

Concentración de minerales pesados mediante técnicas de batea y su interpretación

Concentration of heavy minerals by panning and its interpretation

MANUEL TOSCANO, RAFAEL PÉREZ-LÓPEZ Y REINALDO SÁEZ

Departamento de Geología, Universidad de Huelva. Campus 'El Carmen' s/n 21071 Huelva. E-mail: mtoscano@uhu.es; rafael.perez@dgeo.uhu.es; saez@uhu.es

Resumen La prospección aluvionar, también conocida como prospección con batea, se centra en buscar minerales pesados en acumulaciones de tipo placer. Los placeres son depósitos de minerales en grano de alta resistencia resultantes de la denudación de un macizo rocoso y que han sido concentrados por agentes mecánicos exógenos como, por ejemplo, el agua en cursos fluviales o playas. La búsqueda de algunos de estos minerales, principalmente oro y gemas, siempre ha despertado el interés del hombre. Esto puede usarse como un reclamo para introducir conceptos geológicos y mineralógicos en alumnos de Educación Secundaria y Universidad. En este trabajo, se propone un taller didáctico que enseñe a usar la batea como técnica de prospección aluvionar, a la vez que permita a los estudiantes disfrutar de una actividad respetuosa con el medioambiente y que actualmente es un deporte.

Palabras clave: Bateo, prospección, exploración, minerales pesados, madurez textural, procedencia.

Abstract *Aluvionar prospecting, also known as prospecting with a pan, focuses on finding heavy minerals in placer accumulations. Placers are deposits of mineral grains with high resistance resulting from the weathering of a rock massif, which have been concentrated by exogenous mechanical factors such as, for example, water in fluvial courses or beaches. The search for some of these minerals, mainly gold and gems, has always aroused man's interest. This can be used as a decoy to introduce geological and mineralogical concepts to students of Secondary Education and University. In this paper, we propose a didactic workshop that teaches how to use the pan as a technique of aluvionar prospecting, which also allows the students to enjoy themselves with an environmentally friendly activity that is now a sport.*

Keywords: *Panning, prospecting, exploration, heavy minerals, textural maturity, provenance.*

INTRODUCCIÓN

El interés del hombre por los minerales se despertó con el inicio de su desarrollo cultural, quedando reflejado en muchos vestigios arqueológicos desde edades incluso paleolíticas (Camprubí et al., 2003). En ciencias geológicas, la búsqueda y posterior extracción de minerales y rocas con interés económico se conoce como prospección y explotación minera. En concreto, la prospección aluvionar es la técnica más ancestral, tradicional, simple y de menor coste económico usada por el hombre para la búsqueda de minerales pesados en sedimentos de corriente. Se definen como minerales pesados aquellos que presentan una densidad superior a la del

cuarzo y otros minerales comunes formadores de rocas. Esta técnica de prospección se emplea para la búsqueda de yacimientos de tipo placer, principalmente de oro (Viladevall, 2005).

La batea es la herramienta principal de la prospección aluvionar desde la más remota antigüedad. Consiste simplemente en una única pieza con forma de plato cónico de acero inoxidable, hierro, plástico o madera que presenta un radio de 2 a 3 veces su altura. Una variedad de batea muy extendida es la tipo "pan californiano", la cual se caracteriza por presentar el fondo plano. Este instrumento permite lavar sedimentos de corriente para eliminar los minerales ligeros y concentrar los minerales pesados. La operación de lavado consiste esencialmente en

llenar la batea con sedimentos y agua de corriente, y la suspensión se hace girar con movimientos oscilatorios para separar las partículas ligeras y acumular las partículas pesadas en el fondo. Algunas bateas de tipo “pan californiano” cuentan con unos escalones o rifles diseñados para impedir la pérdida de minerales pesados durante el lavado.

El bateo para la búsqueda de oro se remonta a la época prerromana. En la Península Ibérica, los primeros indicios de este método se atribuyen a los vetones, pueblo prerromano de cultura celta asentado entre los ríos Duero y Tago en el siglo V a.C. (Sánchez Moreno, 2000). Posteriormente, continuó durante la dominación árabe y se extendió casi hasta la actualidad. La fascinación del hombre por el oro ha sido el motor de importantes migraciones y conflictos entre civilizaciones desde tiempos remotos. Si bien, el periodo de migración más impresionante de la historia relacionado con la búsqueda de este metal precioso se conoce como “La Fiebre del Oro” y tuvo lugar en California entre 1848 y 1855. Un carpintero, James Marshall, se encontró por casualidad una pepita de oro que causó la mayor estampida humana de la era moderna. Más de doscientas cincuenta mil personas dejaron sus trabajos y hogares para llegar hasta California en búsqueda de riqueza, aunque al final la mayoría de ellos cayeron en la más absoluta de las ruinas. Como dato anecdótico hay que indicar que la pepita de oro más grande hasta ahora descubierta pesa 78,4 kg y fue encontrada en el estado de Victoria (Australia) por Welconze Stranger en 1869.

La batea siguió siendo el utensilio más eficaz en prospección y explotación de placeres durante el siglo XX, y aún lo es en el siglo XXI. La fiebre del oro tuvo un pequeño rebrote en Finlandia después de la II Guerra Mundial. Si bien, la ambición de los buscadores de oro como fuente de riquezas se fue perdiendo, y la actividad del bateo se transformó hacia los años 70 del pasado siglo en un curioso deporte. De hecho, algunos nostálgicos buscadores de oro se reunieron en la localidad finlandesa de Tankavaara para celebrar el Primer Campeonato del Mundo de Bateo de Oro en 1977. Desde entonces, numerosas asociaciones de bateadores de oro repartidas por todo el mundo han convertido la tradición del bateo en una actividad lúdica.

La prospección con batea se aplica principalmente en placeres asociados a depósitos fluviales y litorales. Además del ya comentado oro, este método también permite la exploración y explotación directa de otros minerales pesados con interés económico, tales como las gemas (diamante, corindón, esmeralda,...). Si bien, la prospección aluvionar con batea igualmente se utiliza como método indirecto de exploración de yacimientos primarios, ya que permite el estudio de anomalías mineralógicas en los sedimentos de los cursos fluviales que los drenan.

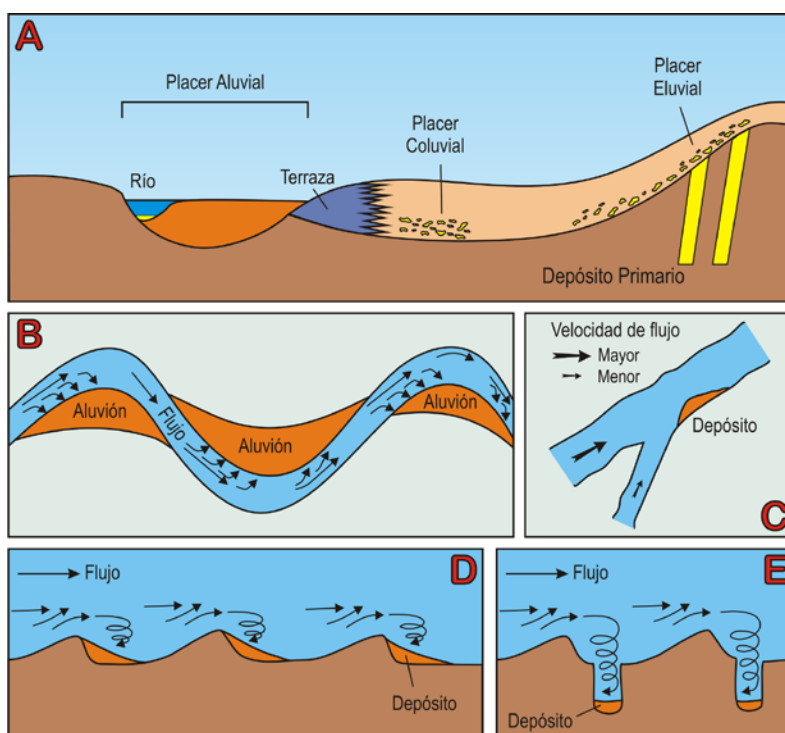
El principal objetivo de este artículo es proponer una actividad, basada en la técnica del bateo, que fomente el interés de los estudiantes por los minerales. A través de esta actividad, los estudiantes de secundaria y universidad podrán practicar las técnicas tradicionales utilizadas en la búsqueda de oro y de otros recursos minerales de interés económico. Este taller didáctico permitiría además potenciar en los estudiantes un interés general por la geología, de un modo respetuoso con el medioambiente. La posibilidad de que aparezcan pequeñas partículas de oro, en función del área elegida, o de otros minerales de interés supone un aliciente adicional para motivar al alumnado en este taller didáctico.

SEDIMENTOS DETRÍTICOS Y DEPÓSITOS DE “PLACER”

El éxito de la prospección está relacionado con la selección de la zona de bateo. Para ello, los criterios geológicos deben conducir a la localización de depósitos tipo placer. Entendiéndose por placer aquel tipo de depósito de arena, grava u otros materiales residuales o detríticos que contienen uno o más minerales de valor económico, los cuales se han acumulado por procesos de meteorización y concentración mecánica (Slingerland y Smith, 1986). En estos depósitos, los minerales pesados se encuentran con un tamaño que varía desde partículas finísimas, difíciles de recuperar, hasta pepitas de dimensiones considerables. De acuerdo a su contexto geológico, estos depósitos se pueden clasificar en (Fig. 1A):

Placer eluvial. Son aquellos depósitos formados por descomposición de la roca matriz in situ y,

Fig. 1. (A) Sección esquemática de un valle fluvial y las relaciones entre los depósitos de tipo eluvial, coluvial y aluvial. Formación de depósitos aluviales que actúan concentrando minerales pesados en: (B) las curvas de los ríos (meandros), (C) la confluencia de dos ríos con diferentes velocidades, (D) las zonas accidentadas del lecho del río y (E) las marmitas (potholes) que se forman en lechos rocosos. Modificado de Pereira et al. (2005).



por consiguiente, generados por la acción mecánica y química de la meteorización. También son referidos como depósitos residuales. Estos depósitos sobreyacen o se localizan en la proximidad de la roca fuente, y el grado de concentración de los minerales más resistentes está muy condicionado por la topografía y el clima. En proceso de enriquecimiento o concentración en estos depósitos se produce a consecuencia de la disolución de minerales en las aguas meteóricas y del transporte de los minerales ligeros, que son arrastrados por el agua y/o viento.

Placer coluvial. Representan una transición entre el material proveniente de un depósito residual a sedimentos aluviales. Son concentraciones al pie de la ladera producidas por desplazamiento gravitacional, donde influye directamente la velocidad diferencial de enterramiento de los minerales pesados y ligeros, y la velocidad diferencial de desplazamiento de las partículas en el plano paralelo a la línea de pendiente.

Placer fluvial o aluvial. Se considera al conjunto de partículas no consolidadas que contiene grava, arena, limo, y/o arcilla, depositado y/o que está depositándose principalmente a lo largo de los cursos fluviales. Se subdividen en:

(A) *Depósitos de terrazas.* Son acumulaciones clásticas dejadas por los ríos y sus afluentes durante etapas anteriores en diferentes períodos de avenida de los ríos. Están constituidos por arcilla, limo, arena y/o grava, que yacen horizontalmente.

(B) *Depósitos fluviales recientes.* Son sedimentos depositados periódicamente en los lechos de los ríos y están relacionados con las avenidas en época de lluvias. Las zonas más comunes para el bateo son los lechos de los ríos, y los puntos más adecuados están relacionados con cambios bruscos en la energía de la corriente. La regla general que determina la distribución de sedimentos puede enunciarse de la siguiente manera: “el agua erosiona las orillas cóncavas y deposita en las con-

vexas” (Fig. 1B); como consecuencia, los bancos de sedimentos se depositan en las partes convexas del lecho, donde la velocidad de la corriente fluvial es menor, situándose los fragmentos mayores próximos a la corriente y la grava fina y arena en el lado opuesto. Además, existen otras zonas de depósito de sedimentos, tales como las uniones de cursos fluviales con diferentes velocidades (Fig. 1C), zonas accidentadas del lecho del río (Fig. 1D) o zonas donde se concentra el flujo turbulento y pueden llegar a generar cavidades excavadas en el lecho rocoso de los cauces conocidas como marmitas (Fig. 1E).

Placer litoral. Son los depósitos situados en la línea de costa, formados por la concentración de minerales pesados a consecuencia del embate de las olas, que arrastran las partículas menos pesadas, concentrando de esta manera las partículas más pesadas que provienen de las terrazas marinas costeras y/o de los cauces fluviales.

MATERIALES

Para el bateo se necesita un poco de paciencia y unas herramientas de uso común. El equipamiento básico necesario incluye (Fig. 2):

- Mapas, para la ubicación de los parajes a los que se accede.
- Botas de agua.
- Pala pequeña para la toma de muestra.
- Pico para excavar en los sedimentos.
- Tamiz, que se utiliza para filtrar o clasificar los fragmentos mayores, haciendo que el proceso de bateo sea mucho más fácil. Los tamices más utilizados son aquellos que dejan pasar la fracción de sedimentos que está por debajo de los 5 a 10 mm.
- Batea grande (350-400 mm de diámetro), con o sin rifles, para un primer proceso de concentración de minerales pesados.
- Batea más pequeña (250-300 mm de diámetro) para realizar un concentrado más preciso.
- Lupa de bolsillo, para facilitar la observación del concentrado.
- Pinzas para extraer partículas minerales de interés.
- Pipeta Pasteur de plástico para succionar la muestra concentrada.
- Botes pequeños de plástico transparente para almacenar la fracción separada.
- Bolsas de plástico para almacenamiento de la muestra.
- Rotulador indeleble para marcar los botes o bolsas.

Otras herramientas que pueden resultar convenientes, en función de las posibilidades y/o del clima, para llevar a cabo el bateo son: dispositivo GPS para la localización precisa de los puntos de

Fig. 2. Selección de herramientas básicas para el bateo.



muestreo, imán para la retirada de los minerales magnéticos en campo, protección solar, sombrero y repelente de insectos.

FUNDAMENTO FÍSICO DEL BATEO

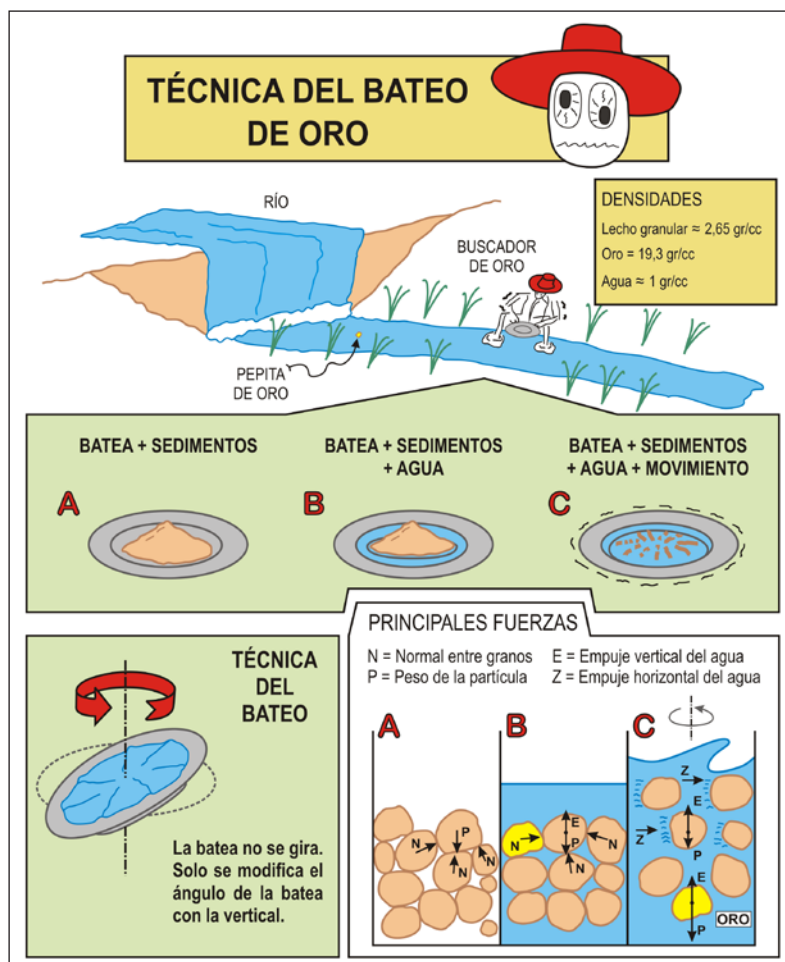
En la figura 3 se representa el fundamento físico de la técnica de bateo. Aunque dicho fundamento pueda parecer complicado, la operación en sí es tan sencilla que sólo es necesario un único operario. Si la batea estuviese llena exclusivamente por sedimentos sin agua (Fig. 3A), las principales fuerzas que actúan sobre cada grano de mineral en reposo son de dos tipos: el *peso* de la partícula (P) y las *fuerzas normales* (N) que ejercen los granos circundantes que están en contacto de acuerdo al principio de acción y reacción (tercera ley de Newton). El peso es una fuerza vertical y hacia abajo, mientras que las fuerzas normales que actúan sobre cada grano son perpendiculares a las superficies de contacto con los granos adyacentes. Al sumergir el sedimento en agua (Fig. 3B), sobre los granos en reposo actúa una fuerza también vertical pero hacia arriba conocida como *empuje* (E) de acuerdo al principio de Arquímedes. La técnica consiste en mover la suspensión de agua y sedimento inclinando la batea un cierto ángulo, y modificando dicho ángulo y su orientación con respecto a la vertical. La suspensión adquiere un movimiento circulatorio; aunque es importante resaltar que la batea no gira.

Al comenzar el movimiento de bateo (Fig. 3C), las fuerzas normales que actúan sobre cada grano disminuyen notablemente debido a que existe un menor contacto entre partículas. En esta situación, la estabilidad de los granos depende fundamentalmente de la relación entre su peso y la fuerza de empuje del agua. Si el peso de los minerales es mayor que el empuje que recibe hacia arriba, éstos se hunden en el fondo de la batea. Por lo contrario, los minerales ligeros tienden a ascender y ser arrastrados por el *empuje horizontal* (Z) del agua en movimiento circular (Fig. 3C). Estos minerales más livianos situados en la parte superior de la suspensión se desprenderán más fácilmente por el borde al inclinar la batea, o al sumergirla esporádicamente en la corriente de agua. Al final de la operación, los posibles minerales pesados son los que resistirán el movimiento y quedarán concentrados en el fondo de la batea.

DESARROLLO DE LA TÉCNICA DE BATEO

Selección de la zona

La primera tarea a la que se debe enfrentar un bateador es la adquisición de información geológica y minera. Se consultarán las fuentes bibliográficas que permitan orientar la exploración hacia áreas en las que previamente se han identificado aquellos mine-



rales considerados de interés, bien sea porque en sus proximidades existen minas antiguas o bien porque las rocas de la región son susceptibles de tener una mineralogía interesante. A posteriori, se examinan los mapas topográfico y geológico de la zona, con el objeto de analizar la red de drenaje y las litologías presentes en las diferentes áreas fuentes. Estos mapas pueden obtenerse de forma gratuita en las páginas del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.es) y del Instituto Geológico y Minero de España (www.igme.es).

Una vez seleccionada el área de bateo, se deben considerar las vías de acceso que permitan llegar al punto elegido. Una vez allí, lo primero que se debe hacer, antes de empezar con el bateo, es explorar el entorno para localizar un lugar adecuado para la actividad. Se debe escoger un lugar donde el agua tenga por lo menos 15 centímetros de profundidad, y fluya lo suficientemente rápida como para evitar que se enturbie e impida observar el contenido de la batea, pero que su velocidad no sea tan elevada como para afectar a las operaciones propias del bateo y/o arrastrar las partículas que sean de interés.

Procedimiento para la toma de muestras

Tamizado

Se coge la muestra de sedimentos bien con las manos o con la ayuda de una pequeña pala. Se coloca un tamiz sobre la batea para seleccionar la

Fig. 3. Esquema que muestra la técnica del bateo como método de prospección aluvionar para la búsqueda de oro.





Fig. 4. Grupo de alumnos de Geología realizando prácticas de bateo en la ribera del Cala (Huelva).

fracción inferior a 5-10 mm, y se aporta material hasta llenar las tres cuartas partes del plato. En determinados casos, es conveniente hacer una inspección detallada del material grueso asistida con la lupa de bolsillo para evitar la pérdida de minerales de interés de tamaño superior a los que se van a batear.

Bateo

A continuación, se coloca la batea justo por debajo de la superficie del agua y se agita enérgicamente con un movimiento de vaivén, asegurándose que no se pierde material. Después, y como se comentó anteriormente, se cambia a un movimiento principal de agitación suave por inclinación de la batea y variación de la orientación de dicha inclinación con respecto a la vertical (Fig. 4). De este modo, el material comienza a dibujar una trayectoria circular. Este movimiento enérgico inicial favorece que los minerales pesados se desplacen hacia el fondo de la batea. Esta fase del bateo hará que la mayor parte de la suciedad y el barro (arcillas) sean lavados. Si

Fig. 5. Alumnos en las últimas etapas del bateo. Nótese que el bateador del fondo se encuentra observando el concentrado, previamente a su extracción.



hay raíces u otros restos vegetales, se retiran con los dedos. Igualmente, se utilizarán los dedos para deshacer los grumos de material, ya que pueden contener minerales interesantes. Esto ocurre especialmente con partículas finas de oro que quedan adheridas a los grumos de arcillas.

Con la batea por debajo del agua, se inclina ligeramente hacia el bateador y se comienza a hacer girar el agua con un ligero movimiento de lanzamiento hacia delante. Este movimiento debe ser suave, pero con fuerza suficiente como para mover el material más ligero hacia el borde de la batea. Tanto el material más ligero como los fragmentos mayores se concentrarán en la zona superior y se desplazan hacia la parte delantera de la batea. Este material puede ser “desnatado” o eliminado por encima del borde de la batea con los dedos. De vez en cuando se debe colocar la batea horizontalmente y se someterá a un movimiento hacia atrás y adelante para que el material ligero se desplace hacia la superficie y el pesado ocupe las zonas más profundas. La repetición de estos movimientos facilita que sólo quede material pesado en el fondo de la batea. Dicho material es conocido como “arena negra” o “concentrado”.

En este punto es mejor que el bateador con poca experiencia saque la batea fuera del agua, dejando aproximadamente una lámina de agua de unos 3 centímetros dentro de ella. Se debe inclinar la batea ligeramente hacia el bateador y agitar el agua poco a poco en un movimiento circular para comprobar la presencia de minerales que puedan ser fácilmente retirados con la mano y/o pinzas, ya que quedan en la cola de los sedimentos (Fig. 5). Luego, se sumerge de nuevo la batea en agua y se repite el proceso de bateo para refinar el concentrado final. Hay que tener la precaución de que este último proceso se lleve a cabo con diligencia, para no perder aquellos minerales que puedan ser objeto de interés. Esta etapa se puede hacer con una batea pequeña.

Extracción y etiquetado

El concentrado de minerales pesados se vierte en un contenedor adecuado al tamaño de la muestra que se pretende recolectar. En el caso de que existan granos específicos que se quieran separar, como por ejemplo partículas de oro, se utiliza una pipeta Pasteur o unas pinzas para recogerlas del fondo de la batea y depositarlas en el portamuestras. El etiquetado de las muestras debe realizarse utilizando rotuladores indelebles. El control de las muestras recogidas puede hacerse mediante fichas, en las que se introduzcan las coordenadas del punto de muestreo, las características del punto, el operador que realiza el bateo, la fecha de recogida y los rasgos fundamentales de la muestra extraída. La figura 6 representa un modelo estándar de ficha descriptiva.

ESTUDIOS DE LABORATORIO

Para interpretar los resultados de un muestreo con batea, el concentrado de minerales pesados debe procesarse mediante diversas técnicas. A continuación se describen los principales métodos utilizados en laboratorios preparados al efecto.

Limpieza en la columna de líquidos densos

A pesar de que las técnicas de bateo son muy eficientes en la separación de los minerales presentes en una muestra por densidades, es inevitable que aparezca una cierta contaminación por minerales ligeros. Para depurar las muestras se utilizan diversas técnicas de laboratorio, siendo la más usual la separación de los minerales ligeros por flotación en columnas de líquidos densos. La técnica requiere de embudos de vidrio, filtros de papel, vasos de precipitado, y un soporte de laboratorio para montar este equipamiento en forma de columna. El embudo debe ir equipado con una llave de paso que bloquee la circulación del medio denso. El medio denso más utilizado es el bromoformo, cuya densidad de 2,89 gr/cc permite eliminar algunos de los contaminantes más comunes de las muestras, entre otros el cuarzo (2,67 gr/cc) y los feldespatos (2,55 - 2,75 gr/cc) que constituyen la masa fundamental de la fracción arena de los detritus fluviales. Este trabajo debe realizarse en una campana extractora de laboratorio para evitar la inhalación de vapores que en algunos casos pueden resultar tóxicos.

Separación de fases ferromagnéticas

Los distintos minerales presentes en las muestras, previamente depuradas, se clasifican en distintas fracciones para posteriormente proceder a su identificación. El primer paso consiste en separar los minerales ferromagnéticos, por lo general muy abundantes en las muestras. Aunque la propiedad del ferromagnetismo la presentan varias especies minerales, las más comunes en los sedimentos son la magnetita y la ilmenita. Un simple imán de herradura o de cualquier otro tipo es suficiente para realizar esta separación. Para evitar que las partículas más finas queden adheridas al imán y resulte difícil

MUESTRA:	PESO:	MALLA DEL TAMIZ:
Coordenadas UTM	X:	
	Y:	
Lugar de muestreo		
Nombre	Descripción	Esquema
Operador:		
Minerales reconocibles con lupa de mano:		
Observaciones:		

su limpieza, es necesario cubrir el imán con un trozo de plástico o papel. Una bolsa de plástico, de las que normalmente se usan para el transporte y almacenamiento de muestras, permite realizar este proceso de manera eficiente al tiempo que permite recoger directamente el residuo. Esta separación también puede realizarse directamente en el campo si se incluye el imán como equipamiento necesario para el bateo.

Clasificación de minerales con lupa binocular

La lupa binocular representa el instrumento fundamental para el estudio de minerales en granos recogidos mediante bateo. Dependiendo del tipo de instrumento, pueden alcanzarse aumentos de hasta 100x. El estudio mediante lupa binocular permite la identificación de muchos de los minerales potencialmente presentes en la muestra. Dicha identificación se realiza en base a la observación del color, brillo, hábito y exfoliación. La Tabla I recoge los principa-

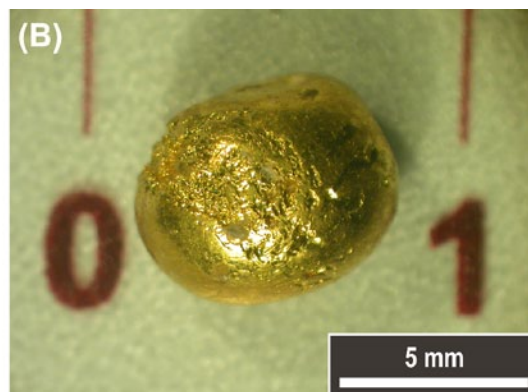
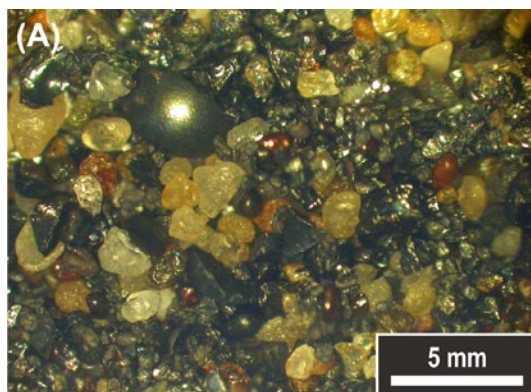
Fig. 6. Modelo de ficha para el registro de los puntos de muestreo en prospección mediante bateo.

MINERAL	PESO ESPECÍFICO	MINERAL	PESO ESPECÍFICO	MINERAL	PESO ESPECÍFICO
Circón	4,7	Granates	3,5-4,3	Casiterita	6,8-7,1
Magnetita	5,2	Apatito	3,1-3,2	Wolframita	7,0-7,5
Ilmenita	4,7	Sillimanita	3,2	Cinabrio	8,1
Rutilo	4,2-4,3	Estaurolita	3,6-3,8	Oro	15,0-19,3
Cromita	4,6	Corindón	4,0	Platino	14-19
Espinela	3,5-4,1	Xenotima	4,4-4,6	Osmioiridio	20,0-21,2
Anfíboles	2,9-3,4	Torita	5,3	Scheelita	5,9-6,1
Piroxenos	3,2-3,6	Monacita	5,0-5,3	Titanita	3,4-3,6
Cianita	3,5-3,7	Columbita	5,2-7,4	Tantalita	7,3-8,2
Diamante	3,5	Turmalina	3,0-3,3	Barita	4,5

Tabla I. Minerales comunes en la fracción pesada de los sedimentos detríticos y su peso específico. Modificada de Pereira et al. (2005) con datos de densidades de Klein y Hurlbut (1997).



Fig. 7. (A) Fotografía de la fracción pesada obtenida de batear sedimentos en la playa de Mazagón (Huelva). (B) Fotografía de una pepita de oro encontrada en una excavación arqueológica.



les minerales que comúnmente constituyen la fracción pesada de los sedimentos detríticos. La figura 7 muestra además una imagen digital de la fracción pesada de sedimentos de playa bateados, así como de una pepita de oro. Los minerales no identificables mediante la lupa binocular pueden separarse usando un pincel o unas pinzas para un estudio posterior con otros métodos de laboratorio complementarios.

Estudios complementarios

Las fracciones mineralógicas resultantes de la aplicación de las técnicas anteriores pueden ser estudiadas con métodos específicos para realizar clasificaciones inequívocas de los minerales representativos de las muestras de bateo. A menudo estas técnicas exigen una preparación específica como puede ser la molienda o la preparación de láminas delgadas o probetas pulidas para su estudio. Los equipos de caracterización mineralógica más comunes disponibles en laboratorios especializados son: microscopio petrográfico, microscopio electrónico de barrido con espectrómetro de dispersión de energía (SEM-EDS), difracción de rayos X (DRX), lámpara ultravioleta y separador isodinámico. Si bien, es importante resaltar que estas técnicas son poco accesibles para los estudiantes a los que se dirige este taller didáctico, y por tanto, su aplicación para la identificación de los minerales pesados sería opcional.

INTERPRETACION DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados puede abordarse con objetivos muy diversos y permite establecer diferentes estrategias didácticas.

Interpretación en términos de madurez textural y mineralógica

Durante el proceso sedimentario las rocas y los minerales son sometidos a la acción de diferentes agentes químicos y físicos cuya acción sobre los minerales está condicionada por factores extrínsecos e intrínsecos a su naturaleza. Entre los primeros pueden citarse el clima, topografía, tipo de red de drenaje, longitud del transporte y naturaleza del sustrato por el que circulan los fragmentos detríticos. En el caso particular de los sedimentos de playas marinas o lacustres, el tipo de costa y la energía del oleaje pueden ser también factores importantes en el proceso de degradación de los minerales. Los índices de esfericidad y redondeamiento (Fig. 8) son esenciales para determinar la madurez textural de los granos minerales y para realizar interpretaciones respecto al tipo de transporte, longitud, retrabajo, etc.

Los factores intrínsecos están relacionados con el comportamiento de los minerales durante los procesos geológicos que se desarrollan en condiciones superficiales. El factor esencial es la propia naturaleza de los minerales, que condicio-

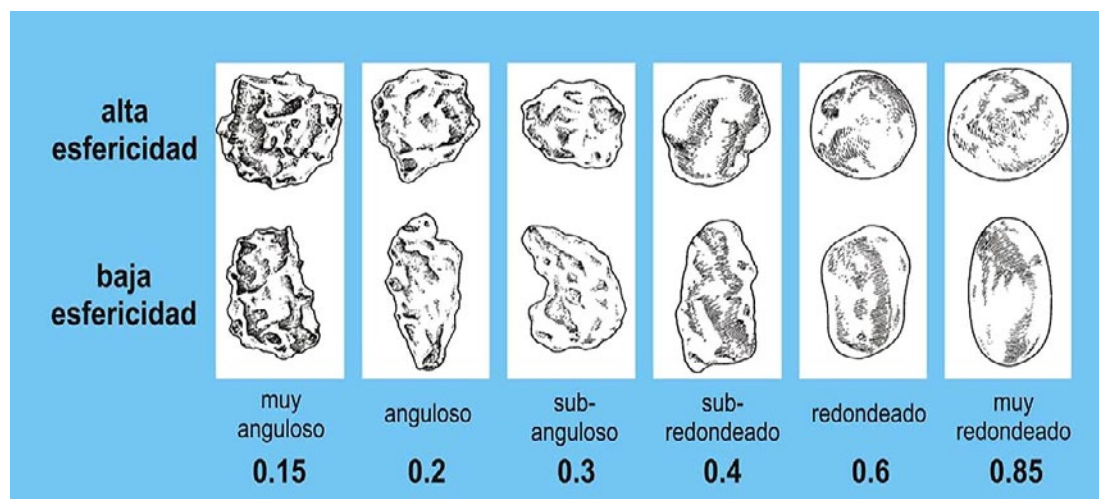


Fig. 8. Índice de redondeamiento para granos de alta y baja esfericidad (Modificado de Powers, 1953).

na las propiedades fisicoquímicas que determinan su comportamiento. El comportamiento químico de los minerales está relacionado con la naturaleza del enlace químico dominante y con la presencia de elementos sensibles en los procesos redox que se producen durante la meteorización química. En cuanto a las propiedades físicas, la dureza y la tenacidad son las más importantes en la preservación de los minerales en forma de granos y están relacionadas con aspectos esencialmente estructurales y con la energía de los enlaces que ligan los distintos elementos a la estructura.

La composición del sedimento y la madurez textural de sus componentes sirve de base para obtener datos respecto a la naturaleza del área fuente, distancia de transporte y, en el caso de sedimentos antiguos, establecer hipótesis paleoclimáticas.

Interpretación en términos de procedencias y naturaleza del área fuente

La presencia de algunos minerales en un sedimento puede resultar indicativa de la existencia de rocas concretas en el área fuente (Tabla II). Para realizar la interpretación pueden utilizarse mapas geológicos a diferentes escalas mediante los cuales correlacionar la composición mineralógica del sedimento con las rocas de las que potencialmente se derivan. Un procedimiento sencillo para la realiza-

ción de esta actividad consiste en la demarcación del área de drenaje, aguas arriba del punto de muestreo, sobre mapas geológicos de la serie MAGNA. Una vez reconocidos los minerales presentes en la muestra se intenta la correlación con los diferentes tipos de rocas. Algunos de los minerales más comunes en la fracción pesada de los sedimentos son indicadores muy pobres debido a que su presencia es común en rocas de diferente naturaleza; otros, sin embargo, permiten una correlación casi inmediata. Entre los primeros puede citarse el circón, que es un accesorio común en la mayoría de las rocas. La cromita puede ser ejemplar para ilustrar el caso contrario. Este mineral está presente en rocas ultramáficas o en acumulados de rocas máficas, de manera que, su presencia en un sedimento indica normalmente la existencia de rocas de esa naturaleza en el área de drenaje.

Interpretación en términos de exploración minera

Como se apunta en apartados anteriores, las técnicas de bateo son de amplia aplicación en la prospección de recursos minerales. La única condición es que las menas a prospectar cumplan los requisitos de concentración que se han citado para los minerales susceptibles de ser concentrados por métodos gravitatorios, o bien que aparezcan en asociaciones minerales características, de las cuales algunos de los componentes puedan obtenerse me-

ROCAS	MINERALES DENSOS COMUNES RESULTANTES DE SU METEORIZACIÓN EN CONDICIONES ESTÁNDAR
Metamórficas comunes	
Esquistos y gneises	Granate (almandino), estaurolita, sillimanita, cianita, ilmenita, rutilo
Mármoles (impuros)	Diópsido, espinela
Metabasitas (Anfibolitas)	Anfíbol (hornblenda), ilmenita, titanita
Metabasitas (Esq. Verdes)	Epidota, anfíbol (tremolita-ferroactinolita), granate
Ígneas comunes	
Granitos comunes	Circón, rutilo, turmalina, magnetita, titanita, monacita, apatito, allanita, fluorita
Granitos alcalinos	Circon, allanita, topacio, ambligonita, casiterita, columbita-tantalita, microlita
Pegmatitas graníticas	Turmalina, berilo, topacio, espodumena, casiterita
Sienitas	Magnetita, apatito, titanita, fluorita, piroxeno (alcalino), anfíbol, rutilo, ilmenita, circón, corindón, monacita, columbita, perovskita
Gabros y diabasas	Piroxeno (orto y clino), apatito, anfíbol, espinela, ilmenita, magnetita
Rocas ultrabásicas comunes (peridotita-dunitas-piroxenitas)	Olivino, piroxeno (orto y clino), magnetita, cromita, espinela, ilmenita, platino, osmioiridio
Kimberlitas y lamproitas	Ilmenita, piroxeno (rico en Cr), granate (piropo), cromita, espinela, magnetita, diamante
Carbonatitas	Magnetita, perovskita, piroxeno (orto y clino), titanita, espinela, anfíbol, ilmenita, ulvoespinela, anatasa, apatito, pirocloro, niobiotantalatos

Tabla II. Asociaciones de minerales pesados resultantes de la meteorización en condiciones estándar de rocas ígneas y metamórficas comunes. Modificada de Pereira et al. (2005).



	MINERALES	ROCAS PRIMARIAS	ASOCIACIONES
ASOCIACIONES COMUNES DE MINERALES DE INTERÉS ECONÓMICO EN PLACERES	Platino	Peridotitas, dunitas, gabros, serpentinitas	Magnetita, ilmenita, cromita, olivino, espinela, diamante,
	Oro	Filones de cuarzo litologías diversas	Arsenopirita y otros sulfuros, magnetita, ilmenita
	Diamante	Peridotitas, kimberlitas, lamproítas, conglomerados	Granate (piropo), ilmenita, magnetita, cromita, olivino, espinela, platino
	Casiterita	Pegmatitas, gneises	Columbotantalita, espodumena, turmalina, molibdenita, wolframita
		Filones de cuarzo, greisens, granitos	Wolframita, topacio, turmalina, fluorita, scheelita, molibdenita
		Skarns	Granate, sulfuros, piroxenos, anfíboles
	Monacita	Granitoides alcalinos y calocalinos	Ilmenita, circón, granate, apatito, rutilo, turmalina, espinela
	Circón	Rocas ígneas y metamórficas diversas. Sedimentarias detríticas	Granate, magnetita, titanita, piroxenos, anfíboles, rutilo, turmalina
	Scheelita	Filones cuarzo, greisens, skarns	Granate (grosularia-andradita), piroxeno (diópsido-hedbergita), anfíbol, topacio, fluorita, casiterita, arsenopirita y otros sulfuros, turmalina
	Cinabrio	Filones de cuarzo, masas de reemplazamiento en rocas volcánicas o asociadas	Pirita, estibina, realgar, oro, barita, fluorita
	Corindón	Gneises, esquistos, mármoles, sienitas, pegmatitas, lamprófidos	Granate, espinela, rutilo, berilo, crisoberilo

Tabla III. *Minerales de interés económico que aparecen frecuentemente en los concentrados mediante batea. Modificada de Villadevall (2005).*

diente concentración con batea. La Tabla III sintetiza algunos de los casos más comunes.

Desde el punto de vista práctico, se acepta la existencia de minerales indicadores de contextos geológicos favorables para la presencia de mineralizaciones en el área de drenaje aguas arriba del punto de muestreo. Estos minerales pueden ser los que poseen un interés económico directo, y en algunos casos se han prospectado históricamente mediante batea, o un interés indirecto porque son indicativos de la asociación mineral a la que pertenecen.

CONCLUSIONES

Este taller didáctico propone una guía para que estudiantes de Enseñanza Secundaria y Universidad se inicien en la técnica del bateo para la búsqueda de pepitas de oro u otros minerales de interés. Con esta propuesta, los estudiantes conocerán: (1) cómo funciona este método tradicional de exploración para concentrar minerales pesados mediante el lavado de sedimentos fluviales, (2) las leyes físicas que explican el fundamento de la técnica, (3) cuál es el procedimiento posterior para la identificación de la fracción mineral concentrada, y (4) cómo interpretar los resultados obtenidos en términos de madurez textural-mineralógica, procedencia del área fuente y exploración minera. Las ventajas de este taller son que fomenta el interés general por la geología y en especial por la mineralogía, e inculca en los estudiantes el respeto por el medio ambiente. De forma relativamente barata, los participantes además podrán disfrutar de una técnica de exploración minera usada desde la prehistoria, y que actualmente se ha convertido en una actividad lúdica que permite el contacto directo con la naturaleza.

BIBLIOGRAFÍA

- Camprubí, A., Melgarejo, J.C., Proenza, J.A., Costa, F., Bosch, J., Estrada, A., Borrell, F., Yushkin, N.P. y Andreichev, V.L. (2003). Mining and geological knowledge during the Neolithic: a geological study on the variscite mines at Gavà, Catalonia. *Episodes*, 26, 295-301.
- Klein, C. y Hurlbut, C.S.Jr. (1997). *Manual de Mineralogía* (4ª Ed). Basado en la obra de J.D. Dana. Ed.Reverté, Barcelona.
- Pereira, R.M., Ávila, C.A. y Lima, P.R.A.S. (2005). *Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Powers, M.C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23, 117-119.
- Sánchez Moreno, E. (2000). *Vetones: historia y arqueología de un pueblo prerromano*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Slingerland, R. y Smith, N.D. (1986). Occurrence and formation of water-laid placers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 113-147.
- Viladevall, M. (2005). *La prospección de placeres de oro y otros minerales densos*. Universitat de Barcelona. www.publicacions.ub.es/refs/pub_dig/pros_aluv.pdf.

Referencias en la red:

- http://en.wikipedia.org/wiki/Placer_deposit
- <http://www.minelinks.com/alluvial/deposits10.html>
- http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/238176/Mineralsands.pdf ■

Fecha de recepción del original: 18/05/2012
Fecha de aceptación definitiva: 05/06/2012