

## DISPERSION DE METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS FLUVIALES DEL CAUCE ALTO DEL RIO HUERVA (ZARAGOZA, ESPAÑA)

P. Acero Salazar\*, J. A. Mandado Collado\* y F. J. Torrijo Echarri\*

### RESUMEN

En este trabajo se ha aplicado la metodología de la prospección geoquímica al estudio y caracterización de los modelos de dispersión de cuatro metales pesados (cadmio, plomo, cobre y zinc) en el cauce alto del río Huerva (Cordillera Ibérica, España).

Con este propósito se recogieron y analizaron doscientas once muestras de sedimento a lo largo de la zona de cabecera de este río. Los resultados analíticos obtenidos, tras recibir un tratamiento estadístico clásico, fueron interpretados para describir las características fundamentales de sus modelos de dispersión y, finalmente, identificar las fuentes principales de aporte anómalo de estos elementos al cauce del río Huerva.

Las observaciones realizadas muestran la existencia de fuentes de aporte múltiples y complejas, entre las que destacan las relacionadas con la presencia y actividad antrópica. Sin embargo, el sistema parece poseer una buena capacidad de autodepuración natural para el cadmio, el plomo, el cobre y el zinc.

**Palabras clave:** *Sedimentos fluviales, dispersión de metales pesados, anomalía geoquímica, río Huerva.*

### ABSTRACT

In this paper, the methodology of geochemical prospecting has been applied to the study of the scattering of cadmium, lead, copper and zinc in the upper part of the Huerva river (Iberian Range, Spain).

With this purpose two hundred and eleven samples of river sediments were collected along the upper part of the river. The analytical data, after being statistically processed, were interpreted with the aim of approaching to the main features of the models of scattering and to infer the main anomalous sources of these heavy metals to the channel.

The results of this study prove the existence of multiple, complex sources, with the remarkable presence of sources related to the human presence and activity. However, the system seems to have a good ability to depurate itself.

**Key words:** *River sediments, heavy metals' dispersion, geochemical anomaly, Huerva river.*

### Introducción

En los últimos años, el interés por la problemática medioambiental ha experimentado un extraordinario auge y, con ello, todas las ramas científicas han ampliado sus aplicaciones al estudio, caracterización y gestión del patrimonio natural.

En este estudio se aplican los principios generales de la metodología clásica de prospección geoquímica al estudio del nivel de degradación de un curso fluvial, caracterizando la extensión y causas de esta

degradación. Para alcanzar este propósito se ha escogido la cuenca del río Huerva (Cordillera Ibérica, España) en su zona de cabecera donde, *a priori*, el nivel de degradación debe ser menor que en el curso inferior.

### Características de la zona de estudio

La zona de estudio se sitúa en la cuenca del río Huerva (Zaragoza, España) que constituye una

---

\* Área de Petrología y Geoquímica. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza.

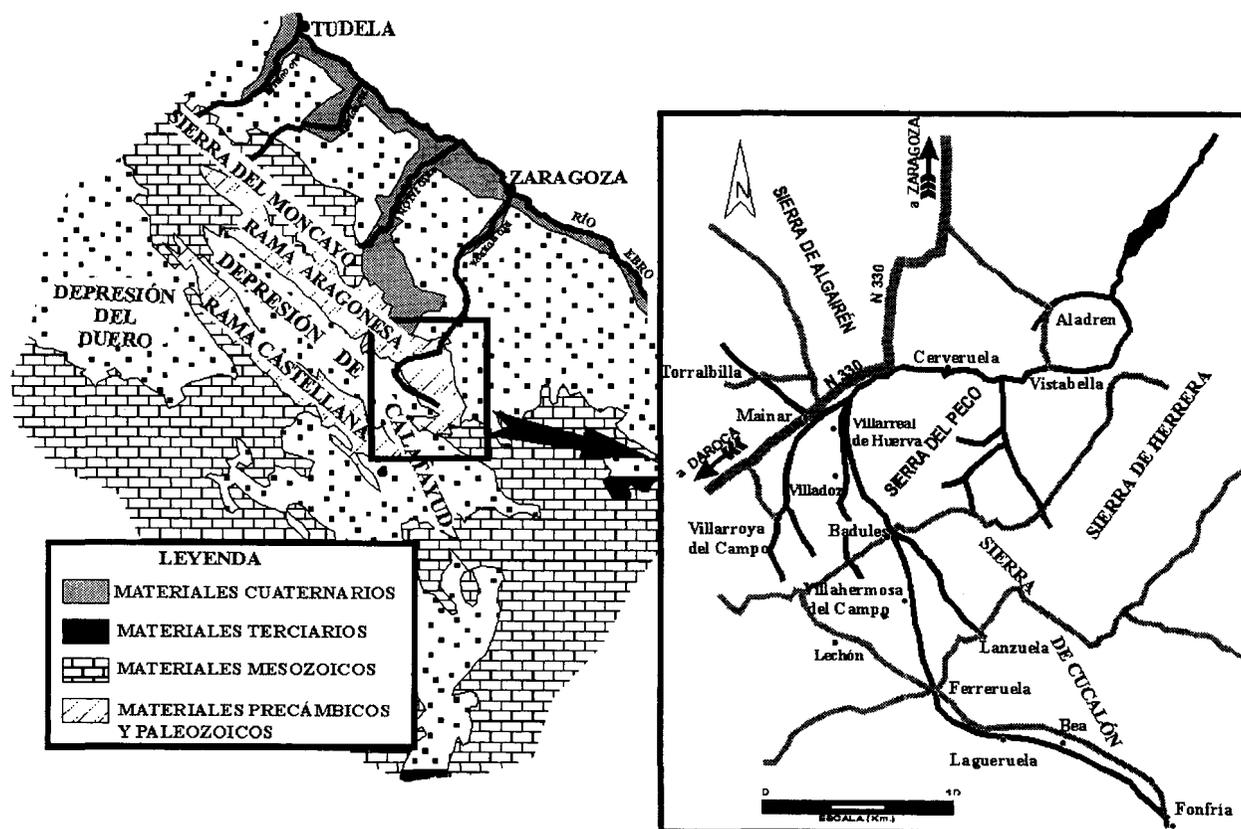


Fig. 1.—Ubicación geológica y geográfica de la zona de estudio y principales poblaciones y vías de acceso a la misma.

fuelle hidrológica de primer orden en Aragón, ya que abastece directa o indirectamente a un gran número de poblaciones para su consumo y regadío. La cuenca ha sido escasamente estudiada desde el punto de vista hidrológico y geoquímico; tan sólo cabe reseñar los trabajos de Sánchez-Navarro (1985), que realiza una aproximación hidro-económica a la zona de estudio, García (1986) y los trabajos del ITGE, tanto en informes propios como en la *Memoria del Mapa Hidrológico*, n.º 40 «Daroca» a escala 1:200.000.

El río Huerva, en la zona de estudio, presenta una longitud total de unos 40 km y, junto con su red de tributarios, drena una superficie total de casi 500 km<sup>2</sup>. Atraviesa las poblaciones de Fonfría, Bea, Lagueruela, Ferrerueta de Huerva, Badules, Villadoz, Villahermosa del Campo, Mainar, Villarreal de Huerva, Cerveruela y Vistabella (ver fig. 1). Se trata de poblaciones de pequeño tamaño (menos de 200 habitantes) cuyas actividades fundamentales son la agricultura y la ganadería, sin que apenas exista desarrollo industrial.

El clima de la zona es de tipo montañoso interior de carácter mediterráneo. Los veranos son cortos y frescos y los inviernos largos y fríos, con frecuentes heladas.

La temperatura media no sobrepasa los 12° C. Las precipitaciones varían entre 20 y 30 mm en julio y agosto y 480 y 550 mm en primavera, aunque siempre con importantes variaciones interanuales, lo que provoca una elevada variabilidad en la escorrentía eficaz, que ronda los 100-125 mm/año (Ascaso y Cuadrat, 1981).

La vía de acceso más sencilla es por la N-330 hasta Mainar, pudiendo elegir a continuación cualquiera de las carreteras comarcales, locales y caminos vecinales, en general bien conservados, que permiten un buen acceso al cauce.

#### Caracterización geológica

La zona se integra dentro de la Rama Aragonesa o Externa de la Cordillera Ibérica, que forma una alineación montañosa en dirección NO-SE (Ibérica). Esta Rama presenta un núcleo de materiales paleozoicos rodeados de materiales mesozoicos y cenozoicos (ver fig. 1). Estructuralmente se presenta en el área de estudio formando las sierras de Oriche, Cucalón, del Peco, de Herrera, de Vicort y de Algairén, que delimitan la cuenca del

Huerva, y a las que pertenecen la mayor parte de los materiales drenados por el río y su red de canales tributarios. En los afloramientos paleozoicos de la zona existe un gran número de mineralizaciones de carácter disperso y escasa entidad. En su mayoría se trata de sulfuros de Cu, Fe, Pb, Zn y Ba, dispuestos en filones de carácter masivo o diseminado.

La serie estratigráfica aflorante abarca desde el Cámbrico hasta el Cuaternario. En la zona concurren dos unidades estructurales paleozoicas separadas, según Carls (1983), por la falla de Datos; se trata de las unidades de Badules y de Herrera. Sobre este basamento hercínico aparece un tegumento del Buntsandstein, al que puede asociarse localmente el nivel inferior del Muschelkalk, dotado generalmente de una tectónica de revestimiento. La cobertera suprayacente, formada por materiales calcomargosos y terrígenos del Jurásico, Cretácico y Paleógeno aparece notablemente plegada. Los materiales terciarios y cuaternarios conforman el relleno de la cuenca de Calatayud, situada al sudoeste de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica.

En cuanto a los caracteres hidrológicos de la cuenca, se pueden distinguir dos familias de afluentes:

1. Afluentes circulantes por materiales paleozoicos, cuyo caudal es muy irregular, de forma que su actividad es casi exclusivamente primaveral.
2. Afluentes circulantes por materiales mesozoicos y cenozoicos, de caudal bastante constante, que constituyen los aportes fundamentales en los meses estivales.

### Metodología de muestreo y análisis

El trabajo se ha estructurado según el esquema clásico en este tipo de campañas geoquímicas y, tras una fase previa de recopilación bibliográfica, se procedió al planteamiento de una primera campaña de campo exploratoria, destinada a caracterizar de forma general el sistema y a seleccionar los tramos del cauce de mayor interés por su anómala acumulación de metales.

Durante esta campaña se tomaron 77 muestras de sedimentos fluviales finos a lo largo del cauce principal y sus tributarios activos o semiactivos, manteniendo la distancia intermuestral en torno a 1 km. Las muestras de campo fueron desecadas y tamizadas para separar la fracción inferior a 0,16 mm, que se empleó en los análisis.

La fracción seleccionada fue sometida a una extracción total nítrica para lixiviar la práctica totalidad de los cationes contenidos en la misma y la solución resultante, una vez filtrada, se analizó mediante espectrometría de absorción atómica de llama aire/acetileno con un espectrómetro Perkin-Elmer 2380 en el Área de Petrología y Geoquímica de la Universidad de Zaragoza.

Los resultados analíticos para cada elemento fueron normalizados y se seleccionaron por su anómala acumulación de metales las muestras cuyos contenidos en Cu, Cd, Pb y/o Zn superaban el valor de 1,5 desviaciones estándar a partir de la media poblacional. Este umbral, menos restrictivo que el tradicionalmente empleado en este tipo de campañas, de 2 desviaciones típicas a partir de la de la media, es también más adecuado para

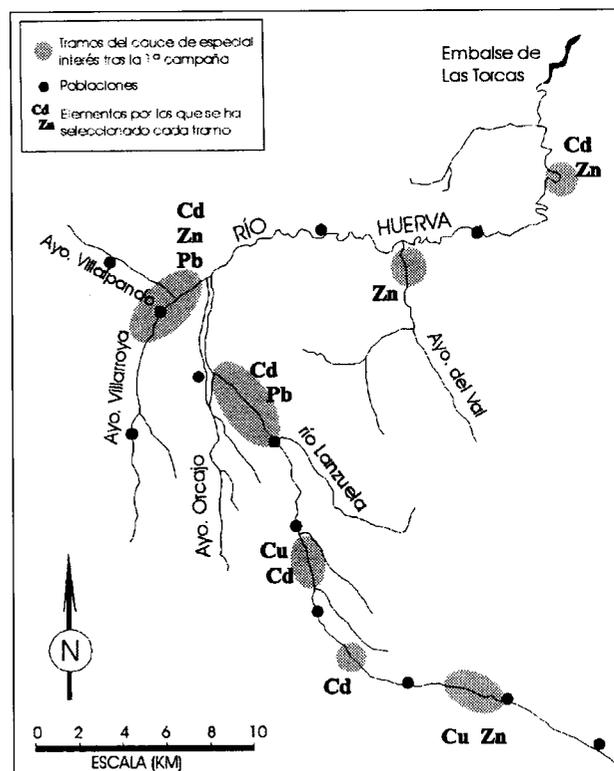


Fig. 2.—Tramos del cauce alto del río Huerva considerados de especial interés tras el desarrollo de la primera campaña de campo y elementos cuyas concentraciones anómalas justifican su selección.

campañas de aproximación en las que se desconoce el sistema a estudiar, y garantiza la detección de todas las anomalías presentes en el área de estudio. Los tramos del cauce seleccionados para su estudio más detallado aparecen indicados en la figura 2.

Durante la segunda etapa de muestreo, destinada a proporcionar datos más detallados sobre los tramos del cauce de especial interés, seleccionados en la campaña previa, se tomaron 134 muestras de sedimentos fluviales finos a lo largo de dichos tramos, aunque en este caso la distancia intermuestral se redujo hasta los 200 m aproximadamente.

Las muestras recibieron el mismo tratamiento físico que en la campaña de investigación exploratoria, destinado a seleccionar para su análisis la fracción inferior a 0,16 mm. Posteriormente se aplicó a esta fracción una extracción total nítrica y extracciones secuenciales destinadas a lixiviar por separado los cationes contenidos en la fracción orgánica y en los oxihidróxidos amorfos de hierro y manganeso y, de este modo, caracterizar de forma precisa las pautas de especiación del sistema de sedimentos fluviales del río Huerva. Los resultados obtenidos en las extracciones secuenciales presentaron algunos problemas analíticos y, en muchos casos, se situaron por debajo del límite de detección efectivo de la espectrometría de absorción atómica, por lo que no pueden ser considerados representativos y no serán empleados en la modelización del sistema.

### Tratamiento de los resultados

En primer lugar, se seleccionaron los conjuntos de datos estandarizados con mejores ajustes a la (log)normalidad en el test  $\chi^2$ , ya que la mayor

parte de los métodos de tratamiento de grandes conjuntos de datos requieren para su aplicación poblaciones de distribución normal o, al menos, no sesgada.

Tras esta selección, se procedió al establecimiento de los valores de fondo regional y umbral de anomalía geoquímica positiva. La elección de umbrales para discernir entre fondo geoquímico, entendido como el contenido medio de un elemento en un material geológico, y anomalía geoquímica positiva, como un valor anormalmente alto para ese elemento en ese contexto regional, es una de las cuestiones clave en la interpretación de datos geoquímicos. La principal dificultad que se plantea en la elección de este tipo de umbrales es la notable variabilidad de fondos geoquímicos existente entre áreas incluso petrológicamente próximas. En términos estadísticos, es más adecuado establecer un rango de fluctuación para los valores de fondo y tomar como umbral su límite superior.

Una forma habitual de proceder es tomar como umbral de anomalía geoquímica positiva el contenido medio en un elemento dado más 2 desviaciones estándar. No obstante, como ya apuntó Sinclair (1973), la elección de este umbral de anomalía es totalmente arbitraria, ya que no existe ninguna razón natural que indique que el conjunto de valores anómalos de una muestra geoquímica cualquiera represente el 2,3 % extremo del total de valores.

Desde otro enfoque, la elección de umbrales puede llevarse a cabo con ayuda de gráficos logarítmico-probabilísticos (Tennant y White, 1959; Sinclair, 1973; Parslow, 1974). Este método se basa en la premisa de que las distribuciones sesgadas representan el solapamiento de dos o más poblaciones normales, que pueden ser discriminadas en función de algún tipo de medida de dispersión o centralización que las describa. Este método posee la ventaja de poder considerar a cada conjunto de datos de forma individual, sin asumir de partida determinados comportamientos o distribuciones como ocurre en los métodos basados en la desviación estándar. Por esta razón, el tratamiento estadístico llevado a cabo en este estudio será de tipo logarítmico-probabilístico.

Las representaciones realizadas para cada elemento se recogen en la figura 3, y sus interpretaciones se detallan a continuación:

— Para el cadmio el grado de solapamiento entre poblaciones es tan elevado que la representación realizada para este elemento forma una curva prácticamente continua entre los valores extremos, por lo que resulta muy difícil diferenciar puntos de inflexión.

Únicamente se diferencia un tramo recto (valores superiores a 3,2 ppm), en lo que interpretamos

como población posiblemente anómala. Hemos situado dos puntos de inflexión, que marcan los límites entre tres poblaciones, a las que llamaremos A, B y C.

Para el cobre y el zinc, las representaciones forman líneas muy complejas, que indican la existencia de un alto grado de mezcla entre poblaciones, posiblemente como consecuencia de un gran número de fuentes de aporte diferenciadas.

Para el cobre, las características de la curva nos obligan a diferenciar al menos cuatro poblaciones complejas, constituidas, a su vez, por varias subpoblaciones indiferenciables a escala y muy solapadas entre sí. El umbral de posible anomalía positiva queda situado en 16 ppm.

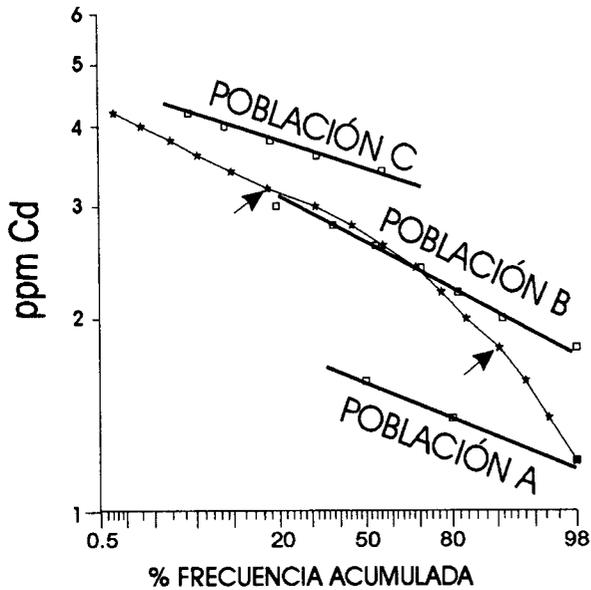
En el caso del zinc únicamente hemos diferenciado tres poblaciones que, al igual que ocurre con el cobre, están formadas por subpoblaciones indiferenciables, con alto grado de solapamiento. El límite inferior de la población C, que marca el umbral de posible anomalía, se sitúa en 59 ppm.

— Para el plomo, al contrario que para el resto de los elementos tratados, la representación obtenida muestra dos truncaduras bastante netas, que permiten situar con precisión los límites entre 3 poblaciones bien diferenciadas. El umbral de posible anomalía positiva, marcado por el límite inferior de la población C, queda situado en 29 ppm.

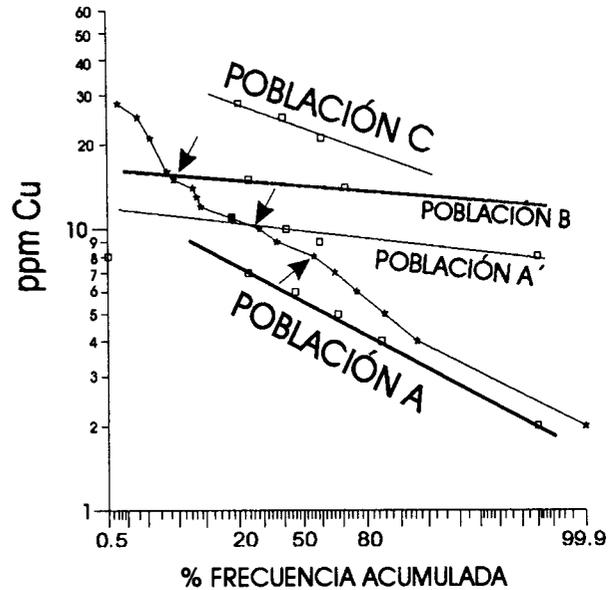
Una vez diferenciadas las poblaciones, sus rangos de fluctuación y el grado de solapamiento entre las mismas, es necesario comprobar si la distribución geográfica de valores anómalos arroja resultados compatibles con los umbrales preseleccionados, que vendrán dados por aureolas de dispersión progresivamente decrecientes hasta alcanzar el fondo regional.

Para este estudio, los mapas de dispersión se han confeccionado según el método de las medias móviles (Azcarate, 1981). El método consiste en ir desplazando una ventana a lo largo de una malla regular de coordenadas conocidas, calculando en cada punto el valor medio de las muestras englobadas en el interior de la ventana cuando está centrada en dicho punto. La distribución geográfica de los valores obtenidos permite interpolar líneas o superficies de isocontenidos y construir los correspondientes mapas. Es importante destacar que, como la malla de puntos de muestreo está adaptada a la red hidrográfica, la malla regular obtenida tras el krikeage contiene numerosos «artefactos» estadísticos y sólo debe leerse siguiendo la traza del río, sin considerar las extrapolaciones transversales al río que produce.

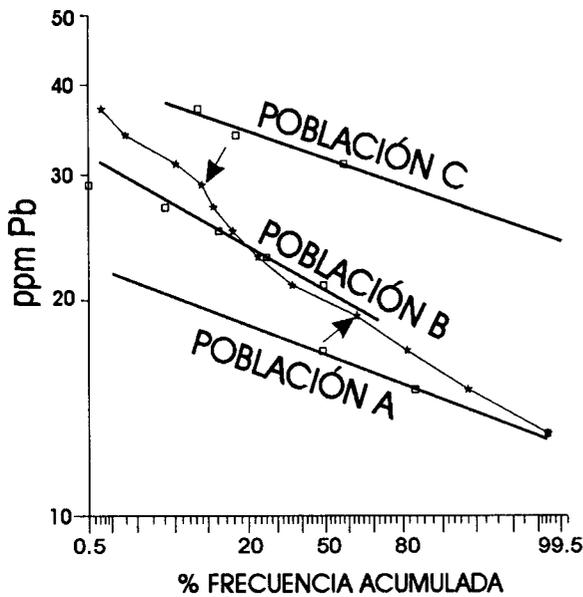
Para lograr que la malla de krikeage proporcione resultados próximos a las tendencias regionales locales, en su construcción se han empleado los



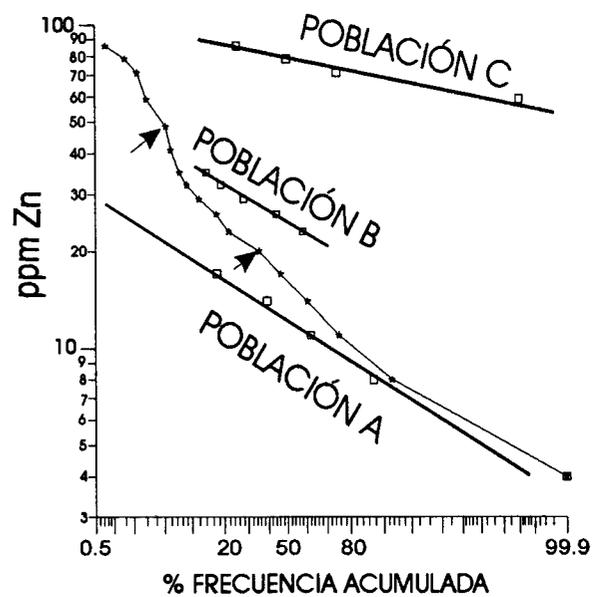
POBLACIÓN	LIMITES	%
A	FONDO REGIONAL < 1,8 ppm	7,46
B	MEZCLA A+C entre 1,8 y 3,2 ppm	73,14
C	POSIBLE ANOMALIA > 3,2 ppm	17,16



POBLACIÓN	LIMITES	%
A	FONDO REGIONAL < 8 ppm	43,93
A'	ALTO FONDO REGIONAL entre 8 y 12 ppm	47,02
B	MEZCLA A'+C entre 12 y 16 ppm	5,22
C	POSIBLE ANOMALIA > 16 ppm	3,73



POBLACIÓN	LIMITES	%
A	FONDO REGIONAL < 14 ppm	36,57
B	MEZCLA A+C entre 14 y 29 ppm	54,47
C	POSIBLE ANOMALIA > 29 ppm	8,96



POBLACIÓN	LIMITES	%
A	FONDO REGIONAL < 20 ppm	64,93
B	MEZCLA A+C entre 20 y 59 ppm	32,07
C	POSIBLE ANOMALIA > 59 ppm	3

Fig. 3.—Gráficos logarítmico-probabilísticos para los resultados analíticos de cadmio, cobre, plomo y zinc en los sedimentos estudiados. Los puntos de inflexión, que marcan los límites entre poblaciones considerados en este estudio, aparecen señalados con flechas. También se muestran, en la tabla inmediatamente inferior a la representación de cada elemento, los valores considerados como límite entre las distintas poblaciones determinadas y los porcentajes (%) que cada una de dichas poblaciones representa con respecto al total de los datos analíticos para cada uno de los metales tratados.

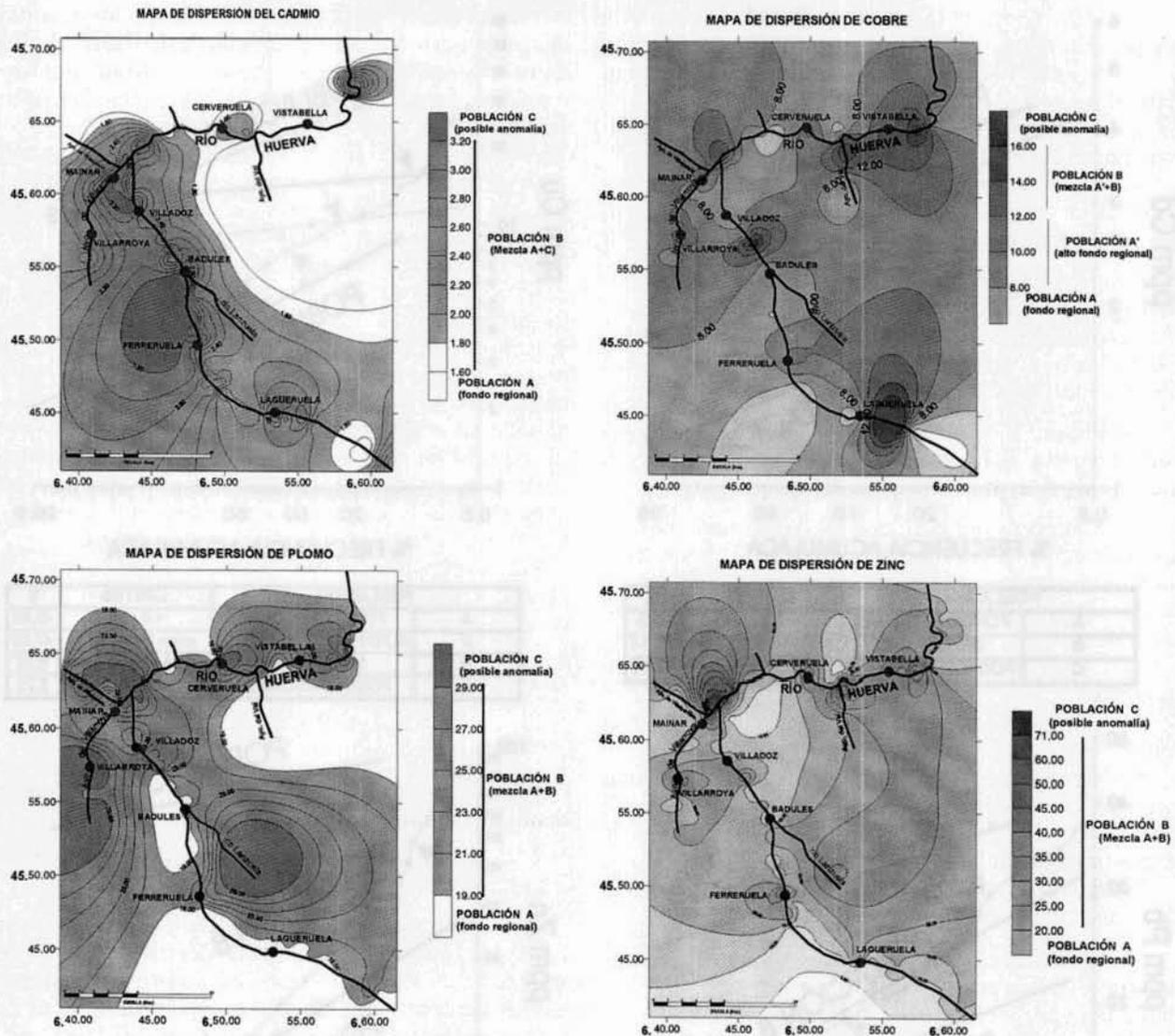


Fig. 4.—Mapas de dispersión elaborados según el método de las medias móviles con los contenidos totales de cadmio, cobre, plomo y zinc en los sedimentos fluviales finos de la cabecera del río Huerva.

datos acumulados de las dos campañas de campo, con el fin de disponer de una nube de puntos lo más amplia posible. Los mapas obtenidos para los cuatro elementos tratados, referenciados en coordenadas de longitud y latitud, aparecen en la figura 4.

La interpretación de las distintas *posibles anomalías geoquímicas positivas* se ha estructurado para cada elemento por separado, detallándose a continuación:

— Cadmio: En el mapa de dispersión elaborado para este elemento se observan cuatro zonas de posible anomalía geoquímica positiva:

1. Río Huerva a su paso por Ferrerueta, Villahermosa y Badules, formando una única aureola de

dispersión de gran extensión lateral (unos 5 km del cauce).

2. Río Huerva a su paso por Villadoz: Posible anomalía puntual, de escasa repercusión lateral.

3. Arroyo de Villarroya a su paso por Mainar.

4. Unos 4 km aguas abajo de Vistabella, de carácter muy puntual.

Además de estas zonas, se observan máximos locales en el río Huerva a su paso por Lagueruela, entre Badules y Villadoz, en Cerveruela y aguas abajo de la confluencia con el arroyo de Villarroya.

— Cobre: Para este elemento, el mapa de dispersión construido muestra cuatro zonas de posible anomalía geoquímica positiva:

1. Río Huerva a la salida de Bea: La aureola de dispersión tiene una extensión lateral de unos 4 km.
2. Tramo Badules-Villadoz, con una extensión lateral de unos 3 km.
3. Desembocadura del Arroyo del Val, sin apenas incidencia sobre el cauce principal.
4. Unos 4 km aguas abajo de Vistabella, cuya aureola de dispersión presenta un máximo desplazado aguas abajo.

Asimismo se aprecian zonas de alto fondo regional (población A') y de mezcla (población B) en Ferrerueta, Villarroya, confluencia entre el arroyo de Villarroya y el río Huerva, Cerveruela, cabecera del río Lanzuela y Vistabella.

— Plomo: Para este elemento el mapa de dispersión muestra siete zonas de posible anomalía geoquímica positiva:

1. Cabecera del río Lanzuela: Posible anomalía extensa (unos 3 km de extensión lateral) y sin incidencia sobre el cauce del río Huerva.
2. Tramo Badules-Villadoz, de escasa repercusión lateral.
3. Arroyo de Villarroya, prácticamente en su totalidad.
4. Arroyo de Villalpando, a su paso por Torralbilla.
5. Arroyo de Villarroya aguas abajo de Mainar y en torno a la confluencia con el río Huerva.
6. Río Huerva a su paso por Cerveruela, de escasa extensión lateral.
7. Unos 4 km aguas abajo de Vistabella: Posible anomalía puntual.

— Zinc: El mapa de dispersión para este elemento (fig. 4) muestra una única zona muy puntual y de aureola de dispersión poco extensa en torno a la confluencia del arroyo de Villarroya con el río Huerva.

Además de esta zona de contenidos posiblemente anómalos, se observan máximos locales en el río Huerva a su paso por Ferrerueta de Huerva, en el tramo entre Badules y Villadoz, en la cabecera del río Lanzuela, en Villarroya, en el río Huerva a su paso por Cerveruela y en la desembocadura del arroyo del Val.

## Discusión

El propósito final de este estudio es la localización y caracterización de las fuentes de aporte anormalmente elevado al cauce de los elementos estudiados, lo que permitirá evaluar su importancia y su posible impacto. Para alcanzar este objetivo es

imprescindible realizar una síntesis de los resultados obtenidos tras el tratamiento estadístico de los datos analíticos y cotejarlos con el resto de la información disponible (litología, hidrológica, de indicios mineros, observaciones de campo, etc.).

El estudio e interpretación de los gráficos logarítmico-probabilísticos mostraba una notable complejidad en las distribuciones de contenidos para los elementos tratados, lo que responde, sin duda, a la existencia de fuentes de aportes también múltiples y complejas, cuyos límites han sido identificados y cuantificados.

Como complemento, la elaboración de mapas de dispersión y la elección de umbrales de posible anomalía geoquímica positiva han proporcionado información sobre la posición y alcance en el cauce del río Huerva de las posibles anomalías para los cuatro elementos estudiados. El siguiente y último paso ha consistido en la identificación de los focos contaminantes que conducen a la degradación del río.

Para una mejor comprensión de dichas fuentes de aporte, éstas han sido sistematizadas en dos grupos principales:

1. Anomalías justificables por la alteración de las mineralizaciones presentes en el área de estudio.
2. Anomalías justificables por la existencia de un foco contaminante de origen antrópico.

Las características y subtipos de ambos grupos se detallan a continuación:

1. Mineralizaciones presentes en el área de estudio:

A lo largo de toda el área de estudio existen numerosas mineralizaciones dispersas de Cu, Pb y Zn, de escaso interés económico pero con entidad suficiente como para aportar notables cantidades de estos metales a la red de drenaje del río Huerva.

Esta fuente natural es, en nuestra opinión, la causante de los elevados contenidos en Cu entre Bea y Lagueruela y de Pb, Zn y Cu en la cabecera del río Lanzuela. En ambas zonas se ubican mineralizaciones muy contrastadas de sulfuros y óxidos de estos elementos (véase el *Mapa Metalogénico de España escala 1:200.000. Hoja n.º 40 «Daroca»*).

2. Fuentes antrópicas:

Los focos contaminantes de este tipo que hemos podido contrastar durante la campaña de campo se pueden agrupar en los siguientes:

- a) Infraestructuras municipales:

El examen detallado de los mapas de dispersión permite observar la existencia de una concordancia casi perfecta entre las zonas de la red de drenaje que

presentan contenidos anormalmente altos para tres de los elementos estudiados: Cu, Zn y Pb. Las aureolas de dispersión de estos metales, a su vez, coinciden de forma prácticamente exacta con la posición de los municipios.

Esta situación es muy frecuente en estudios de geoquímica ambiental, sobre todo cuando éstos se llevan a cabo en zonas altamente industrializadas. Sin embargo, en nuestra zona de estudio la actividad fundamental de las localidades es la agricultura, sin que apenas exista desarrollo industrial.

La existencia de correlación casi perfecta entre asentamientos urbanos y zonas de posible anomalía sugiere que son precisamente los municipios la principal fuente de elevados aportes de Cd, Cu, Pb y Zn a la red de drenaje del río Huerva en la zona estudiada. Este hecho es fácilmente comprobable en campo, ya que pueden apreciarse cambios de las características del cauce (mal olor, espuma, eutrofización, presencia de residuos sólidos y líquidos) en las inmediaciones y aguas abajo de las poblaciones.

Es muy probable que los aportes anormalmente elevados de Cu, Pb y Zn en estas zonas provengan en su mayoría de la corrosión y deterioro de los sistemas de tuberías municipales, que estaban fabricados precisamente a partir de estos metales. Esta fuente de aporte de metales pesados a medios fluviales ya ha sido reseñada por otros autores (Hellmann, 1972; Förstner y Müller, 1973, etc.). En el caso del Cd, aunque la distribución de este elemento está estrechamente relacionada con la del Zn (a cuyos compuestos y mineralizaciones se asocia), existe un ligero desajuste entre las aureolas de dispersión de estos metales. Este hecho es fácilmente explicable por la mayor movilidad del zinc, que se refleja en los mapas de dispersión por una desviación de los picos de máximo contenido en este elemento en el sentido de circulación del río.

#### b) Actividades contaminantes:

— Vertidos de combustible y otros desechos de motor. Hemos detectado estas actividades en dos de las zonas de posible anomalía:

- Unos 4 km aguas abajo de Vistabella, donde se ubicaba durante el período de recogida de muestras una explotación maderera con abundante maquinaria pesada que realizaba vertidos de este tipo en las inmediaciones del cauce. Esta posible anomalía, por tanto, debe ser de carácter esporádico y estar restringida precisamente a los meses de actividad maderera, por lo que su repercusión en el medio probablemente es menor de la esperable tras examinar los contenidos hallados en la zona para Cu, Pb y Zn.

- En el tramo entre Badules y Villadoz, en el que durante la recogida de las muestras se observó la presencia en el agua de masas oleosas de procedencia desconocida.

— Ubicación de vertederos municipales o sin regulación:

La presencia de estas zonas de vertido influye en mayor o menor medida en todas las posibles anomalías detectadas, siendo especialmente evidente esta influencia en el talud de la carretera N-330 en el acceso a Mainar, en el que se realiza un gran número de vertidos incontrolados, fundamentalmente desechos metálicos (carrocerías de automóvil, etc.), cuya corrosión se realiza directamente en el río.

— Emisiones atmosféricas de Pb, Cd y otros aditivos de la gasolina. Esta fuente de aporte es especialmente relevante en la zona de confluencia entre el río Huerva y el arroyo de Villarroja, situada a escasos metros de la carretera N-330, cuyo denso tráfico tiene una evidente repercusión en el entorno. No es extraño, por lo tanto, que junto a esta carretera se ubique una de las zonas más consistentes de posible anomalía.

## Conclusiones

Tras el desarrollo de este estudio geoquímico se posee un gran número de datos sobre las características geoquímicas de los sedimentos fluviales del río Huerva en su zona de cabecera y sobre la influencia e importancia de dichas características en la degradación de la red de drenaje.

El estudio de las poblaciones inferidas mediante la construcción de gráficos logarítmico-probabilísticos y su extrapolación a la elaboración de mapas de dispersión ha permitido determinar la localización y alcance de las anomalías geoquímicas positivas en los contenidos de Cu, Cd, Pb y Zn en los sedimentos fluviales del cauce alto del río Huerva. El cotejo con las observaciones de campo, por otra parte, ha permitido realizar una aproximación a las posibles causas de esta degradación y a la identificación de las principales fuentes de aporte anómalo de los elementos estudiados al cauce, entre las que conviene destacar las derivadas de la presencia y actividad antrópica.

En resumen, las principales características de las aureolas de dispersión asociadas a las anomalías detectadas para estos cuatro elementos son:

1. Corresponden a poblaciones complejas con notable grado de solapamiento, como consecuencia de la presencia de fuentes de aporte variadas y poli-

genéticas que pueden agruparse según dos tipos bien diferenciados de fuentes de aporte anómalo de metales:

a) Anomalías debidas a la meteorización natural de mineralizaciones de óxidos y sulfuros metálicos dispersos por el área de estudio.

b) Anomalías debidas a la presencia o actividad antrópica. Esta parece ser, por su influencia y rango, la más importante en la degradación de la red de drenaje estudiada.

2. Su ubicación y alcance dispersivo es muy similar para los cuatro metales tratados y, en la mayor parte de los casos, coincide con la localización de los municipios adyacentes a la red de drenaje.

3. El entorno físico-químico de la red de drenaje estudiada proporciona unas buenas condiciones de regeneración natural en las condiciones actuales, permitiendo una rápida dilución lateral de las aureolas de dispersión de las anomalías, cuya extensión no excede en ningún caso de los 6 km. Únicamente consideramos necesario recomendar un seguimiento de las anomalías antrópicas detectadas en casi todos los municipios de la zona, ya que el resto, o bien son de carácter esporádico, o bien son consecuencia de la meteorización natural de mineralizaciones de la zona de estudio y, por tanto, de difícil control.

## Referencias

Ascaso, A. y Cuadrat, J. M. (edit.) (1981). *Geografía de Aragón, I*. Ed. Guara, Zaragoza.

Azcárate, J. E. (1971). Fundamentos geológico-matemáticos para la interpretación de prospecciones geoquímicas sobre sedimentos de redes de drenaje. *I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Madrid, 19-23 de septiembre; Lisboa, 24-25 de septiembre de 1971*. Tomo I, Sección 6: 31-50.

Carls, P. (1983). *La zona Asturoccidental-Leonesa en Aragón y el Macizo del Ebro como prolongación del Macizo Cantábrico*. Libro Jubilar J. M. Ríos, III. IGME, págs. 11-32.

Förstner, U. y Müller, G. (1973). Heavy metals accumulation in river sediments: a response to environmental pollution. *Geoforum*, 14/73: 53-61.

García, R. (1986). *Estudio hidrogeológico de los ríos Jalón, Gállego, Huerva y Ebro y evaluación del efecto contaminante de los vertidos residuales de la ciudad de Zaragoza*. Instit. Fernando el Católico, Zaragoza, 228 págs.

Hellmann, H. (1972). Herkunft der Sinkstoffablagerungen in Gewässern. *Deutsche Gewässerkundl. Mitt.*, 16: 137-151.

IGME (1973). *Mapa Metalogenético de España escala 1:200.000. Hoja n.º 40 «Daroca»*.

ITGE (1991). *Mapa Hidrogeológico de España escala 1:200.000. Hoja n.º 40 «Daroca»*.

Parslow, G. R. (1974). Determination of background and threshold in exploration geochemistry. *J. Geochem. Expl.*, 3: 319-336.

Sánchez-Navarro, J. A. (1985). *Estudio hidrogeológico e hidroeconómico de la cuenca del río Huerva aguas arriba del Embalse de Las Torcas (provincias de Zaragoza y Teruel)*. Tesis Licenc. Univ. Zaragoza, Centro de Estudios Darocenses, 246 págs.

Sinclair, A. J. (1973). Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs. *J. Geochem. Expl.*, 3: 129-149.

Tennant, C. B., y White, M. L. (1959). Study of the distribution of some geochemical data. *Econ. Geol.*, 54: 1281-1290.

Recibido el 19 de septiembre de 2000.

Aceptado el 22 de diciembre de 2000.