southeast Spain. 297-328.
- Pérez Sirvent, C., Martínez Sánchez, M.J., García Lorenzo, M.L., Bech, J., 2008. Uptake of Cd and Pb by natural vegetation in soils polluted by mining activities. *Fresenius Environmental Bulletin*. Volume 17. No 10b.2008.
- Robles Arenas, V.M., 2007. Caracterización hidrogeológica de la Sierra de Cartagena-La Unión (SE de la Península Ibérica). Impacto de la minería abandonada sobre el medio hídrico. Tesis doctoral.
- Robles Arenas, V.M., Candela, L., 2010. Hydrological conceptual model characterisation of an abandoned mine site in semiarid climate. The Sierra de Cartagena-La Unión (SE Spain). *Geologica Acta*, Vol. 8, Nº 3, 2010, 235-248.
- Rodríguez Martín, J.A., Gutierrez, C., Escuer, M., García-González, M.T., Campos-Herrera, R., Aguila, N., 2014. Effect of mine tailing on the spatial variability of soil nematodes from lead pollution in La Union (Spain). *Sci Total Environ* 473-474, 518-529.
- Rodríguez, R., García, C., Zarroca, M., Roquel, C., Linares, R., Oldecop, L., 2011. Características geológicas y geotécnicas de los lodos de flotación de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión (SE España). *Boletín Geológico y Minero*, 122 (2): 127-144. ISSN: 0366-0176.
- Romero Baena, A. J., González Díez, I., Galán Huertos, E., 2005: Meeting-Abstract: Las Eflorescencias Derivadas del Drenaje Ácido de Minas

- Como Acumuladoras de Elementos Tóxicos. El Caso de Peña del Hierro (So de España). En: Macla. 2005. Núm. 3. Pag. 177-178
- Romero Díaz, A., García Fernández, G., 2007. Contaminación por erosión eólica e hídrica de las áreas limítrofes a la antigua zona minera de la Unión-Cartagena. Revista Murciana de Antropología, Nº 14, 2007 Págs. 77-96.
- Rosique López, M. G., 2016. Gestión de los residuos y suelos contaminados procedentes de la minería metálica, aspectos técnicos, problemas ambientales y marco normativo. Tesis Doctoral.
- Shum, M. y Lavkulich, L.M. 1999. Use of sample color to estimate oxidized Fe content in mine waste rock. Environmental Geology. 37 (4), 281-289.
- Simonneau, J., 1973. Mar Menor: evolution sedimentologique et geochemique recent en remplissage. Tesis Doctoral.
- Sánchez Bisquet, D., 2017. Caracterización y dispersión del material aerotransportado en el entorno de la antigua zona de minería metálica de Cartagena-La Unión: Impactos y riesgos. Tesis Doctoral.
- Sánchez Bisquet, D., Matías Peñas Castejón, J., García Fernández, G., 2017. The impact of atmospheric dust deposition and trace elements levels on the villages surrounding the former mining areas in a semi-arid environment (SE Spain). Atmospheric Environment 152, 256-269.
- Sánchez i Bassols, M., 2008. Estudi de la mobilitat i biodisponibilitat de pollutants en la zona minera del Campo de Cartagena. Tesis Doctoral.
- Soriano-Disla, J.M., Calupiña-Moya, R.D., Martínez-Martínez, S., Zornoza, R., Faz, Á., Acosta, J.A., 2018. Evaluation of the performance of chemical extractants to mobilise metals for remediation of contaminated samples. Journal of Geochemical Exploration 193, 22-31.
- Tovar Frutos, P.J., 2008. Metodología de diagnóstico fiso-químico e isotópico de agua superficiales y sus fuentes contaminantes. Tesis Doctoral.
- Trezzi, G., García-Orellana, J., Santos-Echeandia, J., Rodellas, V., García-Solsona, E., García-Fernández, G., Masqué, P., 2016. The influence of a metal-enriched mining waste deposit on subMarine groundwater discharge to the coastal sea. Marine Chemistry 178, 35-45.

- Tsakovski, S., Kudlak, B., Simeonov, V., Wolska, L., García, G., Dassenakis, M., Namiesnik, J., 2009. N-way modelling of sediment monitoring data from Mar Menor lagoon, Spain. *Talanta* 80(2), 935-941.
- Veiga Del Baño, J.M., 2011. Análisis, reactividad y optimización de fillers calizos como enemendante en suelos contaminados por metales pesados. Tesis Doctoral.
- USEPA, (2000). Risk based Concentration Table. United States Environmental Protection Agency, Philadelphia, PA; Washington DC.
- Zanuzzi, A., 2007. Reducción de impactos ambientales asociados a suelos contaminados por metales pesados mediante el uso de residuos antropogénicos. Tesis doctoral.
- Zornoza, R., Carmona, D.M., Acosta, J.A., Martínez-Martínez, S., Weiss, N., Faz, Á., 2012. The Effect of Former Mining Activities on Contamination Dynamics in Sediments, Surface Water and Vegetation in El Avenque Stream, SE Spain. *Water, Air, & Soil Pollution* 223(2), 519-532.
- Zornoza, R., Faz, A., Carmona, D.M., Martínez-Martínez, S., Acosta, J.A., 2012. Plant Cover and Soil Biochemical Properties in a Mine Tailing Pond Five Years After Application of Marble Wastes and Organic Amendments. *Pedosphere* 22(1), 22-32.
- 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(10), 2606-2613.
- Zornoza, R., Acosta, J.A., Martínez-Martínez, S., Faz, A., Bååth, E., 2015. Main factors controlling microbial community structure and function after reclamation of a tailing pond with aided phytostabilization. *Geoderma* 245-246, 1-10.
- Zornoza, R., Acosta, J.A., Faz, A., Bååth, E., 2016. Microbial growth and community structure in acid mine soils after addition of different amendments for soil reclamation. *Geoderma* 272, 64-72.
- Zornoza, R., Gómez-Garrido, M., Martínez-Martínez, S., Gómez-López, M.D., Faz, A., 2017. Bioaugmentation in Technosols created in abandoned pyritic tailings can contribute to enhance soil C sequestration and plant colonization. *Sci Total Environ* 593-594, 357-367.

Zornoza, R., Faz, A., Martínez-Martínez, S., Acosta, J.A., Gómez-López, M.D., Muñoz, M.A., Sánchez-Medrano, R., Murcia, F.J., Fernández Cortés, F.J., López Martínez, E., Espín de Gea, A., 2017. Reclamation of a mine tailings pond by addition of marble waste and pig slurry for the development of aided phytostabilization. *Boletín Geológico y Minero*, 128 (2): 421-435.



ANEXO I. FOTOGRÁFICO

FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa

Grupo de Investigación:
Contaminación de suelos
Facultad de Química
Universidad de Murcia
Coordinadora: Salvadora
Martínez López. Doctora por la
Universidad de Murcia
ABRIL 2019



Unión Europea

ÍNDICE

1. DESEBOCADURA DE LAS RAMBLAS QUE TRIBUTAN AL MAR MENOR.....	2
2. DRÉNAJE ÁCIDO DE MINA	9
3. INSTALACIONES DE LAS CONSTRUCCIONES MINERAS ABANDONADAS.	11
4. ESCOMBRERAS Y BALSAS DE ESTÉRILES MINEROS.	13
5. VARIACIÓN DE LA MORFOLOGÍA DEL TERRENO, DEL PAISAJE Y ENORMES HUECOS.....	15
6. CREACIÓN BALSAS ARTIFICIALES.....	17
7. MEDITERRÁNEO: EL GORGUEL.	19
8. MEDITERRÁNEO: PORTMAN.....	21
9. EFLORESCENCIAS.	22
10. ESPECIES VEGETALES.	25
11. MEDIDAS CORRECTORAS.	27

1. **DESEMBOCADURA DE LAS RAMBLAS QUE TRIBUTAN AL MAR MENOR.**



Abanico aluvial Rambla del Albujón junto al Mar Menor



Abanico aluvial de la desembocadura de la Rambla de Miranda

FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa



Llanura de inundación del Abanico aluvial de la desembocadura de la Rambla de Miranda.



Zona de inundación de la Rambla del Miedo, entre Miranda y el Carmolí.



Desembocadura Rambla de Las Matildes



Márgenes de la Rambla de las Matildes



Desembocadura de la Rambla del Beal. Humedal Lo Poyo.



Cauce de la Rambla del Beal



Cauce Rambla del Beal



Cabecera Rambla del Beal



Cauce de la Rambla de Carrasquilla



Lecho Rambla del Miedo



Cabecera Rambla de Ponce

2. DRÉNAJE ÁCIDO DE MINA





3. INSTALACIONES DE LAS CONSTRUCCIONES MINERAS ABANDONADAS.





4. ESCOMBRERAS Y BALSAS DE ESTÉRILES MINEROS.



FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa



Balsa erosionada

5. VARIACIÓN DE LA MORFOLOGÍA DEL TERRENO, DEL PAISAJE Y ENORMES HUECOS.



FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa



6. CREACIÓN BALSAS ARTIFICIALES



FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa



7. MEDITERRÁNEO: EL GORGUEL.



FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa



8. MEDITERRÁNEO: PORTMAN.



Antes

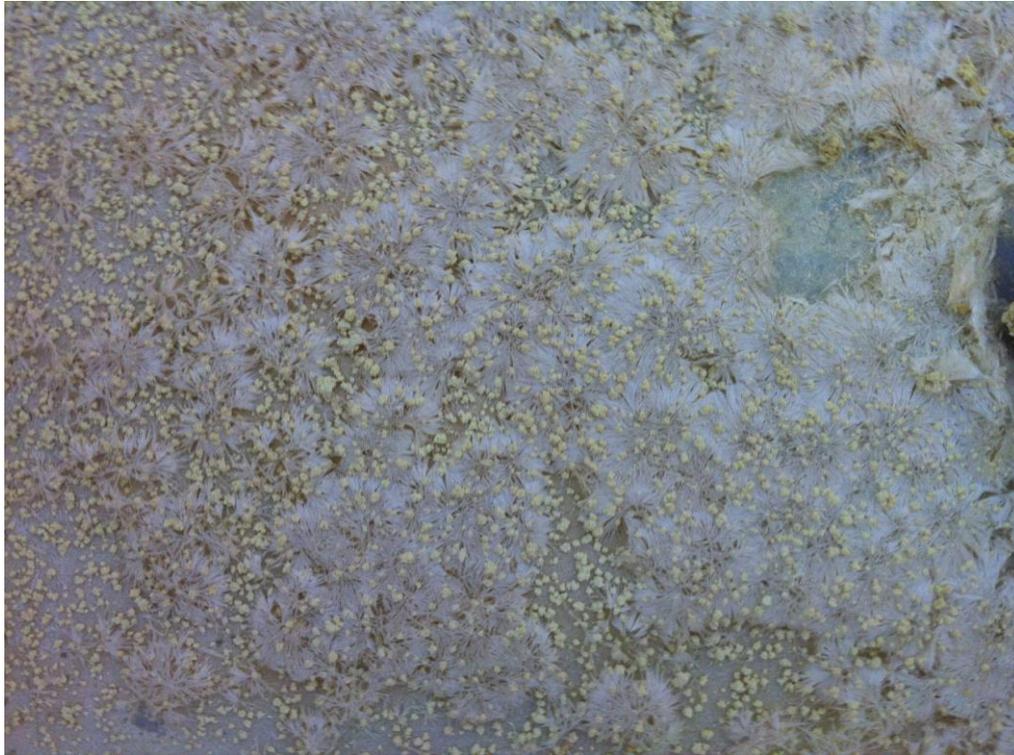


Ahora

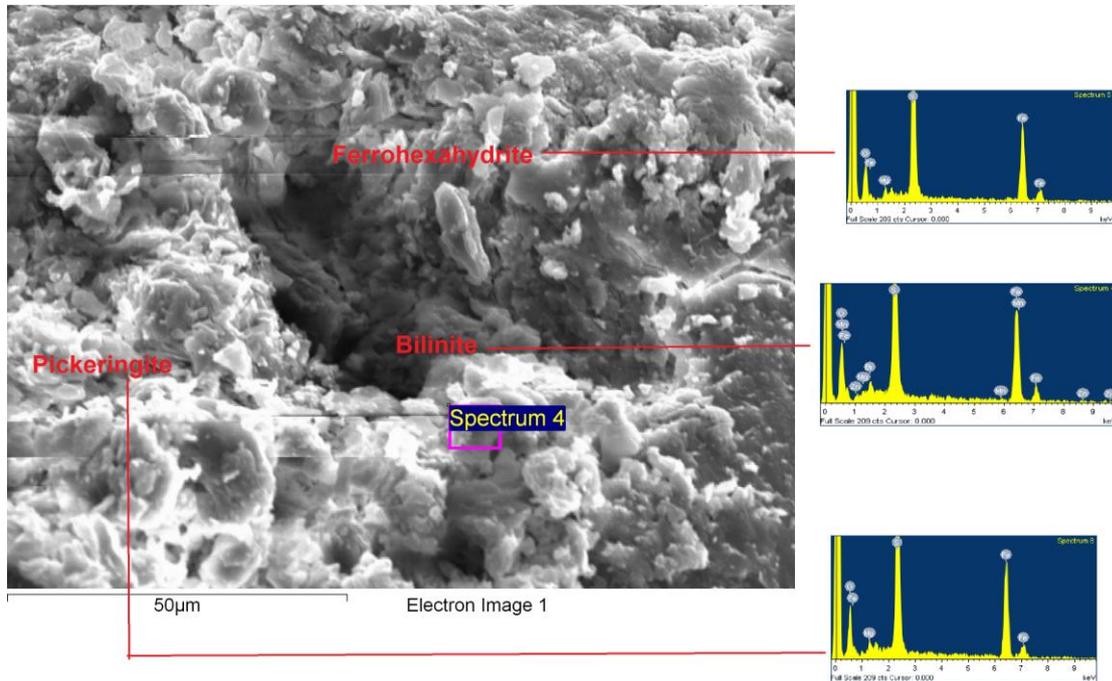
FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa

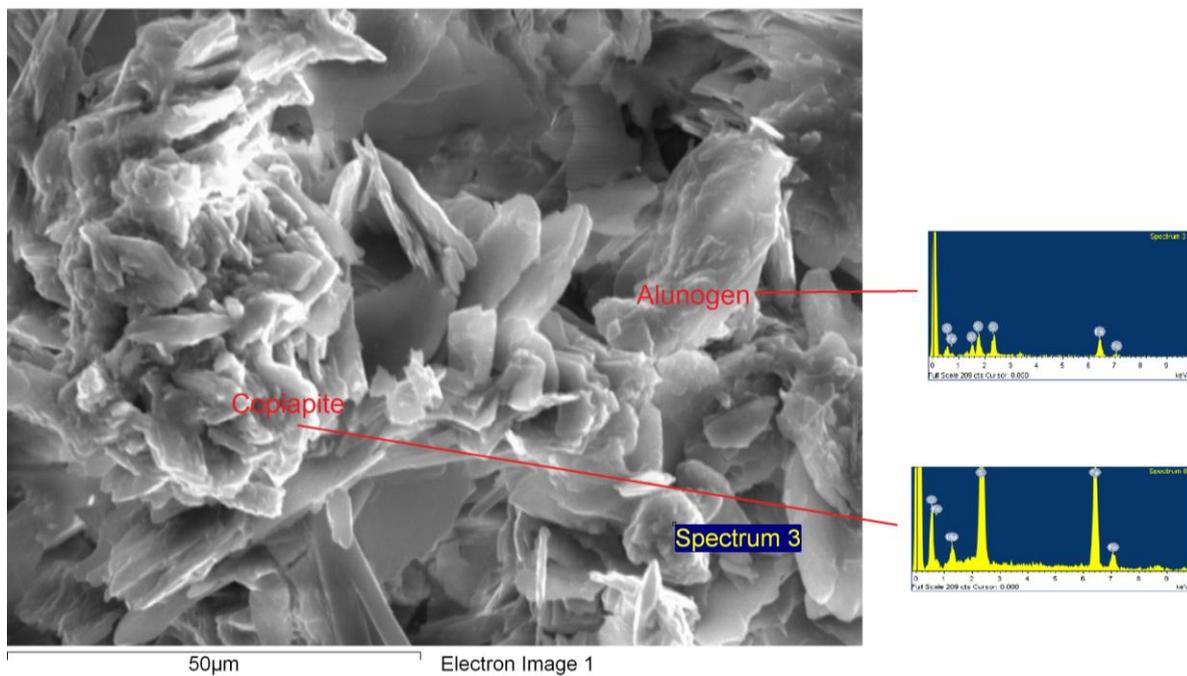
9. EFLORESCENCIAS.







Eflorescencia Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

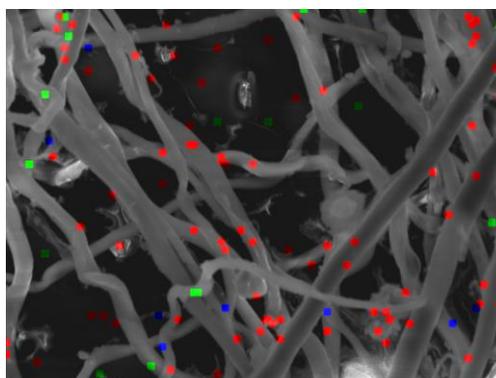
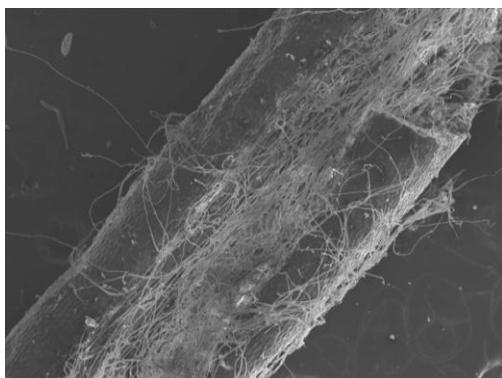


Elorescencia Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

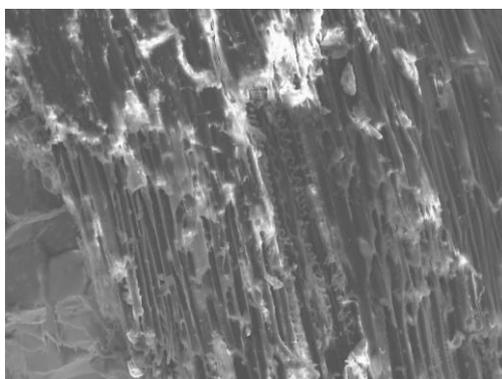
10. ESPECIES VEGETALES.



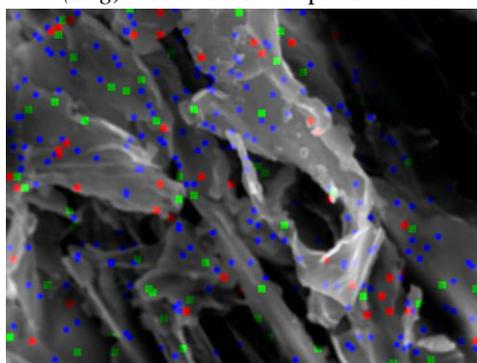
Helichrysum decumbens (Lag) Camb



Hoja *Helichrysum decumbens* (Lag) Camb. Acumulación As. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).



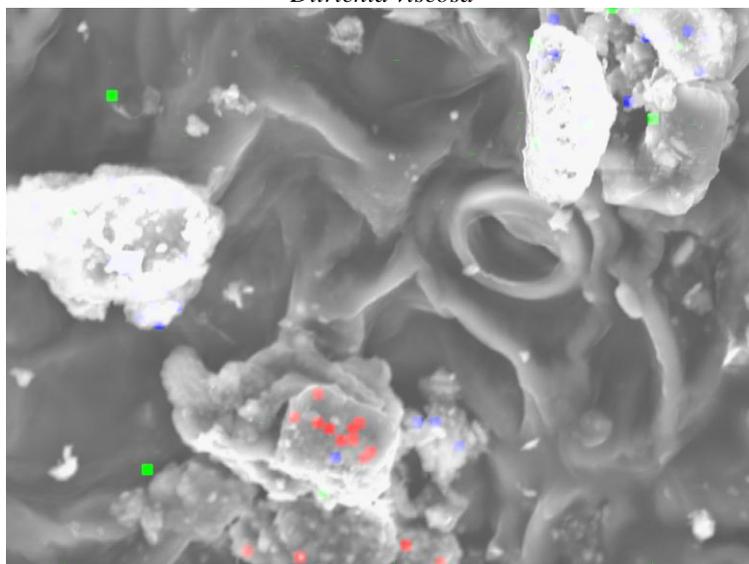
Tallo *Helichrysum decumbens* (Lag) Camb. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).



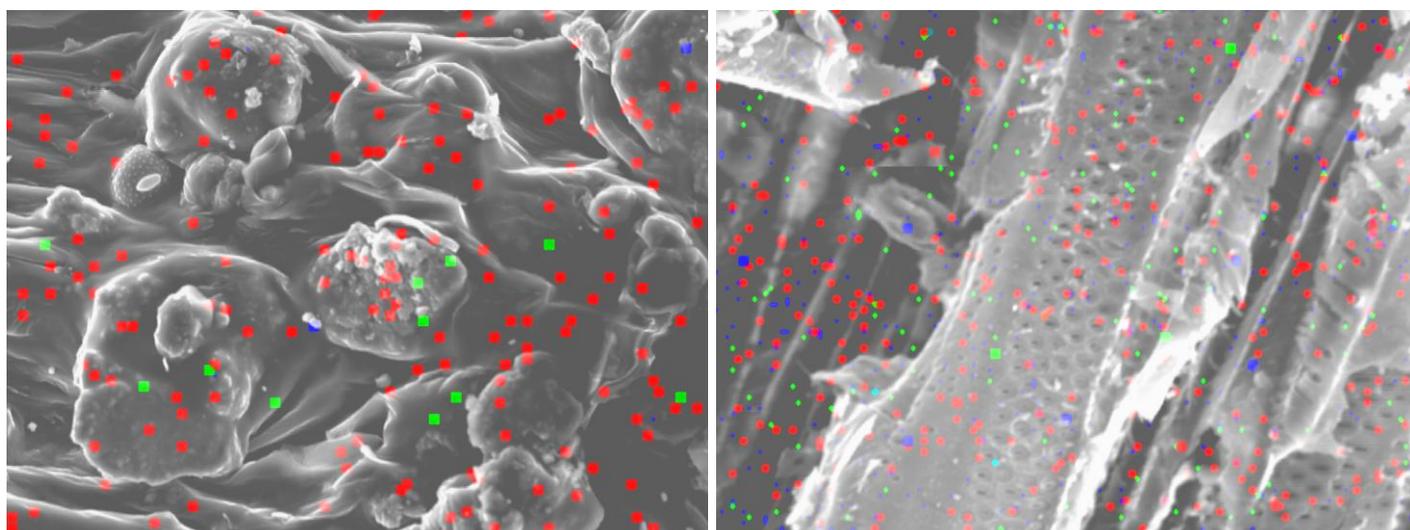
Raíz *Helichrysum decumbens* (Lag) Camb. Acumulación As. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).



Ditrichia viscosa



Hoja *Ditrichia viscosa*. Acumulación As. Microscopía electrónica de Barrido.



Raíz *Ditrichia viscosa*. Acumulación As. Microscopía electrónica de Barrido

FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa

11. MEDIDAS CORRECTORAS.



Sellado de Balsa



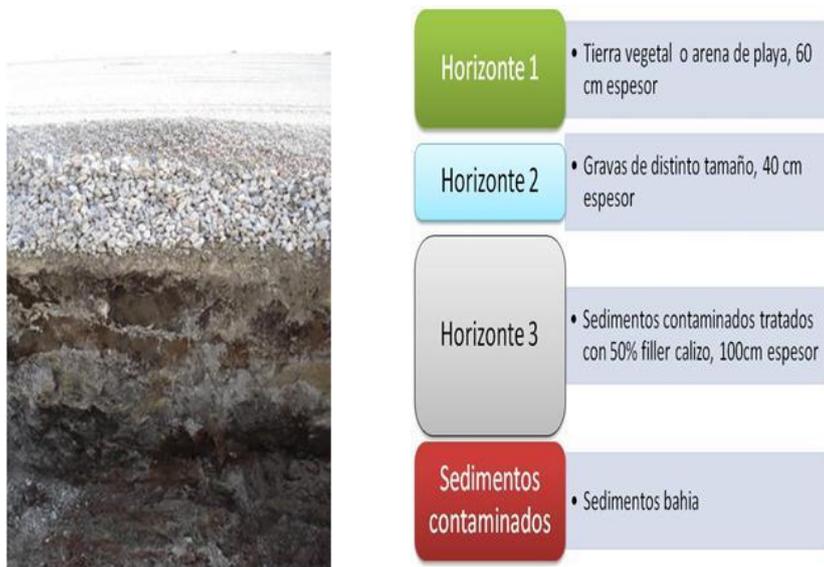
(A) Nivelación de la superficie. (B) Creación de un sistema de drenaje (B). Fuente: Zornoza, R. *et al.*, 2017.



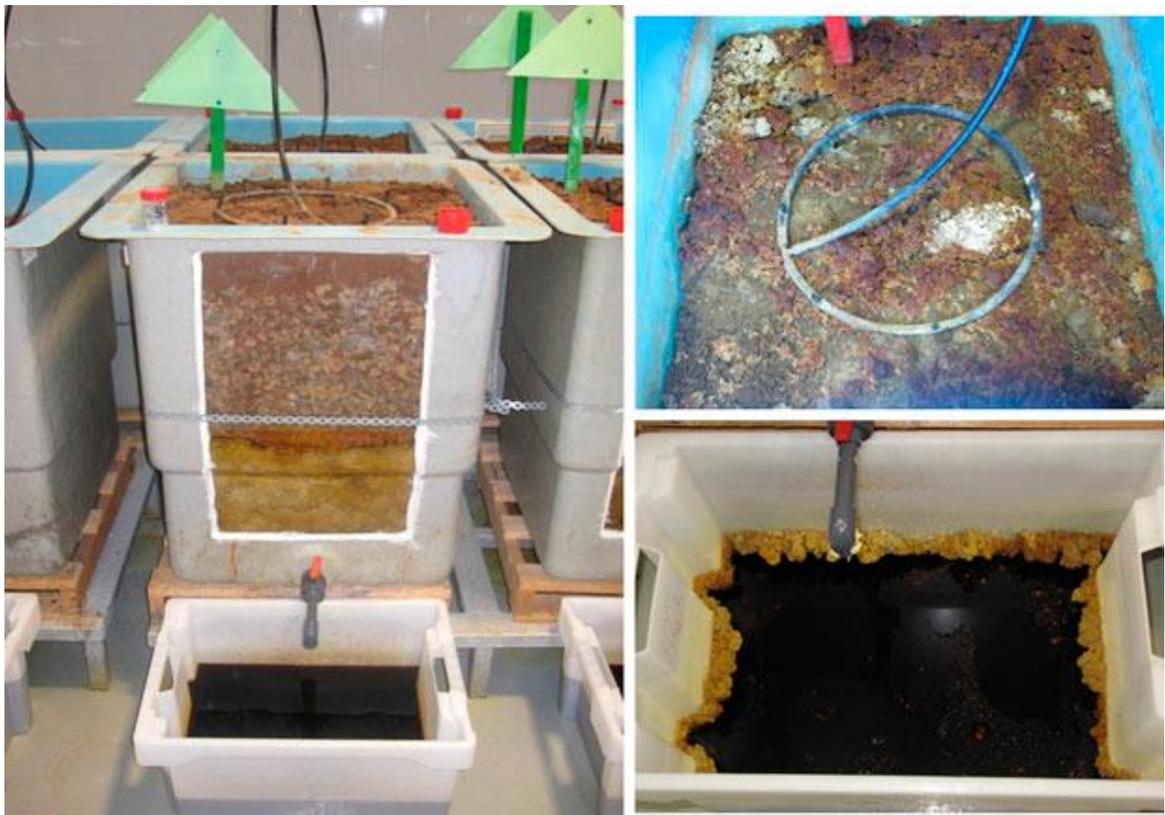
Taludes de los diques de las presas mineras Belleza (el Descargador) y El Lirio. Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Fuente: IGME (2015-2017).



Fuente: LIFE+ Mipolare 2015



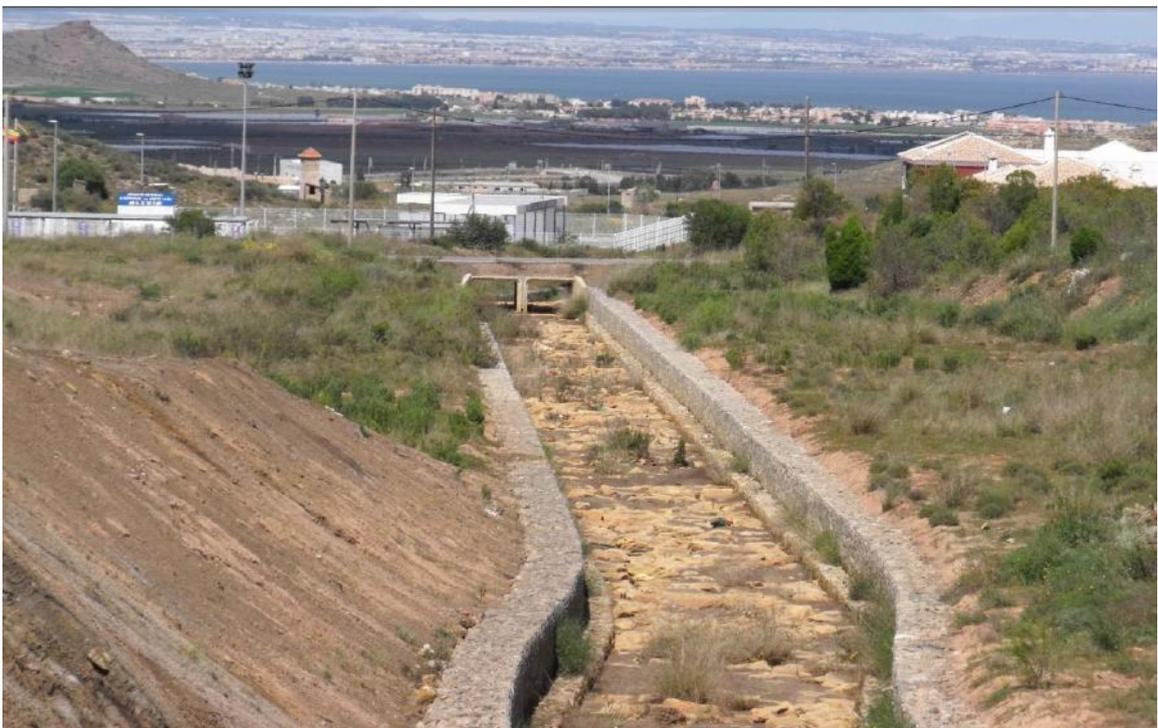
Perfil Tecnosol Parcela experimental Portmán. Fuente: Pérez Sirvent, C., et al., 2015 *Innovación en la gestión e Investigación Ambiental*



Proceso percolación. Fuente: Martínez Sánchez, M.J., et al., 2014



Margenes Rambla del Beal.



Canal de lecho calizo en la rambla de El Beal. Fuente: IGME (2015-2017).



Limpieza y adecuación de Rambla que vierte al Mar Menor. Fuente: Fundación Sierra Minera 2007



ANEXO II. CARTOGRÁFICO

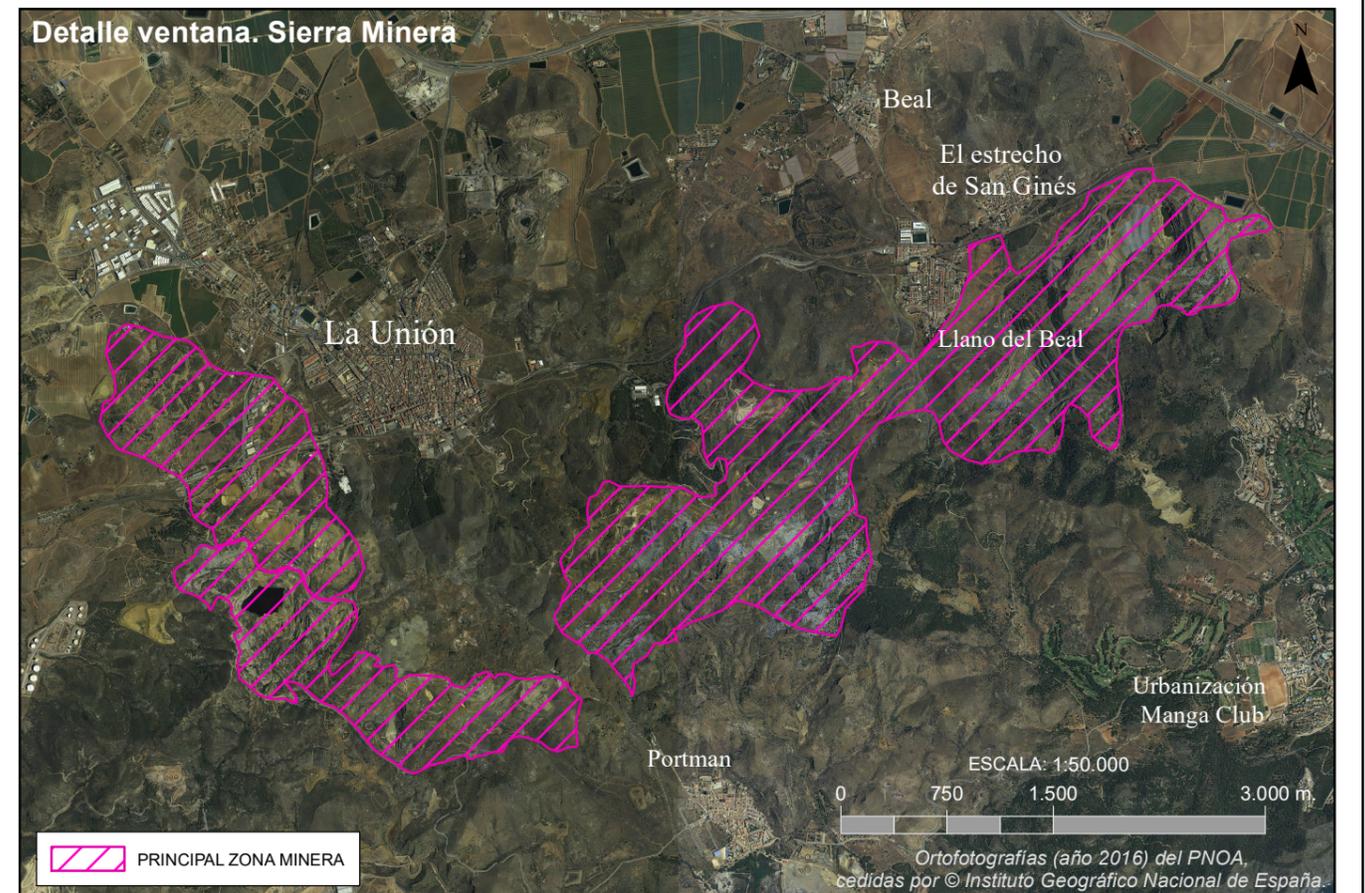
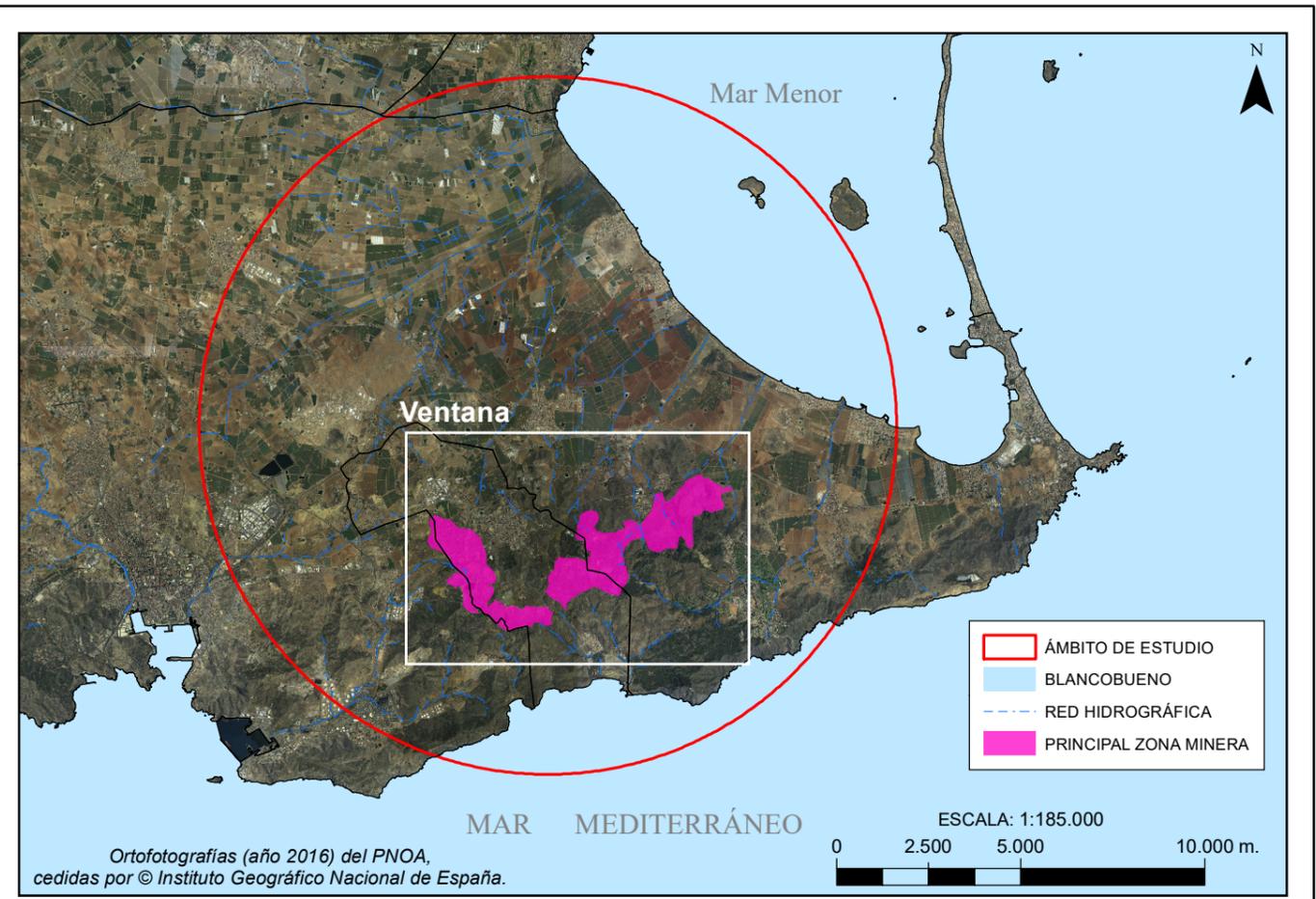
FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa

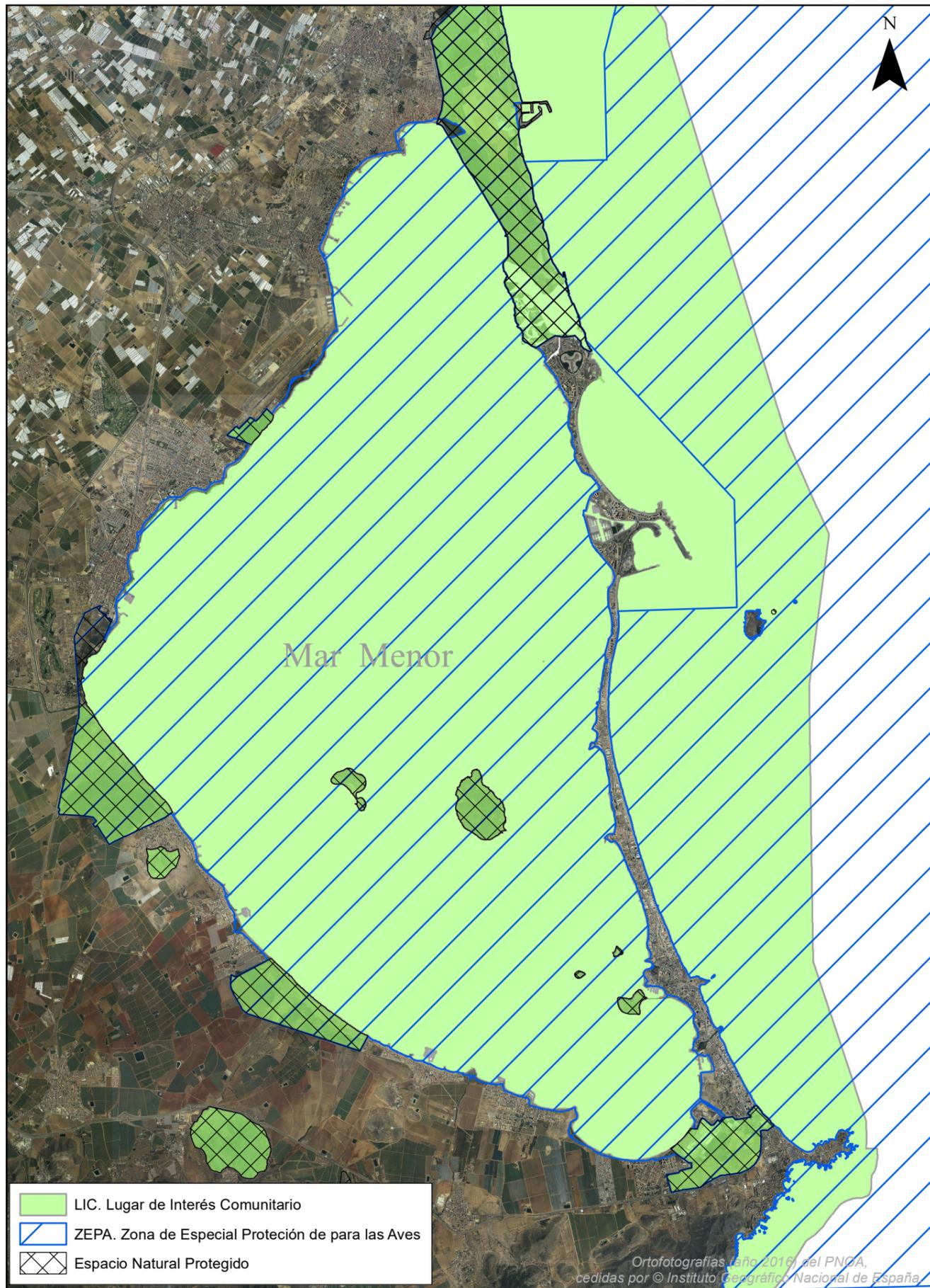
Grupo de Investigación:
Contaminación de suelos
Facultad de Química
Universidad de Murcia
Coordinadora: Salvadora
Martínez López. Doctora por la
Universidad de Murcia
ABRIL 2019



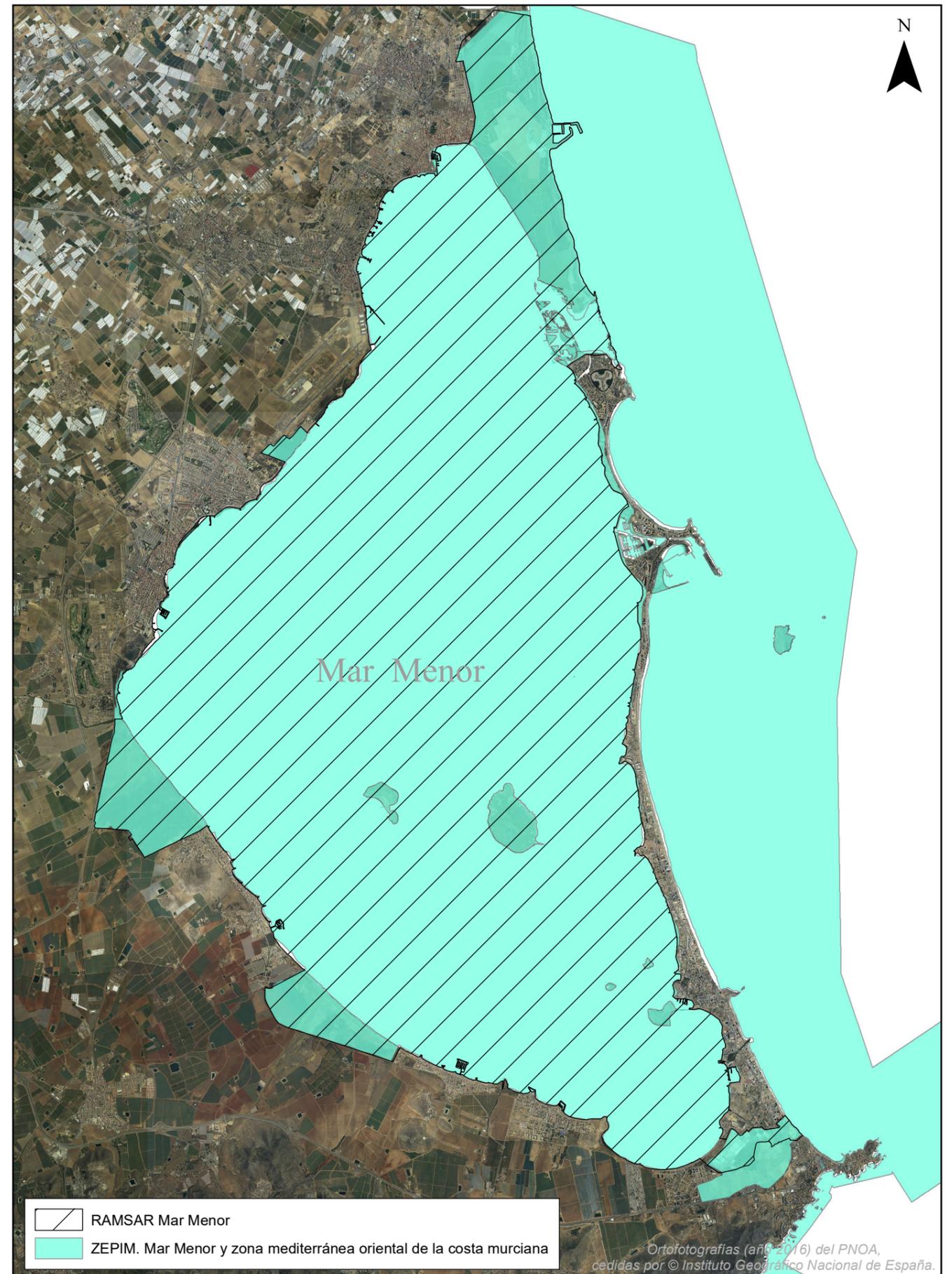
Unión Europea



ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR	PROMOTOR:  Región de Murcia  Unión Europea FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL <i>Una manera de hacer Europa</i>	AUTOR DEL PLANO: M ^a del Carmen Gómez Martínez  LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES	TÍTULO DEL PLANO: LOCALIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO. S ^a MINERA Y CUENCA VERTIENTE AL MAR MENOR	ESCALA: VARIAS	FECHA: ABRIL 2019	Nº PLANO: 1
--	---	---	--	-------------------	----------------------	----------------



-  LIC. Lugar de Interés Comunitario
-  ZEPA. Zona de Especial Protección de para las Aves
-  Espacio Natural Protegido



-  RAMSAR Mar Menor
-  ZEPIM. Mar Menor y zona mediterránea oriental de la costa murciana

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:

 Región de Murcia

 Unión Europea
 FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
 Una manera de hacer Europa

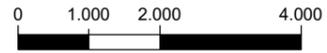
AUTOR DEL PLANO:
 M^a del Carmen
 Gómez Martínez

 LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

UNIVERSIDAD DE MURCIA

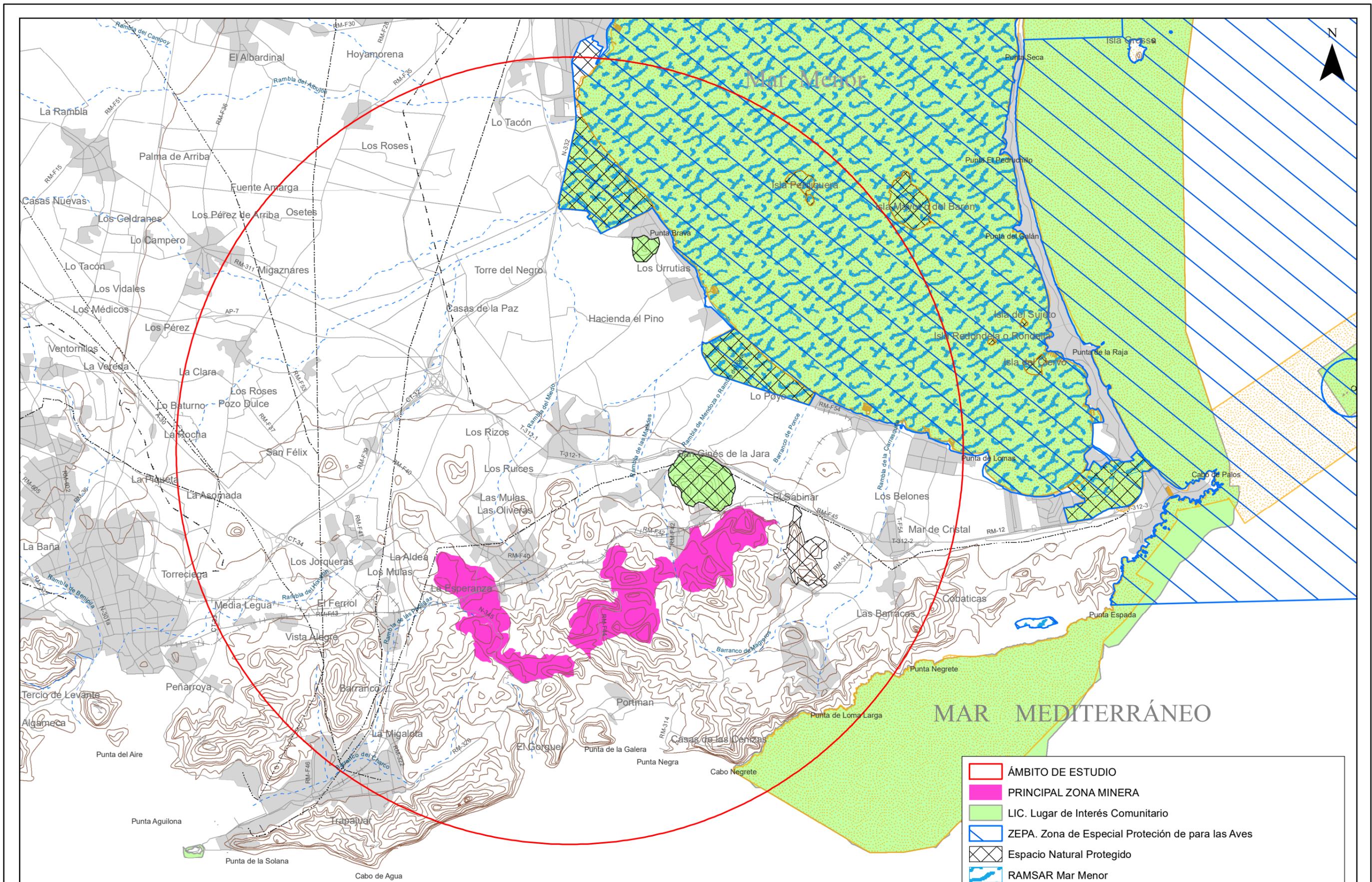
 CAMPUS MARE NOSTRUM
 DE INVESTIGACIONES MARITIMAS Y COSTERAS

TÍTULO DEL PLANO:
 ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS DEL MAR MENOR

ESCALA: 1:100.000


FECHA:
 ABRIL 2019

Nº PLANO:
 2



- ÁMBITO DE ESTUDIO
- PRINCIPAL ZONA MINERA
- LIC. Lugar de Interés Comunitario
- ZEPA. Zona de Especial Protección de para las Aves
- Espacio Natural Protegido
- RAMSAR Mar Menor
- ZEPIM. Mar Menor y zona mediterránea oriental de la costa murciana

Base Topográfica Nacional a escala 1:100.000.
cedida por © Instituto Geográfico Nacional de España.

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:

FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
Una manera de hacer Europa

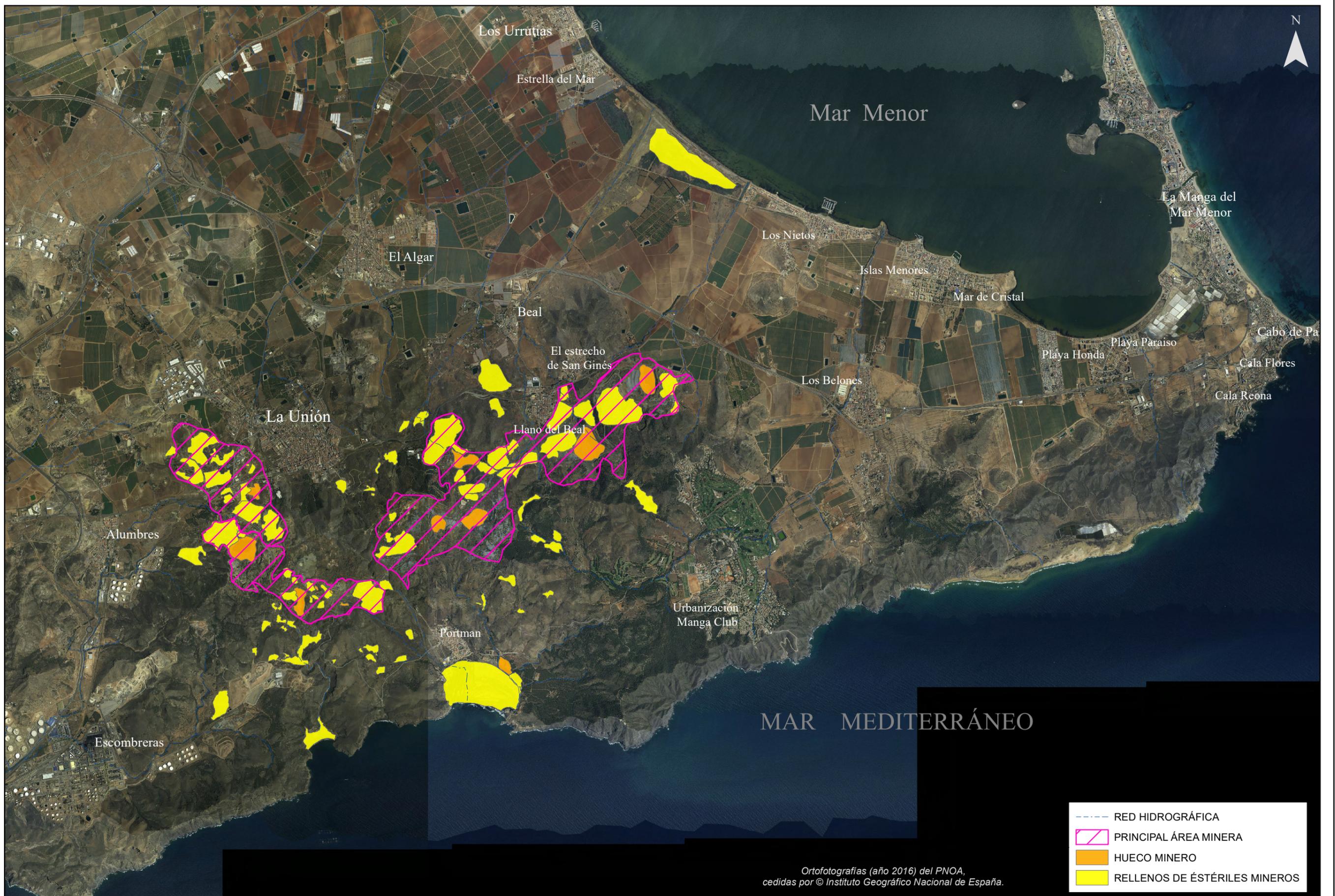
AUTOR DEL PLANO:

Mª del Carmen Gómez Martínez
LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

TÍTULO DEL PLANO:
ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS DEL MAR MENOR. ÁMBITO DE ESTUDIO

ESCALA: 1:85.000

FECHA: ABRIL 2019
Nº PLANO: 3



--- RED HIDROGRÁFICA
 PRINCIPAL ÁREA MINERA
 HUECO MINERO
 RELLENOS DE ÉSTÉRILES MINEROS

Ortofotografías (año 2016) del PNOA, cedidas por © Instituto Geográfico Nacional de España.

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:




FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
Una manera de hacer Europa

AUTOR DEL PLANO:

M^a del Carmen Gómez Martínez




CAMPUS MARE NOSTRUM

LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

TÍTULO DEL PLANO:

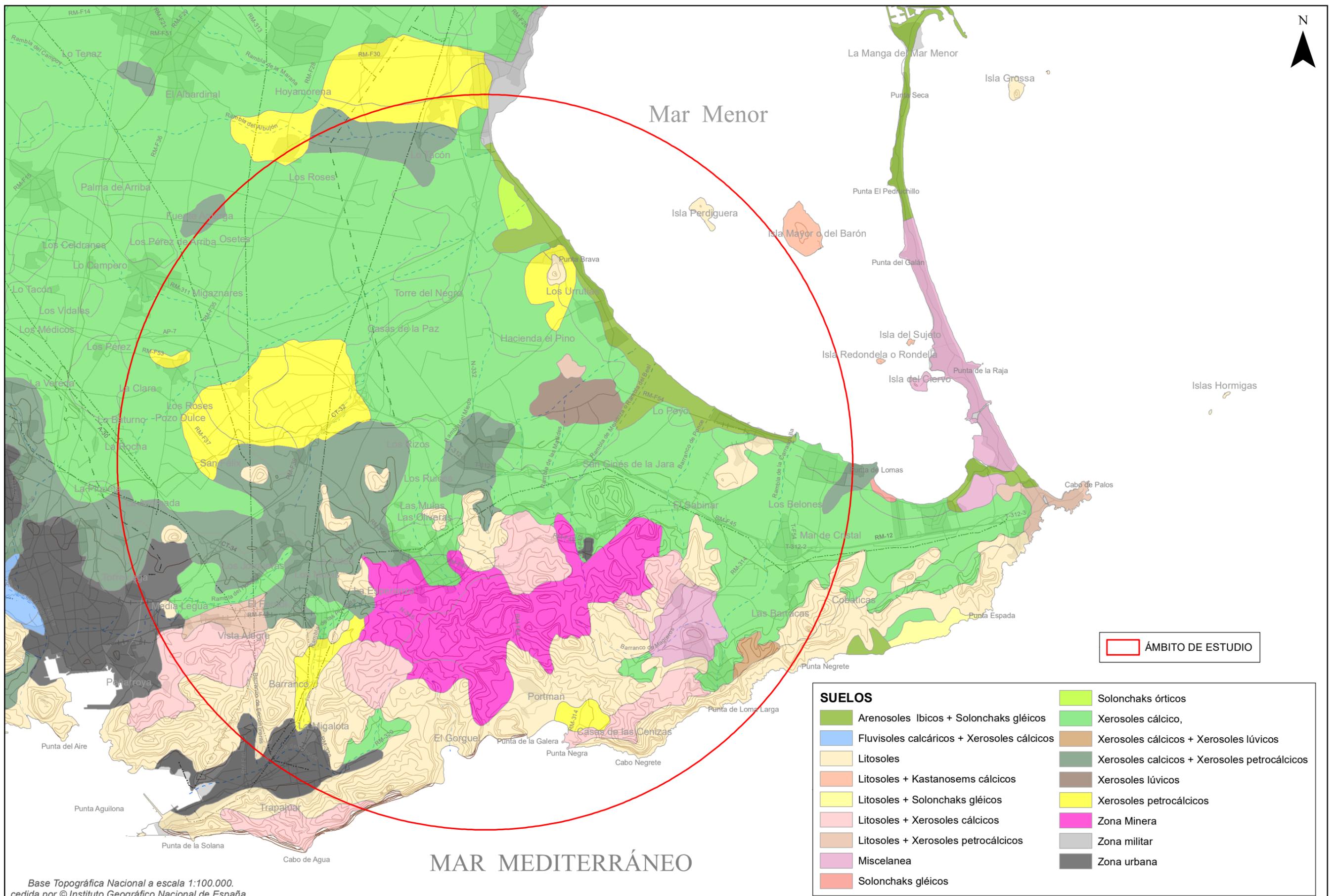
BALSAS Y DEPÓSITOS DE ESTÉRILES MINEROS

ESCALA: 1:55.000



FECHA: ABRIL 2019

Nº PLANO: 4



ÁMBITO DE ESTUDIO

SUELOS	
	Solonchaks órticos
	Xerosoles cálcico,
	Fluvisoles calcáricos + Xerosoles cálcicos
	Xerosoles cálcicos + Xerosoles lúvicos
	Litosoles
	Xerosoles calcicos + Xerosoles petrocálcicos
	Litosoles + Kastanosems cálcicos
	Xerosoles lúvicos
	Litosoles + Solonchaks gléicos
	Xerosoles petrocálcicos
	Litosoles + Xerosoles cálcicos
	Litosoles + Xerosoles petrocálcicos
	Miscelanea
	Solonchaks gléicos
	Zona Minera
	Zona militar
	Zona urbana

Base Topográfica Nacional a escala 1:100.000.
cedida por © Instituto Geográfico Nacional de España.

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:

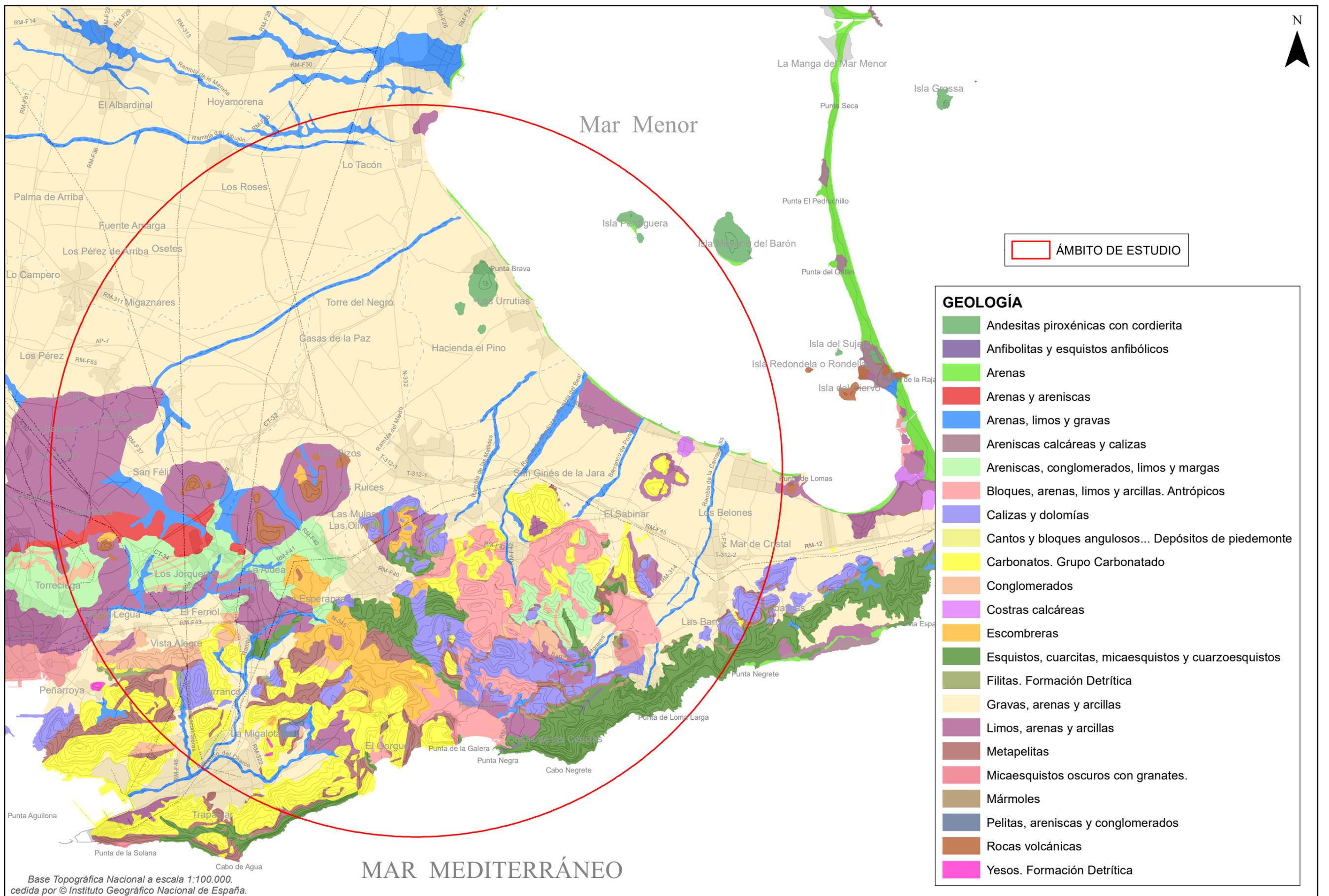
 FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
 Una manera de hacer Europa

AUTOR DEL PLANO:
 M^a del Carmen Gómez Martínez
 LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

TÍTULO DEL PLANO:
 SUELOS DE LA SIERRA MINERA Y MAR MENOR

ESCALA: 1:90.000

FECHA: ABRIL 2019
 N° PLANO: 5



ÁMBITO DE ESTUDIO

GEOLOGÍA

- Andesitas piroxénicas con cordierita
- Anfibolitas y esquistos anfibólicos
- Arenas
- Arenas y areniscas
- Arenas, limos y gravas
- Areniscas calcáreas y calizas
- Areniscas, conglomerados, limos y margas
- Bloques, arenas, limos y arcillas. Antrópicos
- Calizas y dolomías
- Cantos y bloques angulosos... Depósitos de piedemonte
- Carbonatos. Grupo Carbonatado
- Conglomerados
- Costras calcáreas
- Escombreras
- Esquistos, cuarcitas, micaesquistos y cuarzoesquistos
- Filitas. Formación Detrítica
- Gravas, arenas y arcillas
- Limos, arenas y arcillas
- Metapelitas
- Micaesquistos oscuros con granates.
- Mármoles
- Pelitas, areniscas y conglomerados
- Rocas volcánicas
- Yesos. Formación Detrítica

Base Topográfica Nacional a escala 1:100.000.
cedida por © Instituto Geográfico Nacional de España.

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:

Región de Murcia
FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
Una manera de hacer Europa

AUTOR DEL PLANO:

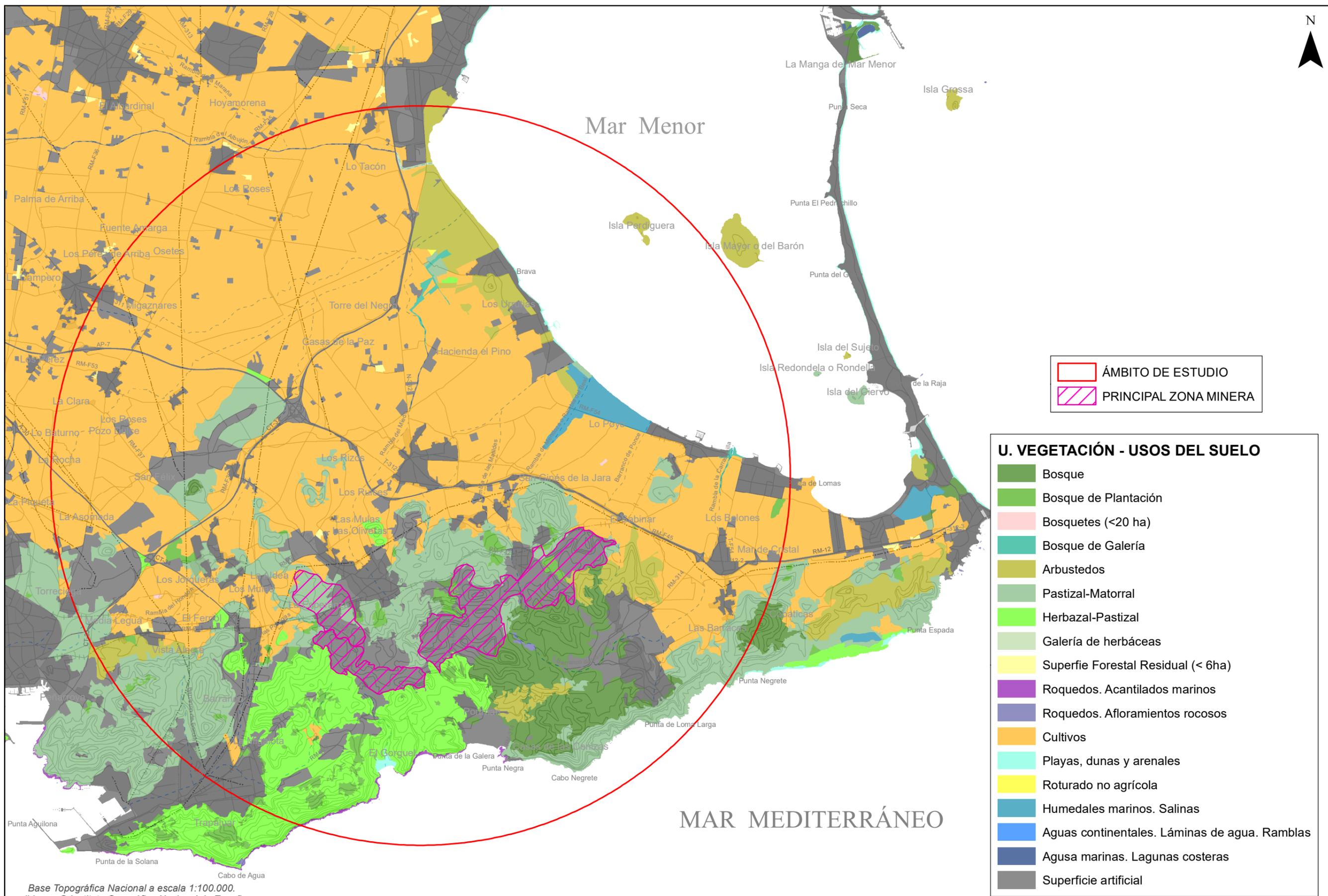
Mª del Carmen Gómez Martínez
LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

UNIVERSIDAD DE MURCIA
CAMPUS MARE NOSTRUM

TÍTULO DEL PLANO:
GEOLOGÍA DE LA SIERRA MINERA Y MAR MENOR

ESCALA: 1:90.000

FECHA: ABRIL 2019
Nº PLANO: 6



 ÁMBITO DE ESTUDIO
 PRINCIPAL ZONA MINERA

- U. VEGETACIÓN - USOS DEL SUELO**
- Bosque
 - Bosque de Plantación
 - Bosquetes (<20 ha)
 - Bosque de Galería
 - Arbustedos
 - Pastizal-Matorral
 - Herbazal-Pastizal
 - Galería de herbáceas
 - Superficie Forestal Residual (< 6ha)
 - Roquedos. Acantilados marinos
 - Roquedos. Afloramientos rocosos
 - Cultivos
 - Playas, dunas y arenales
 - Roturado no agrícola
 - Humedales marinos. Salinas
 - Aguas continentales. Láminas de agua. Ramblas
 - Agua marinas. Lagunas costeras
 - Superficie artificial

Base Topográfica Nacional a escala 1:100.000.
cedida por © Instituto Geográfico Nacional de España.

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:

 Región de Murcia
 Consejería Empleo, Universidades, Empresa y Medio Ambiente
 Dirección General de Medio Ambiente y Mar Menor

AUTOR DEL PLANO:
 M^a del Carmen
 Gómez Martínez

 LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

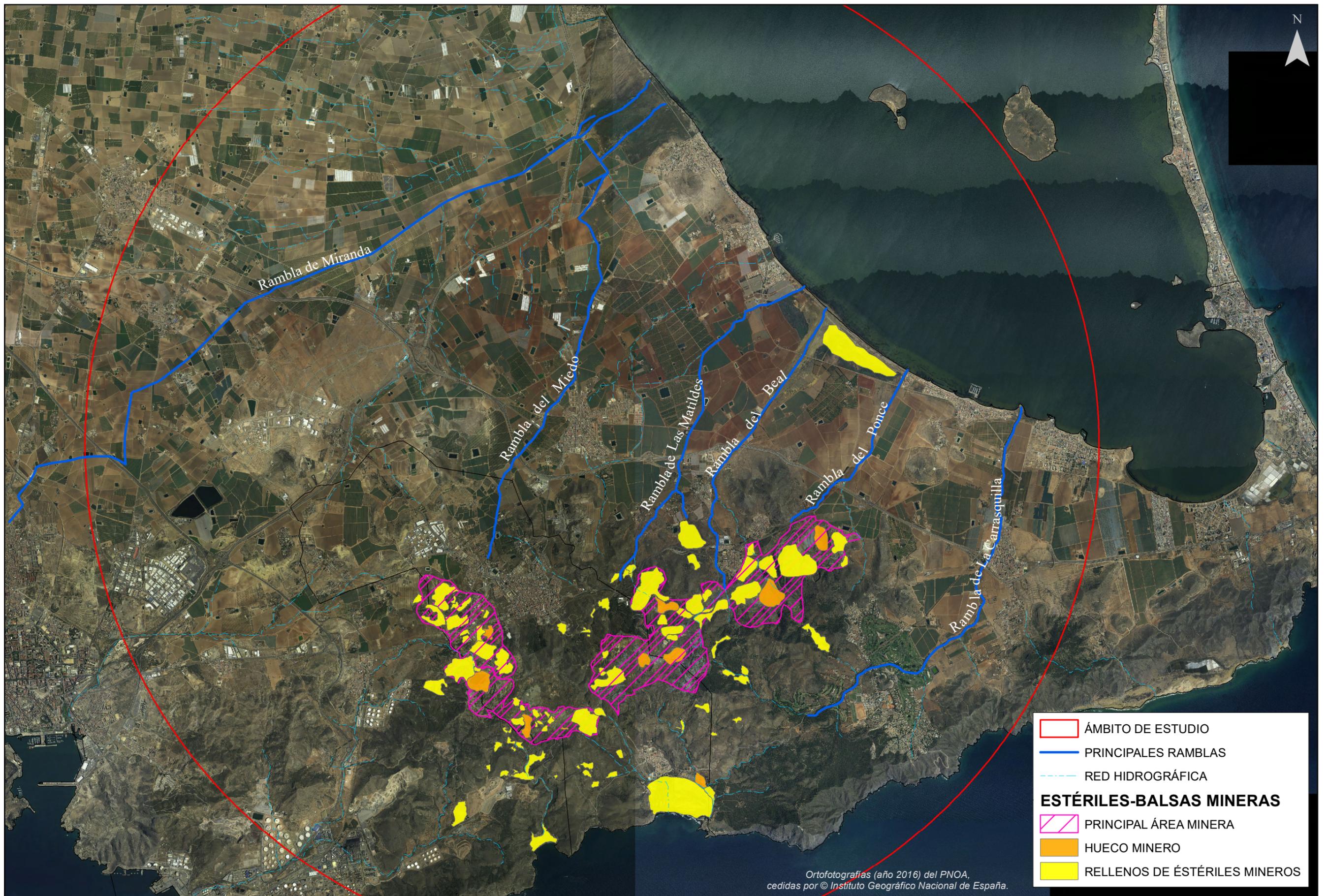
UNIVERSIDAD DE MURCIA

 CAMPUS MARE NOSTRUM

TÍTULO DEL PLANO:
 UNIDADES DE VEGETACIÓN - USOS DEL SUELO
 EN LA SIERRA MINERA Y MAR MENOR

ESCALA: 1:90.000


FECHA:
 ABRIL 2019
 N° PLANO:
 7



ÁMBITO DE ESTUDIO
 PRINCIPALES RAMBLAS
 RED HIDROGRÁFICA
ESTÉRILES-BALSAS MINERAS
 PRINCIPAL ÁREA MINERA
 HUECO MINERO
 RELLENOS DE ÉSTÉRILES MINEROS

Ortofotografías (año 2016) del PNOA, cedidas por © Instituto Geográfico Nacional de España.

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:

FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
Una manera de hacer Europa

AUTOR DEL PLANO:

M^o del Carmen Gómez Martínez

LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

TÍTULO DEL PLANO:
PRINCIPALES RAMBLAS DE LA SIERRA MINERA QUE TRIBUTAN AL MAR MENOR

ESCALA: 1:65.000

FECHA: ABRIL 2019
Nº PLANO: 8



1. Desembocadura Rbla. del Beal



3. Parte alta de la Sª Minera, cerca de la autovía



4. Al Sur del núcleo de población de El Beal



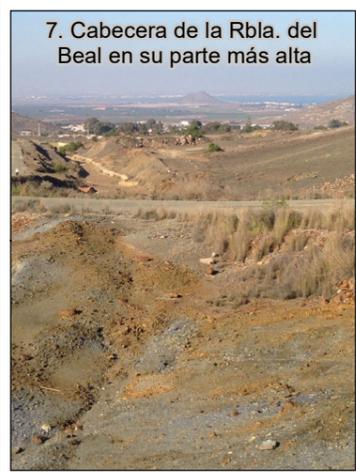
5. Al Sur del núcleo de población de El Beal



1. Desembocadura Rbla. del Beal



3. Parte alta de la Sª Minera, cerca de la autovía



7. Cabecera de la Rbla. del Beal en su parte más alta



6. Cabecera Rbla. del Beal



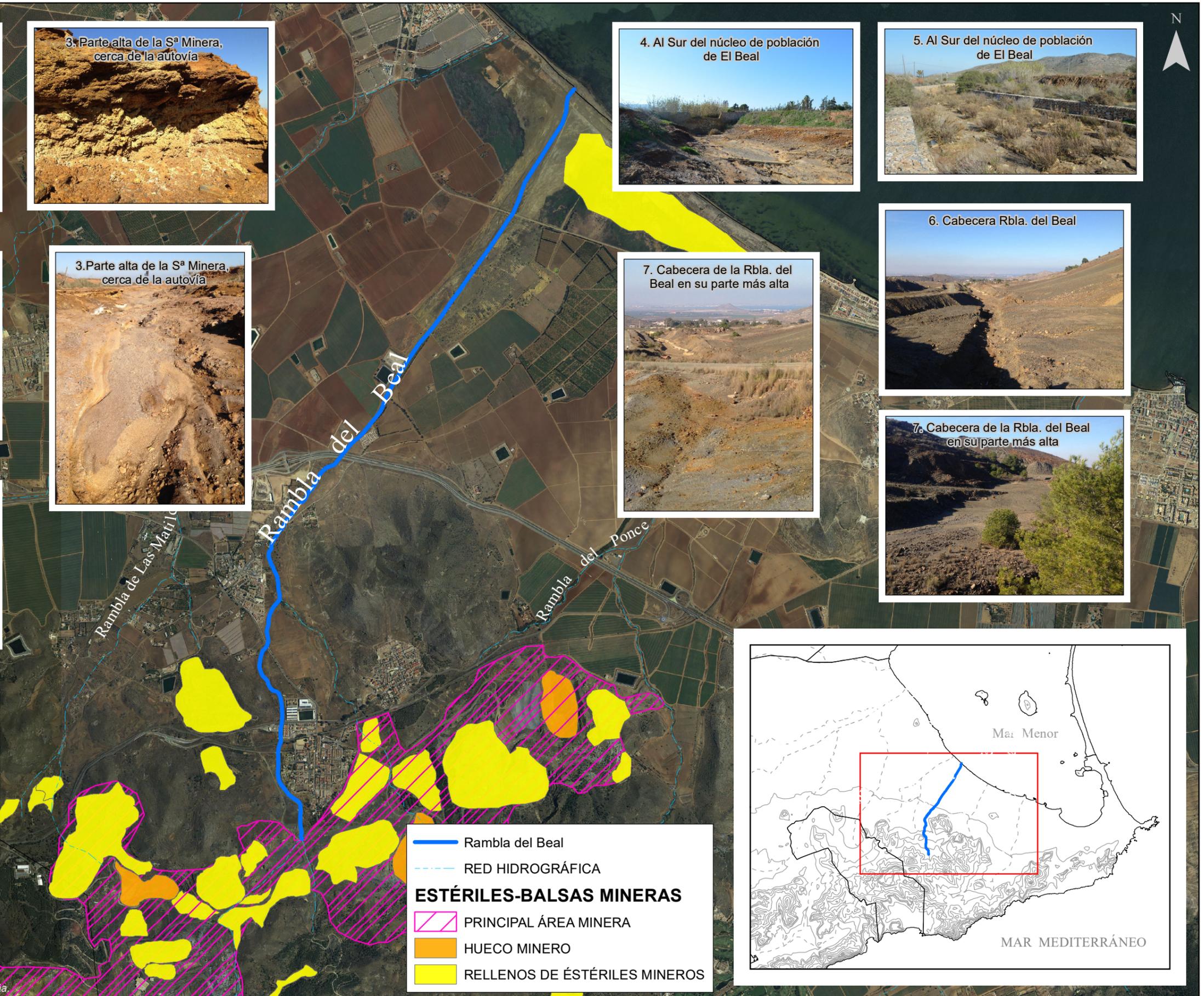
7. Cabecera de la Rbla. del Beal en su parte más alta



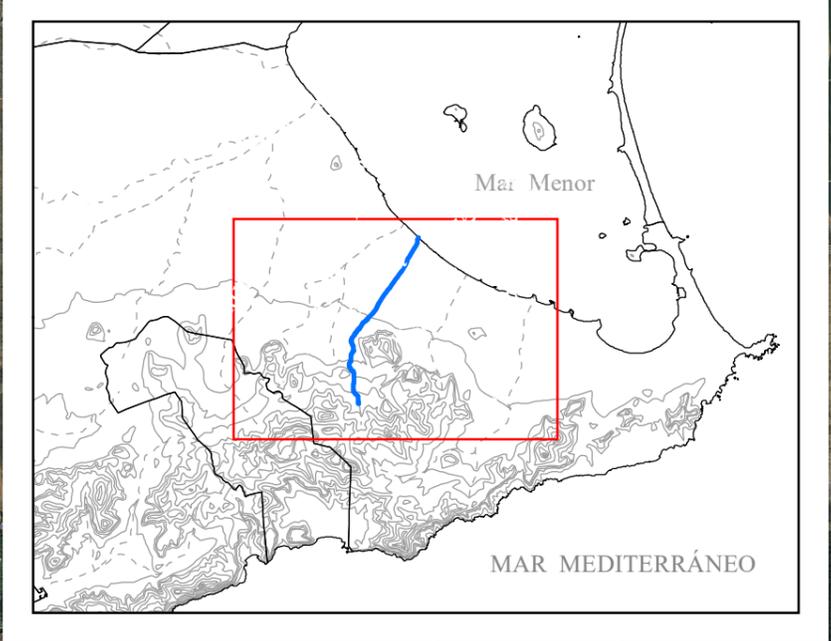
2. Próximo de Lo Poyo, antes de la desembocadura



2. Próximo de Lo Poyo, antes de la desembocadura



- Rambla del Beal
- RED HIDROGRÁFICA
- ESTÉRILES-BALSAS MINERAS**
- PRINCIPAL ÁREA MINERA
- HUECO MINERO
- RELLENOS DE ÉSTÉRILES MINEROS



Ortofotografías (año 2016) del PNOA, cedidas por © Instituto Geográfico Nacional de España.

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:

FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
Una manera de hacer Europa

AUTOR DEL PLANO:

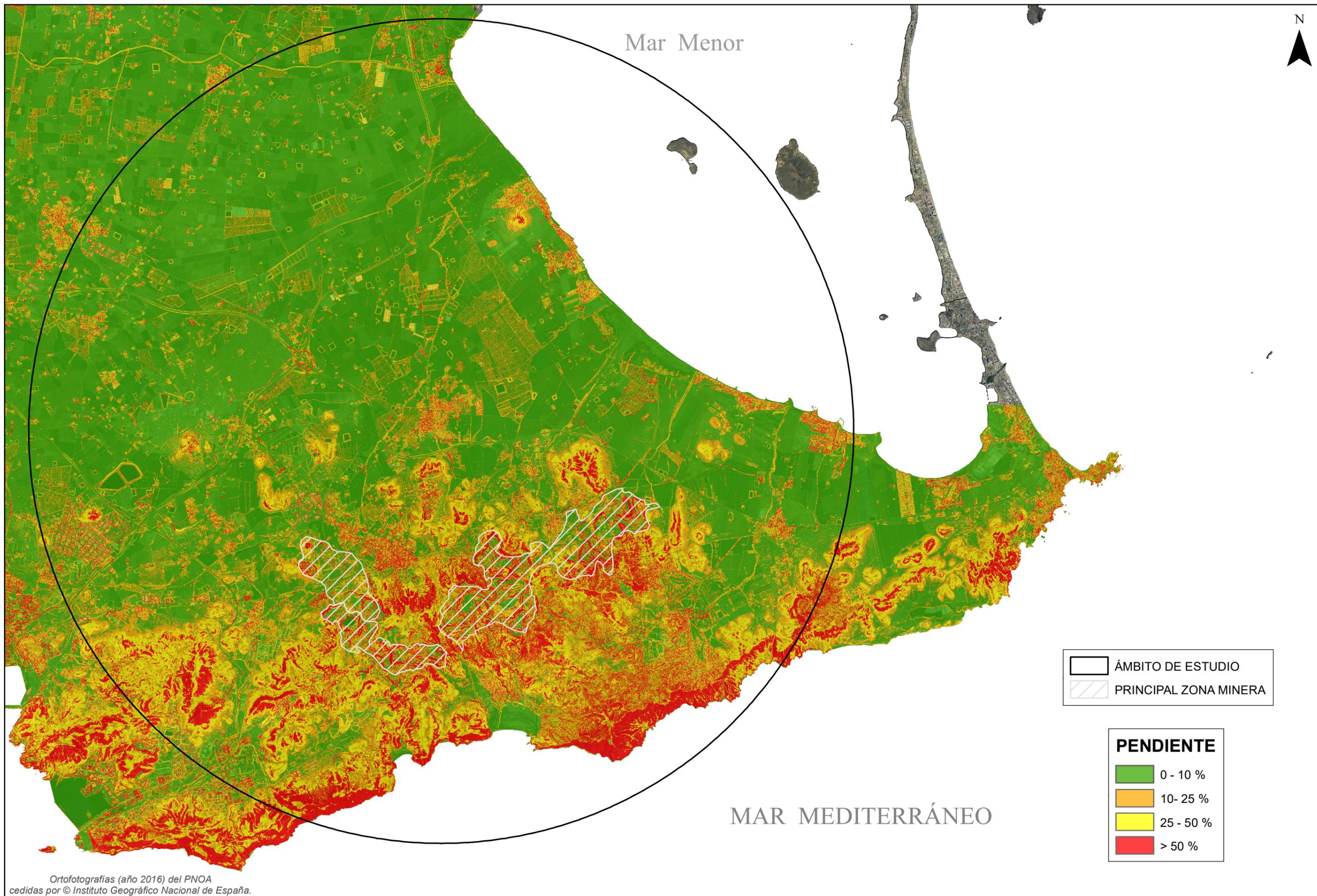
Mª del Carmen Gómez Martínez

LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

TÍTULO DEL PLANO:
RAMBLA DEL BEAL

ESCALA: 1:27.000

FECHA: ABRIL 2019
Nº PLANO: 9



Ortofotografías (año 2016) del PNOA cedidas por © Instituto Geográfico Nacional de España.

 ÁMBITO DE ESTUDIO
 PRINCIPAL ZONA MINERA

PENDIENTE

-  0 - 10 %
-  10- 25 %
-  25 - 50 %
-  > 50 %

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:

 Región de Murcia

 Unión Europea
 FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
 Una manera de hacer Europa

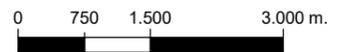
AUTOR DEL PLANO:
 M^º del Carmen Gómez Martínez

 LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

 UNIVERSIDAD DE MURCIA

 CAMPUS MARE NOSTRUM

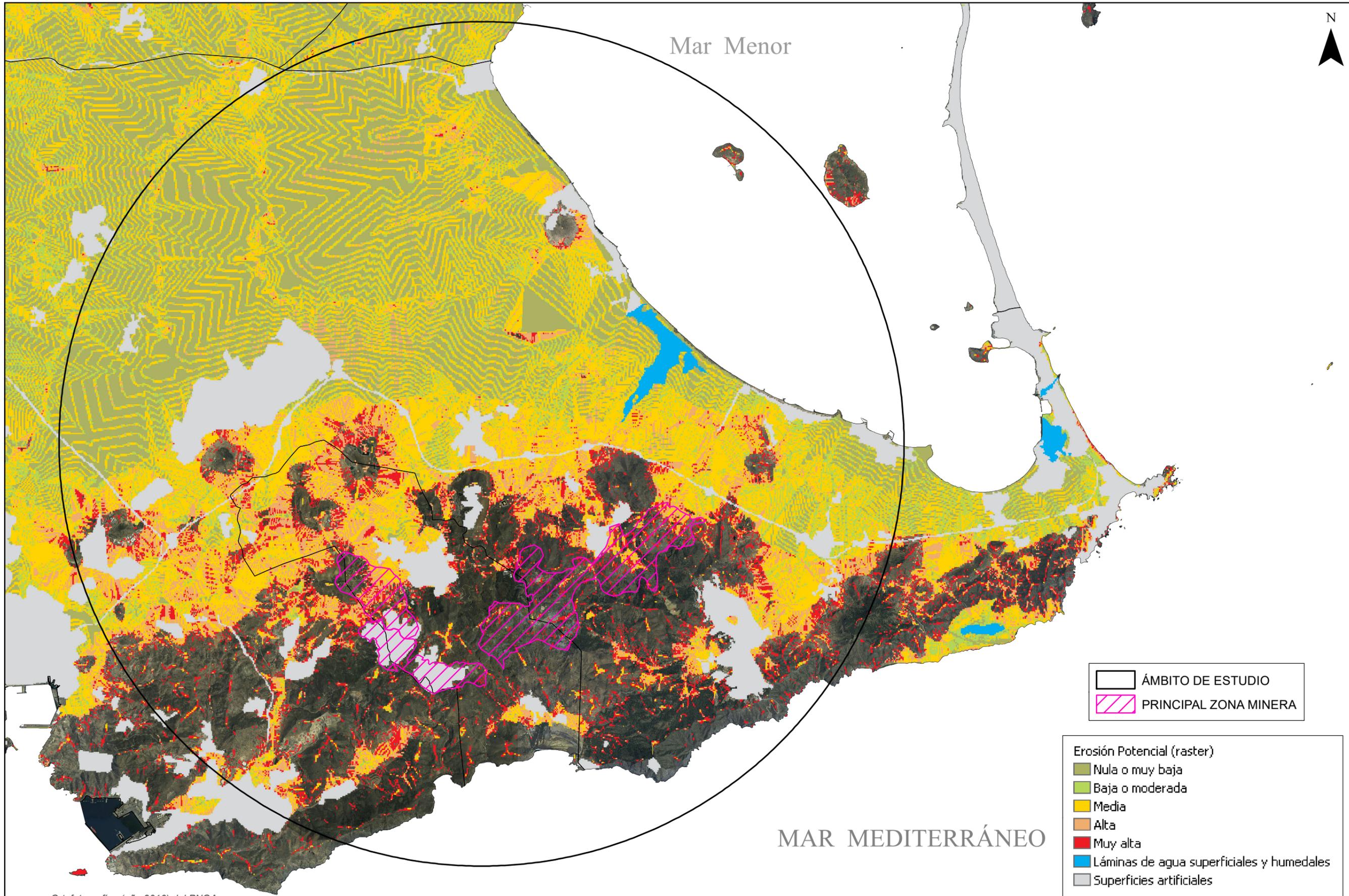
TÍTULO DEL PLANO:
 PENDIENTES EN LA SIERRA MINERA Y MAR MENOR

ESCALA: 1:80.000


FECHA:
 ABRIL 2019
 Nº PLANO:
 10

Mar Menor

N



 ÁMBITO DE ESTUDIO
 PRINCIPAL ZONA MINERA

Erosión Potencial (raster)

-  Nula o muy baja
-  Baja o moderada
-  Media
-  Alta
-  Muy alta
-  Láminas de agua superficiales y humedales
-  Superficies artificiales

Ortofotografías (año 2016) del PNOA cedidas por © Instituto Geográfico Nacional de España.

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES, ESTUDIOS, PUBLICACIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION INICIADAS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES, UNIVERSIDADES Y OTROS ORGANISMOS CIENTIFICOS SOBRE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA-LA UNION Y SUS EFECTOS EN EL MAR MENOR

PROMOTOR:

 Región de Murcia

 Unión Europea
 FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
 Una manera de hacer Europa

AUTOR DEL PLANO:
 M^º del Carmen Gómez Martínez

 LCDA. CIENCIAS AMBIENTALES

 UNIVERSIDAD DE MURCIA

 CAMPUS MARE NOSTRUM

TÍTULO DEL PLANO:
 RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL DE LA SIERRA MINERA Y EL MAR MENOR

ESCALA: 1:80.000


FECHA:
 ABRIL 2019
 N^º PLANO:
 11