

LA PROSPECCIÓN DEL ORO

(El uso de la batea)

Gold prospecting by pan



Manuel Viladevall Solé

TEMAS DE GEOLOGÍA ECONÓMICA

LA PROSPECCIÓN DEL ORO



Manuel Viladevall Solé

Grupo Consolidado en Innovación Docente n.º 1066387275.
Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica
Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona.
Zona Universitària de Pedralbes. Barcelona 08071
mviladevall@ub.edu

1. Fotografía de la portada: pepita de oro, colección del autor, procedente del río Tipuani (Bolivia).
2. Fotografía del autor bateando.

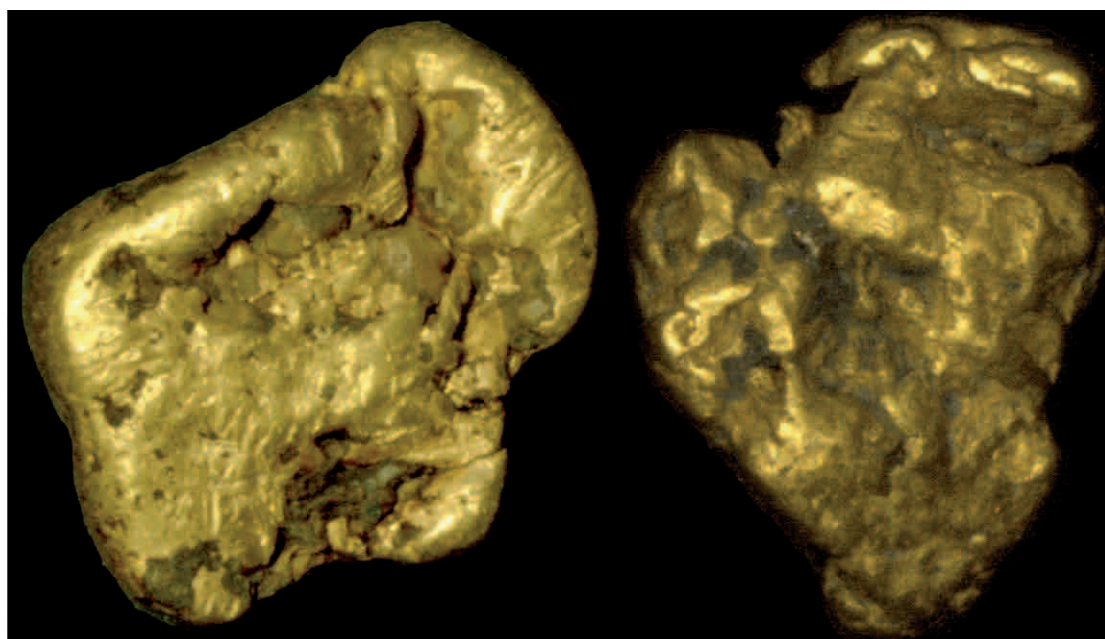
© Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona
Adolf Florensa, s/n
08028 Barcelona
Tel.: 934 035 530
Fax: 934 035 531
www.publicacions.ub.edu
comercial.edicions@ub.edu

DEPÓSITO LEGAL: B-3.936-2012
ISBN: 978-84-475-3581-1

Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada, transmitida o utilizada mediante ningún tipo de medio o sistema, sin autorización previa por escrito del editor.

ÍNDICE DE MATERIAS

Preámbulo	5
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL ORO	7
CRITERIOS DE BASE EN LA PROSPECCIÓN DEL ORO	9
CRITERIOS GEOQUÍMICOS. GEOQUÍMICA DEL ORO	10
CRITERIOS ECONÓMICOS. ECONOMÍA	15
CRITERIOS HISTÓRICOS	27
CRITERIOS HIDRÁULICOS BÁSICOS	58
CRITERIOS MORFOLÓGICOS	62
CRITERIOS TECNOLÓGICOS (uso de la batea)	68
LOS YACIMIENTOS DEL TIPO PLACER	81
NORMAS A SEGUIR PARA LA PRÁCTICA DE LA BATEA	88
MAPA DE BATEO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA	90
LOS CAMPEONATOS DE BATEO	91
Bibliografía	93
Vídeo complementario	96
Webs de interés	96
Nota biográfica	97



PREÁMBULO

Desde la década de los noventa del siglo xx, la prospección del oro, junto con la de hidrocarburos, ha sido una de las acciones económicas más activas; se la conoce como “prospección minera”. El porqué de esta frenética actividad se halla directamente relacionado con la gran demanda por parte de las grandes economías emergentes, como las de China, Brasil, y más tradicionalmente la India, junto con las economías occidentales en términos de valor refugio. Ello ha propiciado, por su rareza, menos de 4 miligramos de oro por tonelada de roca, una extrema presión sobre el planeta Tierra que afecta a su sostenibilidad. En definitiva, cuanto más ricos son sus habitantes, mayor es la demanda.

El proceso de búsqueda y posterior extracción se conoce como prospección minera, que en sentido más amplio se define como la parte de las ciencias geológicas que se interesa en la búsqueda de minerales, rocas y recursos energéticos con potencial económico. Dentro de la prospección minera, la técnica más ancestral, tradicional y de menor coste económico es la prospección aluvionar o prospección con batea. Este método, y su técnica asociada –el uso de la batea–, se ocupa de forma directa de la localización y valoración de depósitos de minerales pesados que dan lugar a los yacimientos denominados *placeres* o residuales, y, de forma indirecta, de la determinación y, en consecuencia, la localización de anomalías minerales y por tanto geoquímicas. Para ello es necesario el muestreo de ríos y torrentes, que nos conducirán a las fuentes o yacimientos primarios de todo tipo de minerales, o bien de otros minerales que son acompañados o acompañantes, conocidos como indicadores o *Pathfinder*.

Esta técnica, empleada en las primeras fases de la prospección, no se utiliza únicamente para el oro, sino para todo tipo de sustancias conocidas como minerales pesados, en su forma primaria, y de gran importancia comercial, como son los platinoides, las gemas en sentido amplio –incluido el diamante– y minerales de uso tecnológico y estratégico, como titanio, circonio, hafnio, tierras raras, estaño, wólfam y niobio-tántalo, conocidos estos últimos por sus efectos mediáticos como *coltán*.

La batea es un recipiente en forma de plato, sartén, cuenco o jofaina, de fácil construcción o adquisición y bajo coste, sin sensores ni electrónica, y de simple manejo, por lo que en el siglo xxi sigue siendo el utensilio más eficaz en la prospección minera. Algunas de sus variantes, como se puede ver en esta publicación, son el resultado de la experiencia, de la utilización de materiales próximos a los usuarios y de la aplicación intuitiva de la mecánica de fluidos y por tanto de la dinámica fluvial. La batea es, además, la herramienta que utilizan millones de personas en el mundo para su sustento diario, en una minería artesanal o informal, y por su tradición es, en el “mundo occidental”, un elemento de ocio y deportivo utilizado por miles de personas.

INTRODUCTION

Since the 1990s gold prospecting together with oil prospecting has constituted one of the most profitable activities of the mining sector. These activities are due to the large demand of emerging markets such as China and traditionally India in the case for gold and the European Union and NAFTA markets. The pressure generated by the markets on these commodities has boosted prices because of their increasing scarcity. The greater the affluence, the greater the demand for gold.

Mining prospecting is that part of the earth sciences that is dedicated to the exploration of minerals, rocks and non-renewable energy resources that at the present time or in the near future are of economic value.

Alluvial prospecting is the most traditional prospecting method and is also the most cost effective. This technique has been used since time immemorial for obtaining heavy minerals of economic value such as gold, tin and gems. It continues to be used to prospect for platinum group minerals and strategic minerals such as ilmenite and rutile for titanium, zirconium versus hafnium, rare earths mineral, tantalum and niobium (known as "Coltan") and scheelite and wolframite for wolfram.

Alluvial prospecting is conducted directly to locate and evaluate ore deposits of heavy minerals also known as placer deposits or indirectly in order to determine mineral anomalies. Anomalies are determined by sampling rivers and streams with the aim of locating primary sources of these minerals, which could be indicators of (pathfinders) other minerals.

The main tool for prospecting in alluvial deposits since the dawn of civilisation has been the pan. This tool remains in use today regardless of technological change. This tool has been made of a variety of materials e.g. wood, iron and plastic and is shaped like a plate, pan, bowl or basin, the product of trial and error of fluid mechanics simulating fluvial dynamics.

The pan has been used by millions of people around the world for their livelihood and has been incorporated into a leisure activity today.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL ORO

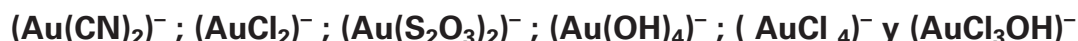
El oro, cuyo símbolo químico es Au, ocupa el lugar 79 en la tabla periódica y se sitúa entre el platino y el mercurio; pertenece al grupo IB del sistema periódico, junto con el cobre y la plata. Es un metal moderadamente blando, muy dúctil y maleable, buen conductor del calor y de la electricidad. Tanto el oro como los dos elementos que pertenecen al grupo IB muestran poca similitud con los metales alcalinos del grupo IA.

Número atómico: 79	Peso atómico: 196,97
Color: amarillo rojizo	Isótopos: 197 y 198
Dureza: 2,5-3,0	Conductividad térmica: 318 W.m⁻¹.K⁻¹
Resistividad eléctrica: 22,14 nΩm	Densidad: 19,3 g/cm³
Punto de fusión: 1.063 °C	
Clarkes o contenido medio de la corteza terrestre: 2 mg/t o 2μg/kg o 2ppb.	

El oro es un elemento químico bastante difundido en la corteza terrestre pero con contenidos muy bajos, alrededor de 4 mg/t (0,004 g en una tonelada de roca). Si lo comparamos con otro elemento como el cobre, podemos ver que este último presenta contenidos medios 23.000 veces superiores al del oro, o, lo que es lo mismo, una media de 47 g en una tonelada de roca. Esta proporción no se mantiene respecto a su valor monetario, ya que el del oro es sólo 3.200 veces más elevado que el del cobre.

Otra de las características del oro es su elevada densidad; si la comparamos con la del agua, mientras que un litro de agua pesa un kilogramo, el mismo volumen de oro pesaría 19,3 kg.

En cuanto a su reactividad química, Boyle (1979) en Viladevall (1999) indica que se asemeja mucho a la de la plata, pero su carácter químico es mucho más noble. Los principales estados de oxidación son el Au (I) o auroso y el Au (III) o áurico, observándose estos estados bajo la forma de complejos del tipo:



Al oro en estado natural se le conoce tan sólo un isótopo estable, ¹⁹⁷Au, con una vida media superior a los 3×10^{16} años. Por el contrario, se conocen varios isótopos inestables de vida muy corta (185 días), tales como ¹⁹⁶Au, ¹⁹⁸Au y ¹⁹⁹Au.

En la naturaleza, el oro se presenta por lo general en estado nativo o en aleación con otros metales, principalmente con plata (Ag) (cuando el contenido de Ag es superior al 20% se denomina “electrum”); cobre (Cu); antimonio (Sb); bismuto (Bi); platino (Pt); rodio (Rh) e iridio (Ir) (tabla 1).

Algunos de estos elementos son miscibles con el oro en todas las proporciones. El color del oro nativo aleado es ampliamente dominado por la plata, de tal manera que a partir de un contenido igual o superior al 65% de plata, es prácticamente imposible diferenciarla de la propia plata nativa.

Aparece igualmente combinado con telurio (Te) y selenio (Se) para dar telurios y seleniuros, así como en forma de inclusiones en un buen número de sulfuros, sulfoarseniuros de hierro (Fe), Cu, Ag, Sb y arsénico (As), en la arsenopirita, pirita, pirrotina, cobres grises, etc.

Por el contrario, los sulfuros y sulfosales de zinc (Zn) y plomo (Pb) no acostumbran a ser auríferos, aunque ciertas galenas y blendas presenten contenidos elevados. Igualmente, pequeños contenidos de oro aparecen en ciertos elementos nativos tales como el As, Bi, Cu, Ag y Pt (Boyle, 1979, y Bache, 1982).

Una de las peculiaridades de su alta difusión en la corteza terrestre, comparativamente con otros metales de interés económico, es la de su capacidad de dar lugar a una gran diversidad de tipos de depósitos minerales que lo contienen, bien como elemento o mineral de base, o como subproducto de otras menas minerales o rocas, como es el caso de su aprovechamiento como subproducto en una planta de áridos en Balaguer (Lleida, España) y en el río Rin, cerca de Karlsruhe (Alemania).

Esta difusión, junto a la facilidad de dar lugar a complejos de relativa movilidad en condiciones exógenas, permite utilizar, para su localización, diversos métodos de prospección geoquímica, entre los cuales resaltaríamos, por su efectividad y bajo costo, la prospección biogeoquímica.

Tabla 1. Algunas especies minerales del oro. *Some gold mineral species.*

Nombre	% Contenido	Fórmula
Oro	100	Au
Electrum	55-80	Au-Ag
Maldonita	65	Au ₂ -Bi
Calaverita	39,5	(Au,Ag)Te ₂
Krennerita	39,5	(Au,Ag)Te ₂
Sylvanita	24,5	(Au,Ag)Te ₄
Petzita	18-25	(Au,Ag) ₂ Te
Nagyagita	6-13	Au ₂ Pb ₁₄ Sb ₃ Te ₇ S ₁₇
Fischerita	18-25	5Ag ₃ AuSe ₂

CRITERIOS DE BASE EN LA PROSPECCIÓN DEL ORO

En la prospección aluvionar con batea, no es suficiente con conocer el manejo de la batea y tener la intuición empírica de dónde se halla el mineral, sino que, además, hay que tener conocimientos de diversos parámetros y aplicarlos según criterio. Estos criterios los podemos subdividir en:

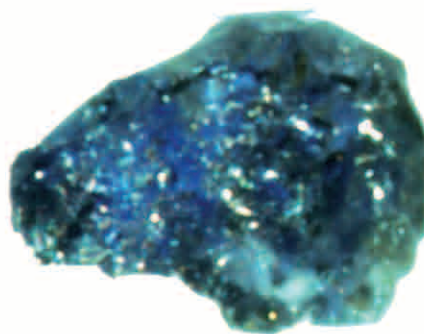
- Criterios geoquímicos
- Criterios económicos
- Criterios históricos
- Criterios hidráulicos
- Criterios morfológicos
- Criterios técnicos
(el uso de la batea)

Figura 1. *Muestra A*: zafiro ($2 \times 1 \times 0,5$ mm) del Macizo Central francés, cedida por Serge Neret (2001) (FFO). *Muestra B*: zafiro ($0,7 \times 0,5 \times 0,3$ mm) de la terraza T4 del río Segre en Balaguer (Lleida), de Marta Faneca (2004). *Muestra C*: Partícula de oro ($12 \times 7 \times 3$ mm) del río Tipuani (Bolivia). *Sample (A)*: Sapphire ($2 \times 1 \times 0.5$ mm) of the French Central Massif courtesy of Serge Neret 2001 (FFO). *Sample (B)*: sapphire ($0.7 \times 0.5 \times 0.3$ mm) of the T4 terrace of the Segre River at Balaguer (Lleida), according to Marta Faneca (2004). *(C)* Gold particle of the Tipuani River (Bolivia) with dimensions ($12 \times 7 \times 3$ mm).

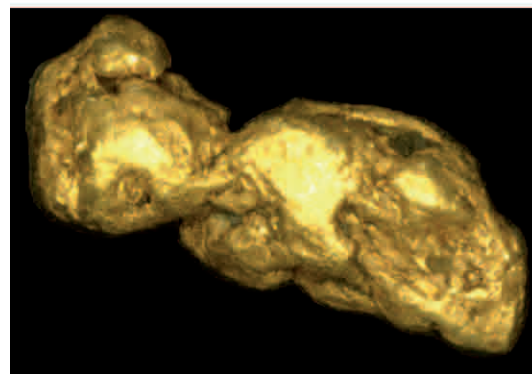
A



B



C



CRITERIOS GEOQUÍMICOS. GEOQUÍMICA DEL ORO



CONTENIDO EN LA CORTEZA TERRESTRE

El contenido de oro es de 4 ppb como media, coincidiendo, la mayoría de autores, en que los materiales máficos se hallan más enriquecidos que los félsicos, aunque algunos mantienen que las diferencias son tan sólo relativas (tabla 2).

Dentro de las formaciones sedimentarias, las más importantes en cuanto a acumulación de Au son las detríticas modernas (placeres) y los antiguos conglomerados del tipo *Rand*, así como las pizarras negras o *black shales* carbonosas y piritíferas.

Dentro de las primeras, y como macrotipo, tenemos el Witwatersrand del sur de África, que presenta contenidos medios cercanos a los 8 g/t de Au y 0,8 g/t de Ag, mientras que los placeres actuales auríferos poseen contenidos muy inferiores. En este grupo el Au se halla en forma nativa y los tamaños de las partículas varían desde tamaños inferiores a una micra a varios milímetros (excepcionalmente centímetros). Si la pirita se halla presente, caso de placeres antiguos o muy modernos (sin tiempo aparente de oxidación), ésta presenta contenidos elevados en Au.

Dentro de los segundos o *black shales*, acostumbran a presentar contenidos elevados, hallándose principalmente el Au asociado a la pirita, la pirrotina, la arsenopirita y a la materia orgánica.

Tabla 2. Contenidos litosféricos, según Boyle (1979, modificado), en ppb o mg/t.
Lithospheric Content, according to Boyle in 1979 (modified) in ppb or mg/t.

Fuente	ORO
Corteza oceánica	3,5
Corteza continental	3,5
Corteza terrestre	3,5
Rocas cristalinas	3,6
Rocas sedimentarias	5,1
Rocas ultrabásicas	11,4
Rocas básicas intrusivas	23,0
Rocas básicas extrusivas	17,0
Intermedias intrusivas	7,5
Intermedias extrusivas	12,9
Ácidas intrusivas	11,4
Ácidas extrusivas	3,7
Alcalinas	3,4
Cuarcitas s.l.	31,7
Pizarras y filitas	2,2
Gneises y granulitas	3,1
Anfibolitas	7,1
Esquistos	18,6
Mármoles	13,2
Corneanas	6,4
Eclogitas	3,6
Eskarns	8,6
Detríticas s.l.	57,0
Grauvacas	13,2
Arcillitas s.l.	8,0
Pizarras negras	132,0
Tobas	6,9
Calizas s.l.	7,0
Evaporitas yeso s.l.	20,8
Sales	23,8
Cherts	16,7
Fosforitas	7,2

EL ORO EN LOS SUELOS

El contenido medio de Au en los suelos es bajo, pero éste se puede hallar enriquecido cuando se trata de suelos en la vecindad de yacimientos o anomalías auríferas como resultado de la alteración de éstos, y por lo tanto como coprecipitado o adsorbido por óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. Su situación en los distintos horizontes se hallará, pues, en función del contenido de éstos en los óxidos e hidróxidos mencionados, y éstos, a su vez, dependerán de las condiciones topográficas, climáticas, de la roca madre, condiciones de drenaje y, solapándose a óxidos e hidróxidos, de la presencia de agentes complejantes, tales como tiosulfatos, cianuros y sulfuros.

En cuanto a otros productos de alteración, como algunas lateritas, cercanas a anomalías auríferas, pueden enriquecerse en oro (Zeegers et Leduc, 1993), mientras que de todos es conocido el enriquecimiento residual en los *gossans* del Au nativo.