

CONTAMINACIÓN POR EROSIÓN EÓLICA E HÍDRICA DE LAS ÁREAS LIMÍTROFES A LA ANTIGUA ZONA MINERA DE LA UNIÓN – CARTAGENA

Asunción Romero Díaz¹
Gregorio García Fernández²

RESUMEN

El área minera de Cartagena – La Unión ha sido objeto de una intensa explotación desde hace más de 2.500 años. En época reciente, en la segunda mitad de siglo XIX y primera del siglo XX la actividad minera se realizó mediante galerías subterráneas, pero durante la segunda mitad del siglo XX la explotación se llevó a cabo a cielo abierto, con un importante movimiento de tierras, cifrado en más de 360 millones de toneladas, de las que 315 corresponden a residuos.

En la actualidad, la actividad minera está inactiva, pero existen enormes cantidades de desechos de mineral (pirita, galena y blenda), que por sus características inestables y tamaño de partículas son fácilmente movilizables, tanto por la acción del viento como por las aguas de escorrentía. Los contenidos en metales pesados de estos residuos, especialmente de cinc y plomo, los convierten en posibles contaminantes de la atmósfera y los suelos de las áreas colindantes.

1 Departamento de Geografía. Facultad de Letras. Universidad de Murcia. Campus de La Merced, 30.001-Murcia. E-mail: arodi@um.es.

2 Área de Edafología y Química Agrícola, Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria. Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo de Alfonso XIII, 48, 30203 – Cartagena. E-mail: greogorio.garcia@upct.es

Con el presente trabajo se ha pretendido evaluar la cantidad de material movi-
lizado por el viento y el agua, mediante colectores adecuados para ambos agentes
erosivos (erosión eólica e hídrica) y determinar la cantidad de metales pesados que
son transportados por el viento o arrastrados por las aguas de escorrentía.

ABSTRACT

The mining area of Cartagena – La Unión has been object of an intense exploi-
tation for more than 2,500 years. In recent time in the second half of the XIX cen-
tury and the first of the XIX century mining activity was realized by underground
galleries, but during second half of the XX century the exploitation was carried out
to opencast, with an important earthwork, summarized in more than 360 million
tons, of which 315 correspond to remainders.

At the present time, the mining activity is inactive, but enormous amounts of
mineral wastes exist (pyrite, galena and blende), that by their unstable characteristics
and size of particles are easily mobilized, as much by the action of the wind like
by the run-off waters. The heavy mineral contents of these remainders, specially
of zinc and lead, are turned into possible polluting agents of the atmosphere and
grounds of the adjacent areas.

It is tried to evaluate the amount of mobilized material by the wind and the
water, through collectors adapted for both erosive agents (aeolian and water erosion)
and to determine the amount of heavy metals that are transported by the wind or
run-off waters.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Modos de extracción del mineral y sus consecuencias

La extracción minera de la Sierra de Cartagena comenzó hace mas de 2.500 años,
no obstante su máxima actividad se data desde 1840 a noviembre de 1991, fecha en
la que tuvo lugar el cierre definitivo de las explotaciones.

Si nos centramos en la época más reciente (1840-1991), se sucedieron distintas
etapas, ritmos y modos de explotación. La actividad minera llevada a cabo en esta
área, como es lógico, tuvo importantes consecuencias socio-económicas, pero también
notables efectos medio-ambientales y paisajísticos, que en la actualidad no pasan
desapercibidos y que requieren innumerables estudios y actuaciones para minimizar,
en lo posible, sus efectos.

El paisaje minero que podemos observar en la actualidad es resultado de la
extracción del mineral en el último siglo y medio, pero en él se pueden diferenciar
dos fases con diferentes impactos paisajísticos y medioambientales: (1) la minería
antigua y (2) la reciente (Gómez Fayren *et al.*, 1985; Vilar y Egea Bruno, 1994).

(1) La minería antigua, que abarcó casi un siglo, desde mediados del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, estuvo basada en la explotación subterránea. Las formas resultantes proceden esencialmente de la acumulación de estériles que hoy se asocian a pequeños relieves de color ocre – rojizo. Junto a ellas aparecen antiguas canteras a cielo abierto rodeadas de material estéril y restos de filones hoy cubiertos de revegetación, grutas, galerías y pozos, construidos unas veces para la extracción del mineral y otras para el desagüe de galerías inundadas. El número de pozos inventariado recientemente es de 1.902 pozos (García *et al.*, 2001). Los lavaderos de mineral han dejado también su huella en las balsas de flotación y las labores de fundición en los restos de chimeneas y escorias.

(2) En el periodo de la minería reciente, segunda mitad del siglo XX, la explotación se realizó a cielo abierto, lo cual supuso un impacto muy superior en el paisaje al de la época anterior y de manera mucho más rápida. En determinadas áreas ha tenido lugar una inversión del relieve, las montañas y colinas profundamente excavadas son ahora depresiones; y los lugares deprimidos, por la acumulación de estériles en ellos, tienen cotas mucho más elevadas que las originales. Por otro lado, las ramblas, vertientes al Mar Menor, se convirtieron en colectores de estériles, cegándose algunas de ellas. Para dar idea de la magnitud del impacto ambiental que la minería produjo en la sierra de Cartagena baste señalar que entre 1957 y 1987 el movimiento de tierras

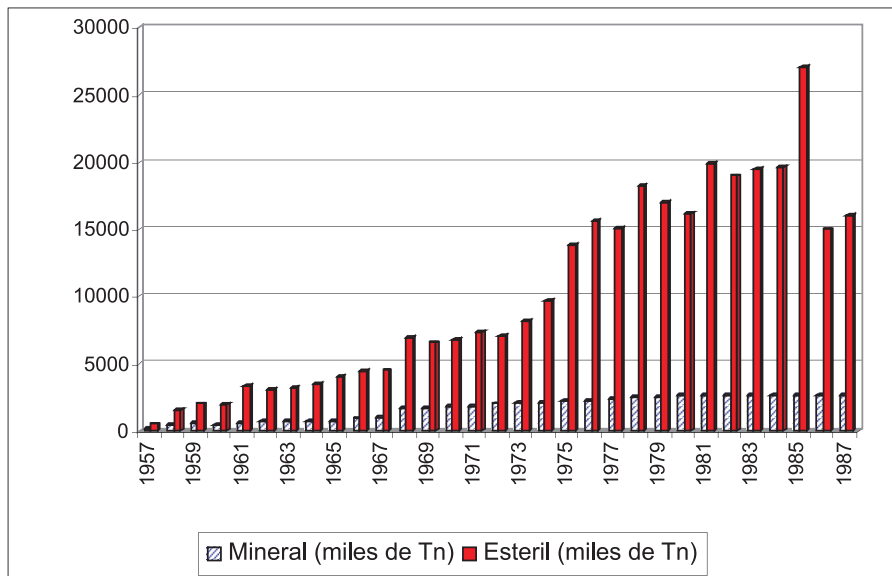


FIGURA 1: Movimientos de tierras (mineral y estériles) en las explotaciones de la sierra minera por la sociedad Peñarroya. Fuente: S.M.M. Peñarroya España, S.A.

efectuado por la firma Peñarroya - España superó los 360 millones de toneladas, de las que cerca de 315 correspondieron a residuos (Figura 1).

Sin duda, el mayor desastre ambiental de esta minería lo constituye el completo aterramiento de la bahía de Portman, a la que se vertieron los desechos del Lavadero Roberto desde 1957 a 1990. En 33 años se vertieron al Mediterráneo 60 millones de toneladas de residuos sólidos, equivalentes a unos 33 millones de metros cúbicos (Figura 2). Como consecuencia de estos vertidos la línea de playa se había retirado 700 metros en el eje central de la bahía, mientras en el fondo marino los sedimentos llegaban hasta 12 Km mar adentro a profundidades de más de 150 m y en la bahía, 750.000 metros cuadrados de mar acabaron sepultados de estériles (Figura 3).

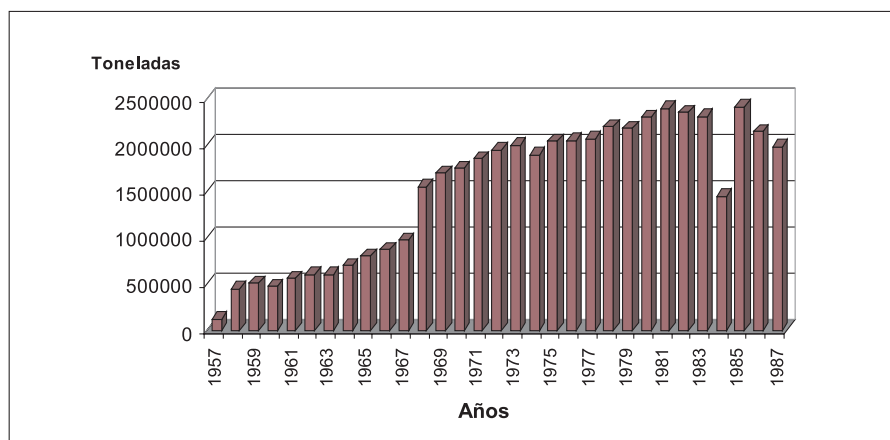


FIGURA 2: Estériles mineros vertidos a la Bahía de Portman. Fuente: S.M.M. Peñarroya España, S.A.

La extracción a cielo abierto del mineral ha generado la existencia de grandes áreas afectadas por contaminación de metales pesados, especialmente de cinc y plomo, siendo posiblemente unas de las zonas españolas más afectadas por la actividad minera. La alta erosionabilidad de los materiales aquí existentes (tanto por erosión hídrica como por erosión eólica) y su riqueza en metales pesados, hacen de este lugar un espacio de alto riesgo para las poblaciones cercanas o que se encuentran totalmente inmersas en la zona minera.



FIGURA 3: Estado actual de la Bahía de Portman, completamente aterrada. Foto: F. Belmonte Serrato.

1.2. Tipología de residuos mineros

En las últimas décadas de actividad minera, el modo de explotación a cielo abierto se realizó mediante cortas, forma de explotación más rentable que la subterránea que se realiza cuando las menas son pobres en mineral. Las operaciones que se llevaban a cabo dentro de la explotación son las habituales de arranque, carga y transporte. Estos cortes y huecos constituyen grandes troncos de cono invertidos excavados en la sierra, que conforman un «paisaje lunar» característico de minería a cielo abierto. Las importantes cantidades de residuos mineros generados se depositaron en escombreras y balsas.

Las escombreras son residuos de estériles generalmente constituidos por fragmentos gruesos que plantean el problema de su deposición y almacenamiento en condiciones adecuadas de estabilidad, seguridad e integración en el entorno. Las escombreras se encuentran en las proximidades de las grandes cortas. Se sitúan sobre laderas, donde el vertido de los materiales se realiza de forma directa y descendente por gravedad, asentándose estos materiales según su propio peso y granulometría. Las escombreras suelen tener un talud de gran pendiente, que es difícil de revegetar por lo abrupto del terreno y la escasa accesibilidad, que dificulta el asentamiento de

una cubierta vegetal, manteniendo un desarrollo incipiente formado por unas pocas especies típicas colonizadoras de áreas degradadas.

Los lodos procedentes de los numerosos lavaderos situados en toda la Sierra se han vertido tanto en tierra como en el mar. Para el vertido en tierra se construyeron grandes balsas o pantanos de retención y almacenamiento de lodos. En general, suelen caracterizarse por estar situados en vaguadas o zonas llanas y por almacenar un residuo acuoso que, al ser impermeables las microcapas de finos que lo forman, conservan el núcleo prácticamente en estado de liquidez igual a cuando fueron depositados, al ser impermeables las microcapas de finos que lo forman. Por este motivo se les considera más peligrosas que las escombreras, ya que pueden surgir problemas de estabilidad por deslizamiento o derrumbe favorecido por los fenómenos de subsidencia de la balsa por la acumulación de agua en su superficie, o ante situaciones sísmicas o climatológicas adversas, como pueden ser precipitaciones de alta intensidad.

Tabla 1
CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE RESIDUOS MINERO-METALÚRGICOS (García, 2004)

Tipo de residuo	Denominación del depósito	Nº de depósitos	Extensión (E) km ²	Volumen (V) (Mm ³)	V/E
Estéril de corta	Vacío	32	4.21	135.99	32.30
Lodo de flotación	Balsas de flotación	89	2.18	22.89	10.50
Lodo de flotación	Flotación mar	2 ^a	0.83	25.00	30.12 ^b
Estéril de concentración gravimétrica	Terreras de gravimetría	119	0.65	3.73	5.74
Estéril de mina	Escombreras de minas	176	0.48	3.01	6.27
Óxidos (gossan)	Escombreras de óxidos	11	0.26	6.93	26.65
Rechazo de granulometría	Rechazo de granulometría	1	0.06	0.59	9.83
Escoria de fundición	Gacheros	19	0.13	0.66	5.08
Estéril de pozo	Escombreras de pozos mineros	1902	0.02	0.51	25.50
Total residuos minero-metalúrgicos		2351	8.83	199.30	22.57

V/E: Relación entre Volumen y Extensión; a: No es un depósito sino una zona afectada; b: Valor no representativo.

Recientemente se realizó un inventario (García, 2004) en el que se clasificaron y cuantificaron los diferentes tipos de residuos minero-metalúrgicos existente en la sierra minera (Tabla 1).

Más de 200 ha están cubiertas por montañas de residuos sólidos, procedentes de la industria minera. Unas 110 ha en el término municipal de La Unión y cerca de 90 ha, en el de Cartagena, en las proximidades de El Llano del Beal y El Gorguel. Se han contabilizado más de 30 grupos de depósito de dimensiones variables, siendo algunos de alturas superiores a 20 metros y extensiones considerables (entre 40.000 y 80.000 m²), lo que supone en conjunto decenas de millones de toneladas que hacen difícil su eliminación de su localización actual, además de los problemas de contaminación que algunos de estos residuos pueden llegar a tener.

Las balsas de lodos de flotación, que ocupan una superficie de 2,18 km², pueden llegar a presentar un interés especial, y son precisamente las que nosotros pretendemos estudiar. Debido a que son residuos que tienen una fracción cuya granulometría es inferior a 10 micras, son fácilmente transportables por el viento, y su aspiración puede ocasionar problemas respiratorios, sobre todo en aquellas personas que tengan trastornos bronco-pulmonares. Hay que tener en cuenta que este hecho se agrava debido al elevado contenido en metales, sobre todo plomo y cinc, de estos materiales arrastrados por el viento.

1.3. Efectos contaminantes de la minera

A) Contaminación por erosión eólica

La contaminación atmosférica, según un estudio de la Fundación Sierra Minera, en su estudio *Medio Ambiente y Empleo en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión* (2001), es aquella contaminación que deriva del aumento de partículas en suspensión en el aire, procedentes principalmente de las balsas o pantanos de finos, pero también de las escombreras y cortas, que pasan a ser fuentes de emisión de partículas según las condiciones meteorológicas reinantes. En el marco de un proyecto denominado «Araar» se enumeran distintas fuentes de emisión como pueden ser los pantanos de finos, que se diferencian en función del tamaño de grano del material que almacenan. Estos pantanos son importantes focos de contaminantes, debido a que la mayoría presentan su superficie carente de vegetación y recubrimiento de suelo, con los propios finos en superficie, favoreciéndose la erosión y producción de polvo, dispersándose en el aire y aumentando la concentración de partículas en suspensión, que en muchos casos pueden ser nocivas para la población por su alto contenido en elementos metálicos. Cuando se depositan, estas partículas forman productos estables, tóxicos para la vegetación y perjudiciales para el suelo. Las medidas a emplear para reducir la emisión de partículas son la eliminación o adecuado tratamiento de estabilización, el recubrimiento con tierra y la revegetación.

B) Contaminación por erosión hídrica

La minería es una actividad industrial muy ligada al agua, tanto por los volúmenes necesarios y generados en distintos procesos, como por la alteración de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas y la modificación de las redes de drenaje. Esta contaminación directa del agua puede producir además otros tipos de contaminación indirectas extensibles en el tiempo y en el espacio, pudiéndose apreciar los efectos negativos a gran distancia de las explotaciones. Las aguas residuales se han vertido a ramblas, generando un caudal de aguas ácidas que provoca la desaparición de la vegetación y fauna del cauce. En consecuencia, la hidrología superficial de la zona ha sufrido importantes modificaciones en las vertientes de cabecera de las ramblas, en las redes de drenaje y modificaciones puntuales sobre determinados cauces (al situar los pantanos y escombreras en las llanuras de inundación). Las consecuencias de estas modificaciones son, entre otras, la alteración de las líneas de escorrentía, la erosión de las propias estructuras (erosión de la base de los taludes de balsas y escombreras) y el aumento de la cantidad de materiales que transportan las aguas y que se depositan en el cauce, en sus márgenes o en la desembocadura, acelerando el proceso de sedimentación.

La escorrentía a la vez que produce una erosión de los materiales, desencadena la formación de aguas ácidas con un alto poder corrosivo, agravado por el contenido en metales pesados, cuyas consecuencias son: degradación de los sistemas acuáticos, eliminación de la vegetación, toxicidad de los suelos, pérdida de la capacidad agrícola, introducción de metales pesados en la cadena trófica, etc.

En lo referente a las aguas subterráneas, uno de los efectos de la minería es la alteración de los niveles piezométricos por la ruptura de capas freáticas en las cortas, además de otros problemas detectados como puede ser la aparición de surgencias o filtraciones de aguas ácidas.

C) Contaminación del suelo

Los efectos de la minería sobre el suelo son más patentes, tanto por la ocupación como por la modificación del mismo que provoca esta actividad. La contaminación del suelo se produce directamente por infiltración de los lixiviados, o indirectamente por infiltración de aguas de escorrentía superficial contaminadas.

Los efectos sobre la vegetación y la fauna son consecuencia directa de la ocupación y destrucción de la estructura edáfica, tanto por la realización de cortas, como por la construcción de balsas y escombreras, que hacen que desaparezca la cubierta vegetal natural, destruyéndose los hábitats existentes para la fauna y provocando finalmente su desaparición. Además de producir estas desalentadoras consecuencias para los ecosistemas, la desaparición de suelo por la actividad minera también implica la alteración de la red de drenaje, el incremento de los procesos erosivos, el aumento

de las posibilidades de inundaciones, etc. Por otro lado, el suelo también puede contaminarse tras el depósito de polvo en suspensión mediante la erosión eólica.

D) Contaminación del Mar Mediterráneo

El vertido más importante de los existentes en la zona era el que se realizaba al Mar Mediterráneo, procedente del Lavadero Roberto, en un punto situado a 400 metros al Oeste de Punta Galera y que por la acción de las corrientes marinas penetraba en la Bahía de Portmán, lo que provocó la total colmatación de la misma. Se estima que durante los años de funcionamiento del Lavadero Roberto (1957-1990) se vertieron 57 millones de toneladas de estos residuos al mar, estimándose que en la Bahía puede haber unos 30 millones de toneladas y el resto esparcidos por toda la plataforma litoral. La fase de gran vertido comienza en 1957 con la puesta en marcha del lavadero de mineral situado en Portmán, que trataba 1000 Tm/día. Ya en 1968 pasaron a ser 6000 Tm/día, lo que puede suponer aproximadamente unos 57 millones de toneladas de vertido de estériles mineros al Mar Mediterráneo, desde 1957 hasta Marzo de 1990. En la última época el vertido alcanzaba, en Punta Galera, dos millones trescientas mil toneladas al año.

E) Contaminación del Mar Menor

En el Mar Menor desembocan numerosas ramblas procedentes de la Sierra Minera que, de manera inducida por el hombre o tras lluvias torrenciales, han hecho llegar a la laguna una gran cantidad de materiales provenientes de las explotaciones mineras. Se ha estimado en unos 25 millones de toneladas el volumen de sedimentos de origen minero en el Mar Menor, con unas mayores concentraciones de metales pesados como plomo, cobre o cinc en la parte Sur de la laguna, más próxima a las ramblas que arrastran en sus avenidas los desechos mineros. Como consecuencia de estos vertidos, el contenido de metales pesados en los seres vivos que pueblan el Mar Menor puede ser muy elevado, en especial en aquellos que habitan el fondo (berberechos, almejas, cangrejos, etc.) (Peñas *et al*, 2004).

Los efectos de este tipo de contaminación sobre el Mar Menor se han reducido actualmente, debido a la inexistencia de instalaciones mineras que vierten directamente a las ramblas. Sin embargo, los arrastres por lluvias torrenciales de los lechos de estas ramblas aún son importantes.

2. OBJETIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO

El objetivo de la investigación que estamos realizando es analizar y cuantificar la contaminación atmosférica ocasionada por movilización de las partículas de suelo mediante erosión eólica, de los sedimentos contenidos en las balsas de almacena-

miento de residuos mineros y su posible afección a las poblaciones más cercanas, como son el El Llano del Beal o La Unión. De igual modo, se pretende analizar la importancia de la erosión hídrica como agente contaminante de los suelos, tierras agrícolas y playas cercanas a la zona minera.

El área de estudio se corresponde con el sector minero situado entre las poblaciones de La Unión y el Llano por el norte y La Manga Club por el sur (Figura 4). Se trata de un área muy afectada por la minería a cielo abierto y en la que se encuentran diversas balsas o pantanos de estériles que suelen ser focos de emisión de materiales, tanto por erosión eólica como por erosión hídrica.



FIGURA 4: Localización de las áreas de estudio.

Respecto a los núcleos de población, el más importante es el de La Unión en el que vive más de la mitad de la población de la Sierra Minera, estimada en algo más de veinte mil habitantes. El resto de poblaciones son núcleos de pequeña entidad, con un número de habitantes que no supera los dos mil y en los que no existe una

estructura urbana diferenciada. Los más importantes son Alumbres, El Llano, El Beal, El Estrecho, Roche y Portmán.

El clima de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión puede caracterizarse como mediterráneo semiárido. Las precipitaciones medias anuales son inferiores a los 400 mm y poseen elevada irregularidad, con máximos en otoño y primavera, y un mínimo en verano. Las lluvias se suelen concentrar en unos pocos días (20-30 al año), y en ocasiones se presentan con carácter torrencial.

La temperatura media anual en esta zona es de 17,5 °C con una amplitud térmica elevada, unos 15,2 °C. La oscilación térmica varía entre los 10,7 °C de enero y los 25,9 °C de agosto. Las temperaturas se ven en gran parte suavizadas por la proximidad al mar, que posibilita veranos más frescos que en el interior de la Región de Murcia, con inviernos más suaves y exentos de heladas. Los valores extremos absolutos están en los 40 °C, ligados normalmente a los vientos tropicales continentales.

El viento es un fenómeno atmosférico casi constante en el litoral. Los vientos más importantes son: el Levante, húmedo y cuya mayor frecuencia se da en verano, el Lebeche, de Sursuroeste, responsable de las olas de calor estivales, el Jaloque, cálido y procedente del Sureste y el Maestral o Terral, frío y del Noroeste.

3. MÉTODOS

3.1. Área de estudio

Para el estudio de la erosión eólica, se han instalado 7 colectores de erosión eólica. Tres de ellos se han colocado en 3 pantanos de lodos: La Esperanza (en las cercanías de La Unión), La Rosa (en las inmediaciones de El Llano) y El Lirio (cercano al complejo turístico de La Manga Golf); otros 3 en las áreas de influencia de estos pantanos, en las inmediaciones de La Unión, El Llano y el Campo de Golf; el séptimo de los colectores se ha ubicado en la ribera del Mar Menor en la desembocadura de la Rambla del Beal.

La erosión hídrica se pretende controlar en el Pantano de La Rosa y en El Lirio mediante pequeños diques que se han construido aguas abajo de los pantanos, en las ramblas en las que se depositaron. Por otro lado, en el pantano de la Esperanza debido a un desprendimiento que se produjo en 1973 como consecuencia de unas intensas lluvias, la construcción de un dique no ha sido factible, por lo que se controlará mediante clavos de erosión-sedimentación en los conos de deyección que han generado estos depósitos tras la construcción de un muro de retención.

3.2. Colectores de viento

Hasta el momento, se han diseñado tres tipos de colectores de partículas movilizadas por el viento.

1. En primer lugar se construyó un «Colector Veleta» (Figura 5), el cual consistía en una veleta de una altura de 1,50 metros a la cual se le habían acoplado hasta un total de 8 colectores en el mástil vertical. Estos colectores llevaban adosadas unas bolsas de plástico que serían las zonas de almacenamiento y recogida de las muestras, partiendo desde los 10 cm de altura respecto al suelo (García *et al.*, 2004). En la zona de estudio (Pantano de La Rosa) se colocaron un total de doce colectores, distribuidos según los ocho puntos cardinales principales dentro de la zona de estudio, y los otros cuatro restantes colocados a unos 20 metros del pantano en los cuatro puntos cardinales principales, quedando así una zona de muestreo bastante amplia, que además de la zona de estudio englobaba una posible zona de influencia. Tras dos meses de prueba de este tipo de colector, se optó por su retirada debido a diversos problemas, que impedían hacer rotar el aparato para poder orientarse en la dirección del viento dominante.

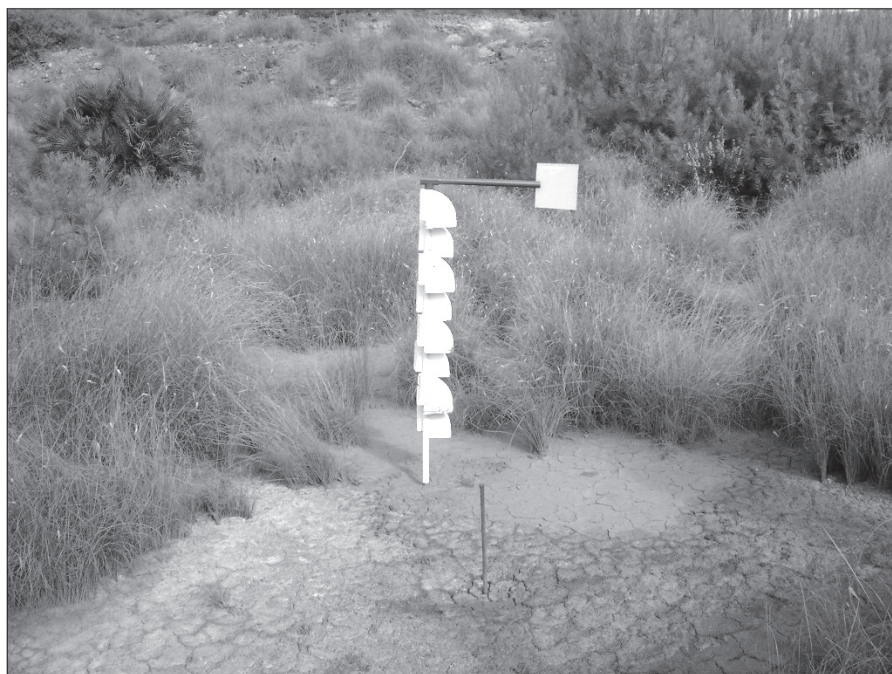


FIGURA 5. *Colector veleta.*

2. Para el segundo diseño se cambió totalmente de concepto, ya no se buscaba un aparato de auto orientación sino que se optó por un aparato multidireccional y sin movimiento. El «colector multidireccional» (Figura 6) se compone de una estructura en cuadrilátero construida con 8 tubos de PVC (orientados según las

8 principales direcciones de viento), de 150 cm de alto, fijados al suelo mediante barras de hierro, para asegurar un correcto anclaje. Los colectores, están colocados en ocho franjas de altura a partir de 10 cm del suelo (para evitar que entren en los colectores las partículas salpicadas por la lluvia). Cada estación tiene así un total de 64 colectores que recogen las partículas dispersadas y transportadas por el viento en la franja altitudinal comprendida entre los 10 y 150 cm para cada uno de las 8 direcciones principales (Moral *et al.*, 2005). De este nuevo sistema de muestreo se fabricaron tres estaciones de muestreo, las cuales fueron colocadas en diversos puntos representativos.



FIGURA 6: *Colector multidireccional.*

3. Más recientemente, se ha diseñado un tercer colector, intentando perfeccionar el anterior, pese a que aquel nos dio buenos resultados. El actual tiene la particularidad de ser más robusto. Consiste en una estructura central a la que se adosan los colectores, colocados también a distintas alturas y orientados según las principales direcciones de viento (Figura 7).



FIGURA 7: *Nuevo colector de erosión eólica.*

3.3. Análisis de muestras

La metodología de muestreo que se siguió con el colector multidireccional, que es la que aquí se presenta, está basada en analizar la erosión eólica de una estación del año, primavera de 2005. Las muestras se recogieron mensualmente, por lo que contamos con tres periodos: 21 marzo–20 abril (periodo 1), 21 abril–20 mayo (periodo 2) y 21 mayo–20 junio (periodo 3).

Las muestras recogidas, una vez en el laboratorio se sometieron al siguiente procesado: pesado, secado en una estufa a 60 °C durante 48 horas, análisis granulométricos, determinación de metales pesados totales de plomo y cinc mediante digestión ácida con nítrico-perclórico (García, 2004; Peñas *et al.*, 2004).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aunque como ya se ha comentado, en la actualidad se están llevando a cabo experiencias tanto de erosión eólica como de erosión hídrica en varios pantanos de lodos y en la desembocadura de la Rambla del Beal, los datos analizados hasta

el momento y que podemos mostrar corresponden a una sola área de estudio (el Pantano de La Rosa) y a un periodo de tiempo muy concreto (primavera de 2005). No obstante, estos datos son suficientemente representativos como indicadores de la magnitud de la movilidad de partículas por erosión eólica, la presencia de materiales contaminantes y peligrosos para la salud humana, así como de la validez de la metodología utilizada (Moral Robles, 2005).

El análisis de la dirección predominante de vientos para esta área nos indica como la dirección Sureste - Sur es la predominante; no obstante para la primavera de 2005 el viento procedente de Noroeste ha sido el que ha presentado los valores máximos y por tanto los colectores con esta orientación son los que han recogido la mayor cantidad de sedimentos movilizados por el viento. Los valores mínimos se han registrado en las orientaciones Norte y Noreste (Figura 8).

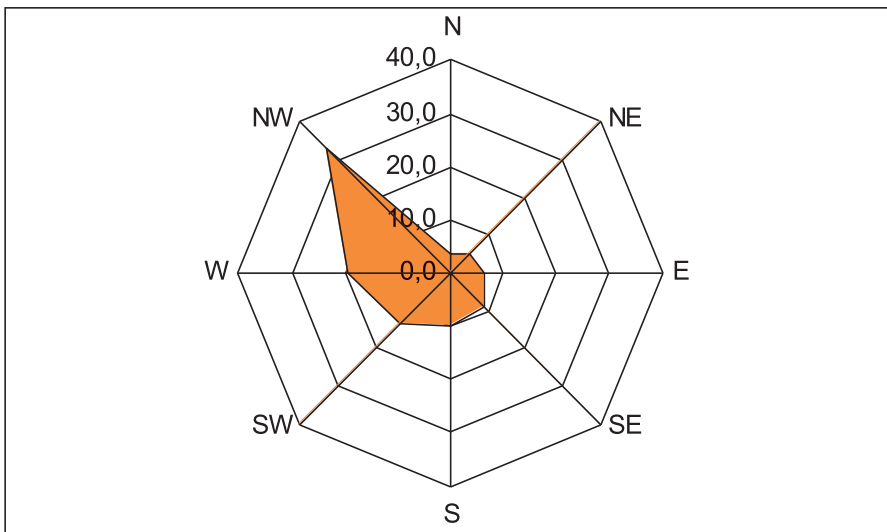


FIGURA 8. Distribución de los sedimentos recogidos (%) en relación a la orientación de muestreo, para la primavera de 2005.

La cantidad de material movilizado por el viento y depositado en los colectores ha sido bastante notable, más de 300 gramos de media por mes (Tabla 2). Como es lógico, los colectores más cercanos al suelo (colector n° 1) son los que recogen la mayor cantidad de sedimento, pero es de notar como los situados a 1,5 metros de altura siguen recogiendo material.

Tabla 2
RECOLECCIÓN TOTAL DE SEDIMENTOS (EN GRAMOS) PARA EL PERIODO DE ESTUDIO

Colectores por alturas	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Media Primavera
8 (150 cm)	8,8	13,4	11,1	11,2
7	8,4	25,9	16,5	16,9
6	11,2	31,8	18,4	20,5
5	14,3	44,1	26,1	28,2
4	17,9	49,2	28	31,7
3	22,4	65,9	39,1	42,5
2	42,9	78,5	64,5	62,0
1 (10 cm)	78,2	119,7	122,7	106,9
Total	204,1	428,5	326,4	319,7

Los resultados obtenidos para la primavera de 2005 (Figura 9), muestran valores de tendencia descendente con las alturas para los tres periodos, ya que en salvo en algunos casos, la cantidad de muestra recogida en cada periodo va aumentando con la cercanía al suelo. El periodo 2 (abril-mayo) es en el que más cantidad de sedimento se recogió en casi todas las alturas.

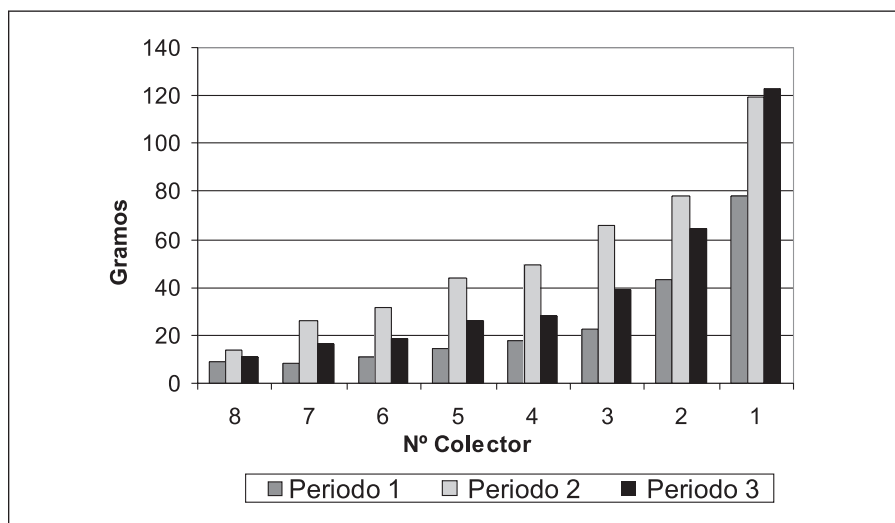


FIGURA 9. Distribución de la cantidad de sedimento recogido por colectores, durante los tres periodos de muestreo.

Respecto a los contenidos totales de metales pesados en las muestras de sedimentos recogidos y previamente arrastrados por el viento, se observa que son muy elevados en plomo y, especialmente, en cinc.

Para el cinc (Tabla 3), la distribución según las orientaciones del viento es mayor en la orientación Noroeste y menor en la orientación Sur. En lo referente a los periodos de tiempo, el periodo que presenta una cantidad media mayor es el periodo 1, mientras que el periodo 2 presenta la menor cantidad media de cinc.

Tabla 3
**CANTIDAD DE CINCO (Zn) CONTENIDA EN EL SEDIMENTO
RECOGIDO EN LOS COLECTORES (mg/Kg.), PARA LA PRIMAVERA
DE 2005**

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Media
Periodo 1	10.320	11.314	10.990	10.960	9.400	10.520	8.260	12.500	10.533
Periodo 2	4.817,50	4.310	4.387,50	4.527,50	4.040	6.285	5.757,50	5.260	4.923,10
Periodo 3	5.407,50	5.497,50	5.922,50	4.552,50	4.525	4.212,50	4.427,50	5.645	5.023,70
Media periodo	6.848,33	7.040,50	7.100,00	6.680,00	5.988,33	7.005,83	6.148,33	7.801,67	6.826,60
% Medio	12,54	12,89	13,00	12,23	10,97	12,83	11,26	14,29	

En cuanto al plomo la cantidad ha ido en aumento con respecto a los periodos de tiempo de observación (Tabla 4). En la distribución según las orientaciones del viento, se puede ver que la orientación que presenta una mayor cantidad de plomo en los tres periodos es la Sur, y la que presenta una menor cantidad de plomo es la Noroeste.

Tabla 4
**CANTIDAD DE PLOMO (Pb) CONTENIDA EN EL SEDIMENTO
RECOGIDO EN LOS COLECTORES (mg/Kg.), PARA LA PRIMAVERA
DE 2005**

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Media
Periodo 1	9.260	4.629	9.012	9.720	9.080	5.960	6.720	5.800	7.523
Periodo 2	2.927,50	2.457	3.007,50	2.970	2.952,50	3.280	3.452	3.357,50	3.050,60
Periodo 3	3.237,50	3.385	3.657,50	2.942,50	2.687,50	2.640	2.675	3.290	3.064,40
Media	5.141,67	3.490	5.225,67	5.210,83	4.906,67	3.960	4.282	4.149,17	4.546,00
% Medio	14,14	9,60	14,37	14,33	13,49	10,89	11,78	11,41	

Del sedimento total recogido en el periodo de muestreo (959 gramos), el plomo y el cinc representan el 1,137% del total, lo que nos indica la elevadísima contaminación atmosférica que puede derivarse de la erosión eólica de estos suelos y la afección que puede producir en las poblaciones y suelos colindantes.

Los análisis granulométricos realizados de los sedimentos y cuyo valor medio se ha representado en la figura 10 se aprecia un máximo en el diámetro de 20 μm , es decir en los limos, y otro muy superior en torno a las 250 μm , es decir en la fracción arena.

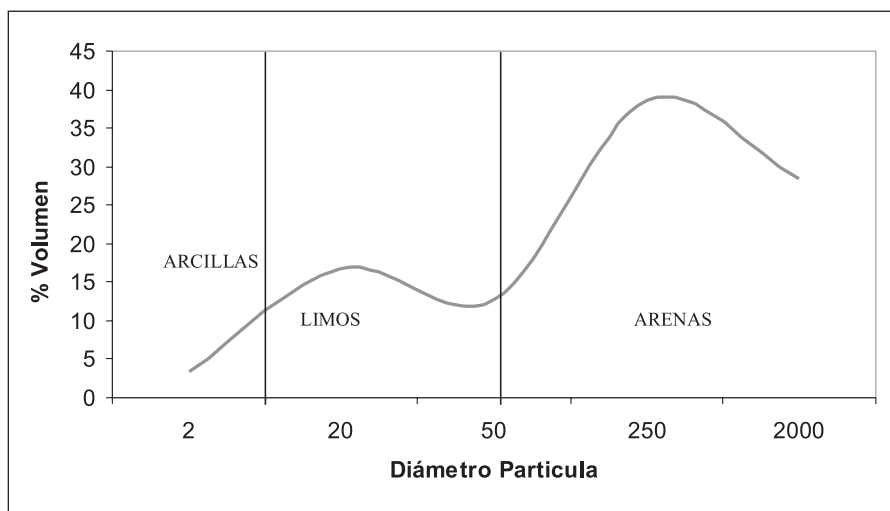


FIGURA 10. Porcentaje de volumen según el diámetro de partícula, para la primavera de 2005.

Si nos ceñimos a la clasificación tradicional que diferencia las partículas entre arcillas ($< 2 \mu\text{m}$), limos ($50 \mu\text{m} < 20 \mu\text{m}$) y arenas ($50 \mu\text{m} < 2000 \mu\text{m}$), vemos que el tamaño de partícula y por tanto el peso de los sedimentos que son puestos en movimiento no es relevante, ya que la cantidad mayor de partículas movilizadas por el viento son las más pesadas y de diámetro mayor. El 67% de los sedimentos son arenas y el 33% son limos y arcillas.

5. CONCLUSIONES

Entre las conclusiones que podrían extraerse cabe señalar, en primer lugar, el gran impacto ambiental que la minería a cielo abierto ha dejado en el área minera de La Unión – Cartagena; y en segundo lugar, el elevado número de depósitos y residuos mineros que resultan afectados tanto por erosión eólica como por erosión

hídrica, con el peligro añadido de que contienen metales pesados, que pueden ser muy perjudiciales para la salud.

Los resultados de las investigaciones experimentales que aquí se recogen, tan sólo son una pequeña muestra de los trabajos que en la actualidad se están realizando de una manera exhaustiva y en diferentes áreas de control. No obstante, estos resultados preliminares muestran la movilidad de los sedimentos localizados en las balsas de lodos por el viento, su cantidad, los metales pesados asociados a ellos y la posible afección que puede derivarse de esta erosión eólica, por el depósito posterior de estos sedimentos en tierras de cultivo, playas, vegetación o al ser inhalados por el hombre.

Para tratar de minimizar los efectos, tanto de la contaminación hídrica como eólica, primero hay que conocer las fuentes de contaminación y áreas de afección, y posteriormente tratar de indicar posibles soluciones como la revegetación, el cubrir las áreas fuente, su inmovilización o su eliminación, según los casos.

Por las repercusiones que sobre la salud pública tiene la dispersión de estos contaminantes mediante erosión eólica o hídrica, es muy necesaria la toma de conciencia social y, especialmente, política por parte de las administraciones competentes. Igualmente, se hacen necesarios más estudios técnicos y científicos que incidan sobre la evaluación y soluciones técnicas a estos problemas.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se está realizando en el marco de un proyecto de investigación financiado por la Fundación Séneca (02966/PI/05).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fundación Sierra Minera (2001): *Medio Ambiente y Empleo en la Sierra Minera de Cartagena – La Unión*. Fundación Sierra Minera. La Unión.
- García, C., Manteca, J.L. y Rodríguez, T. (2001): *Inventario de pozos mineros de la Región de Murcia (Sierra de Cartagena)*. Consejería de Tecnologías, Industria y Comercio de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- García, C. (2004): *Impacto y riesgo ambiental de los residuos minero-metalúrgicos de la Sierra de Cartagena – La Unión (Murcia-España)*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena.
- García, G., Moral, F.J. y Peñas, J.M. (2004): A field multicollector wind erosion in minino land. In *Fourth International Conference on Land Degradation*. Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, Spain.
- Gómez Fayren, J., Bel Adell, C y Egea Bruno, P. (1985): Excursión a Cartagena y sus sierras mineras. *Guía de itinerarios geográficos de la Región de Murcia*. IX Coloquio de Geógrafos Españoles. Murcia, 99-118.

- Moral Robles, F.J. (2005): *Dispersión eólica de sedimentos mineros en la Sierra minera de Cartagena – La Unión*. Proyecto Fin de Carrera de Ciencias Ambientales. Universidad de Murcia.
- Moral, F.J., Romero, A. y García, G. (2005): Erosión eólica en el área minera de Cartagena – La Unión, Sureste de España. Primeros resultados. *II Simposio Nacional sobre Control de la Degradación de Suelos*. R. Jiménez y A.M. Álvarez (Eds.).
- Peñas, J.M., García, G., Manteca, J.I. y García, C. (2004): Evaluation of transference risks of metallic pollutants to natural and agricultural soils from abandoned mining areas. In *Fourth International Conference on Land Degradation*. Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, Spain.
- Vilar, J.B. y Egea Bruno, P. (1994): Minería y Ecología en la Sierra de Cartagena – La Unión. *Areas. Revista de Ciencias Sociales* 16: 235-249. Murcia.