

# LA PROSPECCIÓN DE PLACERES DE ORO Y OTROS MINERALES DENSOS



por

**Dr. Manuel Viladevall Solé**

Ingeniero Geólogo (ENSG)

*Grupo Consolidado en Innovación Docente nº1066387275*

Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica

Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona

Zona Universitaria de Pedralbes. Barcelona 08071 (Spain)

e-mail: [mviladevall@ub.edu](mailto:mviladevall@ub.edu)

## INDICE DE MATERIAS

<b>INTRODUCCIÓN Y DEFINICIÓN.....</b>	<b>3 - 7</b>
<b>LOS YACIMIENTOS DE TIPO PLACER.....</b>	<b>8 - 20</b>
<b>HISTORIA Y LEYENDAS.....</b>	<b>21 - 43</b>
<b>LAS LEYES DE LA HIDRÁULICA .....</b>	<b>44 - 54</b>
<b>ESTUDIO DE LOS ALUVIONES.....</b>	<b>55 - 79</b>
<b>TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN.....</b>	<b>80 - 94</b>
<b>TRATAMIENTO DE LOS CONCENTRADOS DE BATEA .....</b>	<b>95 - 111</b>
<b>VALORACIÓN DE PLACERES .....</b>	<b>112 - 126</b>
<b>LOS PLACERES ARTIFICIALES .....</b>	<b>127 - 133</b>
<b>LA MINERIA ARTESANAL .....</b>	<b>134 - 136</b>
<b>LA BATEA Y LAS ACTIVIDADES LÚDICO-DEPORTIVAS.....</b>	<b>137 - 144</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>145 - 149</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>150 - 158</b>

## **Palabras clave: el oro, gemas, minerales densos prospección a la batea, yacimientos del tipo placer**

La prospección aluvionar es el método de prospección minera que se ocupa, de forma directa, de la localización y valoración de depósitos del tipo placer o residual y de manera indirecta de la localización de anomalías mineralométricas. Estas últimas serían el resultado de la denudación de concentraciones primarias,

La herramienta principal de la prospección aluvionar desde la mas remota antigüedad es la batea. Esta no ha dejado de ser, en el siglo XXI, el utensilio más eficaz en prospección minera y en explotación de placeres. Es además, el resultado, de experiencias empíricas y de la aplicación intuitiva de la mecánica de fluidos y por tanto de la dinámica fluvial.

La batea es la herramienta que utilizan millones de personas en el mundo para su sustento diario.

Es también una herramienta utilizada por miles de persona en el Mundo occidental como elemento de ocio y deportivo.

## AMBITO DE LA PROSPECCIÓN ALUVIONAR Y DE LA EXPLOTACIÓN DE PLACERES

Desde los albores de nuestra sociedad el hombre se ha beneficiado de los recursos naturales a partir de una sistemática evolución tecnológica. Los minerales no son solo una excepción, si no que son la base de la sociedad moderna como eje vertebrado de la agricultura y de la industria y en consecuencia de la economía. Desde el inicio de la era de los metales los sistemas de prospección, explotación y beneficio de éstos han sufrido una constante evolución de manera que en el siglo XXI es poco frecuente, por razones económicas, hallar explotaciones mineras de tipo artesanal de metales base como el cinc, cobre, aluminio, plomo (salvo por la plata) y ocasionalmente el estaño. Lo que no es extraordinario, si no mas bien común, por su elevado valor añadido, son las explotaciones artesanales de metales preciosos, principalmente las del oro y gemas. Si nos centramos en los metales preciosos, observamos que en el mundo existen tres sectores claramente diferenciados dedicados a su prospección, explotación y beneficio.

A. Como el primer sector que ocupa un mayor número de individuos en el oficio, son entre la Minería Artesanal los denominados: “garimpeiros” en Brasil, “uaqueros” en Venezuela; “barranquilleros” en el cono Sur de América Latina; “Orpailleurs” en el África sub sahariana y con diversos nombres en Filipinas, Indonesia, Papua Nueva Guinea, etc. Todos ellos trabajan con métodos de laboreo muy precarios y similares entre ellos y con unos recursos económicos también muy precarios. Todo ello implica unos niveles de recuperación en metales preciosos muy bajos y acciones de impacto ambiental muy elevados. En definitiva todos ellos tienen un común denominador: una economía de subsistencia.

B. El segundo sector lo ocupan un segmento de una amplia masa social cuyo objetivo en la prospección y beneficio del oro y gemas es exclusivamente lúdico - deportivo y en algunos casos cultural. El sector mas amplio se sitúa en los EUA, Canadá y Australia, algunos de los cuales son nietos de los aventureros de las diversas quimeras del oro. Todos ellos se agrupan en diversas asociaciones lúdico - deportivas que se reúnen anualmente, junto con otras asociaciones europeas y asiáticas para competir en diversos certámenes regionales, nacionales, continentales y mundiales, en donde muestran su habilidad en la concentración del oro y gemas, mediante herramientas tan ancestrales como las bateas y otros instrumentos de tecnología muy avanzada. Herramientas como las bateas que también usan los del primer grupo. En cambio los primeros no tienen acceso a los instrumentos de que usan los del segundo grupo.

C. Por último tenemos un tercer grupo, el menos numeroso y que ocasionalmente se integran en el segundo, como son los profesionales de la exploración minera que se ubican en las grandes empresas mineras, Servicios Geológicos nacionales y regionales o en centros docentes y de investigación como las Universidades. Estos también usan las bateas pero principalmente instrumentos de precisión que son empleados por los del segundo grupo.

## INTRODUCCIÓN

La prospección de un territorio mediante diferentes métodos y sus técnicas derivadas, sean como técnicas directas o indirectas, es un proceso complejo, ya que en su inmensa mayoría, los yacimientos o concentraciones anómalas, no son aflorantes. Por otra parte, los casos que son considerados como “favorables” , las concentraciones de minerales o anomalías geoquímicas son subaflorantes o en forma de aureola secundaria, y consisten en unos pocos metros cuadrados de gangas, y mineralizaciones marginales, en un cuarzo banal y prácticamente igual a otros desprovistos de toda sustancia útil.

Por lo tanto el prospector deberá conocer no tan solo las diferentes formas y posibilidades de yacer uno u otro tipo de depósito, sino también conocer las características que de éste se desprenden tales como aureolas primarias y secundarias dentro de su ambiente primario, y las aureolas secundarias que se desarrollan en su ambiente secundario, susceptibles estas de ser indicadores de la presencia de una o mas menas o gangas indicadoras .

Para la localización de ambos ambientes y de sus aureolas asociadas, el prospector deberá recurrir a una serie de métodos eficaces, que como primer paso deberán descansar sobre los grandes procesos de alteración.

Estos procesos se pueden diferenciar en dos macro tipos:

la alteración química y la alteración física.

La alteración química, implica la rotura por medios químicos de los minerales y rocas así como la dispersión de los elementos liberados, generalmente por el agua y a distancias considerables del área fuente y neoformación de especies minerales. Para que todo ello suceda, se necesitan ingentes cantidades de oxígeno, CO<sub>2</sub> y agua.

El orden de resistencia a la alteración química es generalmente:

**óxidos > silicatos > carbonatos > sulfuros**

Es sobre esta alteración química selectiva, donde actuará la alteración física mediante removilización y transporte de los materiales resistentes, principalmente óxidos y silicatos sin apenas modificación de su estructura y composición mineral. Los procesos físicos actuantes son fundamentalmente el agua, en sus diferentes estados, y el viento, que originan la desintegración y/o disgregación de una roca o mineral, ayudando a la liberación de los minerales resistentes, para su posterior transporte y deposición.

Tomando como base este principio y teniendo en cuenta que la naturaleza esconde celosamente los yacimientos por ella creada, con estos conocimientos el hombre reconocerá la existencia y presencia de minerales de interés con la detección - observación de los cantos rodados, gravas y arenas de los ríos y torrentes de los yacimientos o de sus aureolas situados aguas arriba.

Esta localización realizada a través de los aluviones podremos efectuarla aplicando tres métodos con sus técnicas asociadas:

- 1. Prospección directa a partir de los procesos físicos de alteración, transporte y deposición: localización, estudio y beneficio de "Placeres".**
- 2. Prospección indirecta a partir de los procesos físicos de alteración y transporte: localización de anomalías mineralométricas que comportará la posible presencia de un cuerpo mineralizado aguas arriba.**
- 3. Prospección indirecta a partir de los procesos físico-químicos de alteración, transporte y deposición: localización de anomalías mineralométricas que implican la presencia de una anomalía geoquímica aguas arriba de la zona prospectada. Estas anomalías pueden ser de origen natural o de origen antrópico (industria minera, industria química en general o vertidos incontrolados).**

La prospección aluvionar será pues la que se ocupe mediante métodos directo o indirectos de la localización de yacimientos de tipo placer o de anomalías mineralométricas susceptibles de ser el resultado de la denudación de un posible yacimiento primario o, en la actualidad sobre la presencia en la cuenca vertiente de procesos antrópicos que den lugar a anomalías no correspondientes con los materiales de la cuenca.. Si bien se halla considerado como un método “arcaico”, es realmente eficaz si se ejecuta correctamente y se poseen buenos conocimientos de dinámica fluvial.

La eficacia del método, plenamente demostrado para oro, platinoïdes, casiterita y gemas, es si cabe mayor cuando la superficie del yacimiento, se halla recubierta por una espesa superficie forestal o suelo bien desarrollado en la que el efecto del agua no ha podido destruir por completo los minerales cerca de esta superficie. Estos minerales finamente diseminados en la ganga inalterable, podrán ser pues preservados para hallarlos posteriormente en los aluviones muy lejos de su lugar de origen (Warren, 1982).Lo que permitirá no tan solo detectar la presencia de yacimientos proximales, sino también distales.



*Practica de prospección aluvionar en el Río Segre (NE Península Ibérica). Alumnos de Ingeniería Geológica Marzo 2004. Foto. Ruben Sánchez*

## EL MÉTODO

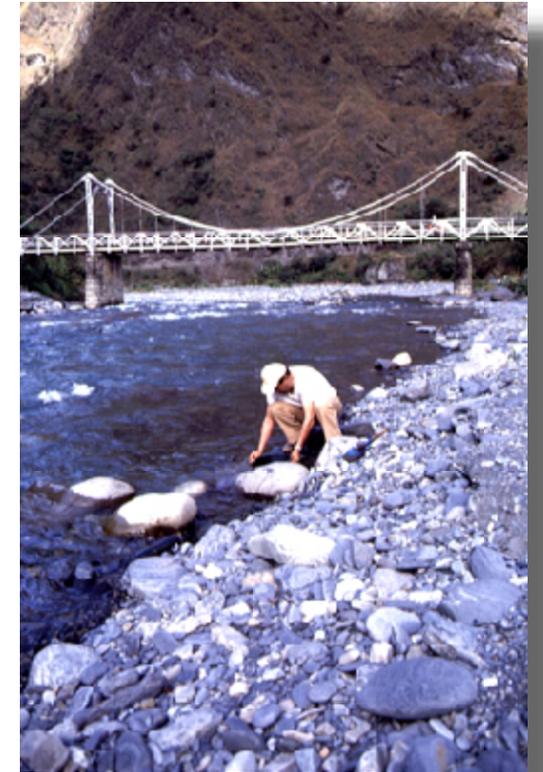
El método consistirá en: **un muestreo, un lavado y concentrado** de aluviones o eluviones para detectar la presencia de minerales indicadores (método indirecto) o útiles (método directo); **un análisis** y en **una valoración** de la ley mediante un tratamiento estadístico mono y bi variable. Finalmente en una **representación gráfica** de los resultados.

# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DEPÓSITOS ALUVIONARES

## LOS YACIMIENTOS DEL TIPO PLACER

## ¿QUE SON LOS PLACERES?

- El vocablo “placer”, es un término que utilizaron los mineros españoles en América para caracterizar los depósitos auríferos acumulados en arenas, gravas y en el lecho vivo de los ríos.
- Slingerland and Smith (1986), definen los placeres como “ un depósito de minerales en grano, detríticos o residuales, de valor económico, que han sido concentrados por agentes mecánicos”.
- En una acepción mas amplia, podemos definir los depósitos de tipo placer como: “ la acumulación económica de minerales de alta resistencia físico-química procedentes de la desmantelación de yacimientos, de zonas pre-enriquecidas, de desechos antrópicos o de todo el conjunto a la vez, cuyo vector de concentración ha sido la actividad de los agentes de transporte exógenos tales como el agua, el hielo y el viento”.



Los Yungas (Bolivia)

A partir de su definición, hemos de considerar que para la formación de depósitos económicos de tipo placer, son necesarias la interacción de tres fenómenos a macro y a meso escala :

- Un fenómeno propiamente litosférico** como la presencia de un área fuente enriquecida o pre-enriquecida y susceptible de proporcionar los elementos minerales de interés económico.
- Un fenómeno ambiental de tipo climático**, que puede también ser local, susceptible de liberar a partir de minerales de baja resistencia química (hidrólisis y oxidación), minerales de elevada resistencia mecánica.
- Un fenómeno geodinámico - geomorfológico**, susceptible de acumular y preservar los elementos minerales liberados.

Así mismo, será necesaria la interacción de otros fenómenos, básicamente a meso y micro escala, de tipo hidráulico ligados en el espacio y en el tiempo, con los dos últimos, y que serían la causa de la liberación o del desprendimiento de las partículas y del transporte y la sedimentación de los minerales pesados en las cuencas fluviales, lacustres y marinas.

# TIPOS DE PLACERES

En función de los distintos fenómenos físico - químicos que los producen, los placeres se clasifican en:

**Eluviales - Diluviales - Proaluviales - Aluviales - de Playa**

**Eluviales o residuales:  $Q \gggg F$ .**

**Diluviales :  $Q \gg F$**

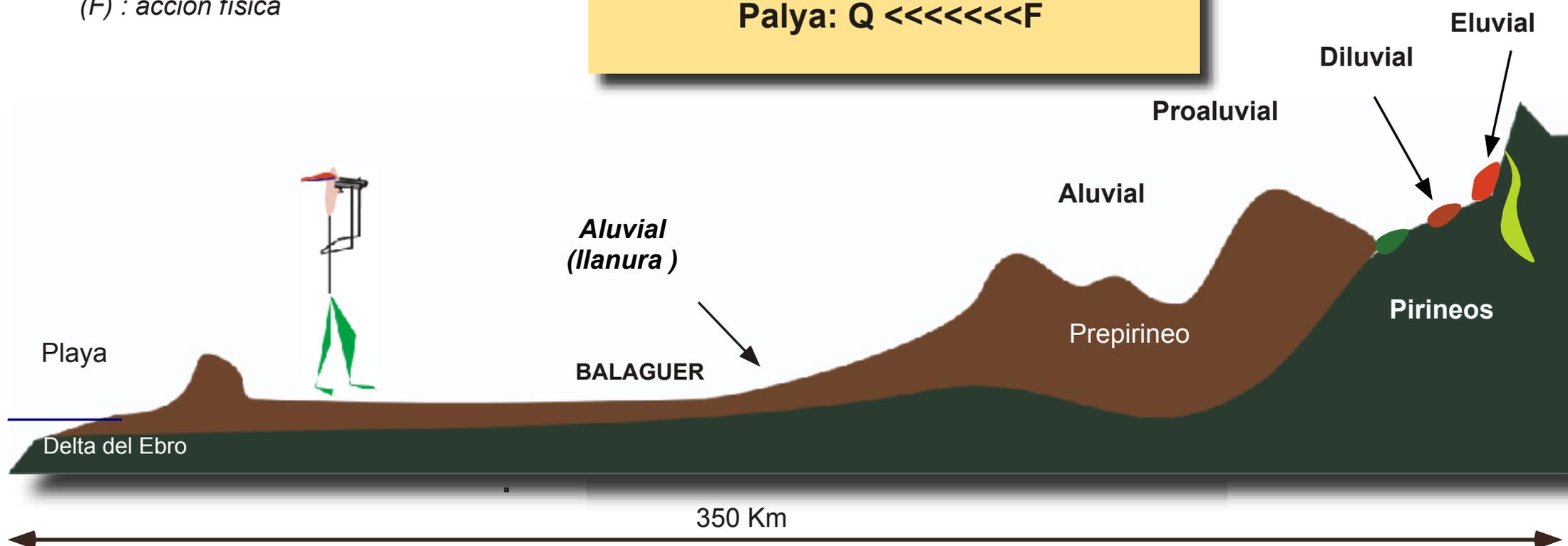
**Proaluviales:  $Q \llll F$**

**Aluviales:  $Q \lll F$**

**Palya:  $Q \llllllll F$**

(Q) : acción química

(F) : acción física



- A.** Los placeres **eluviales**, son aquellos que se desarrollan a partir de un área enriquecida o pre-enriquecida junto con un componente ambiental de tipo climático. En ellos predominan los fenómenos químicos sobre los físicos con lo que sus efectos resultantes tienen un carácter netamente residual.
- B.** Si el material disgregado, caso de un depósito eluvial, sufre un desplazamiento gravitacional, acumulándose en algunos puntos de una ladera, dará lugar a un tipo de placer denominado **diluvial**. El origen de estos placeres tendrá una componente química (eluvial) y una componente física (transporte y en parte clasificación).
- C.** Si las acumulaciones se sitúan al pie de la pendiente los placeres formados se les denomina de tipo pro-aluviales y en ellos la componente física (transporte y clasificación) es superior a la componente química.
- D.** Cuando las acumulaciones, o parte de ellas de los placeres eluviales, diluviales y/o pro-aluviales, son removilizadas, transportadas y clasificadas por las aguas, y depositadas en los ríos (lecho vivo), en sus márgenes y/o en sus terrazas, los placeres resultantes se denominarán **aluviales**.
- E.** Cuando la acción la producen los hielos a estos placeres se les denominarán **morrénicos y fluvioglaciares** cuando la componente sea mixta. En dichos placeres la componente física es la predominante.

**Los placeres aluviales (Smirnov, 1982), en función del ambiente de sedimentación se clasifican en:**

- a) de barra
- b) de cauce
- c) de valle
- d) de terraza
- e) de delta

# CLASIFICACIÓN



A : de barra



B) de cauce

- A. de barra**
- B. de cauce**
- C. de valle**
- D. de terraza**
- E. de delta**



C) de valle



D) de terraza



E) de delta

Si como consecuencia de la actividad fluvial, los materiales alcanzan la orilla de un lago o mar y quedan expuestos a la dinámica de las aguas lacustres o marinas que los re trabajan, transportan y sedimentan, nos encontraremos en frente a los denominados placeres de **playa o laterales** que pueden, a su vez subdividir en:

- a) playa- lacustre,
- b) playa - marina
- c) playa - oceánica.

Si además de la actividad fluvial, marina o lacustre, los sedimentos se hallan frente la actividad del viento, los placeres que se formarán se denominarán eólicos:

- a) eólicos s.s.
- b) duna



Otras clasificaciones de tipo general son:

*Niveles auríferos de arenas negras en Dakar (Senegal)*

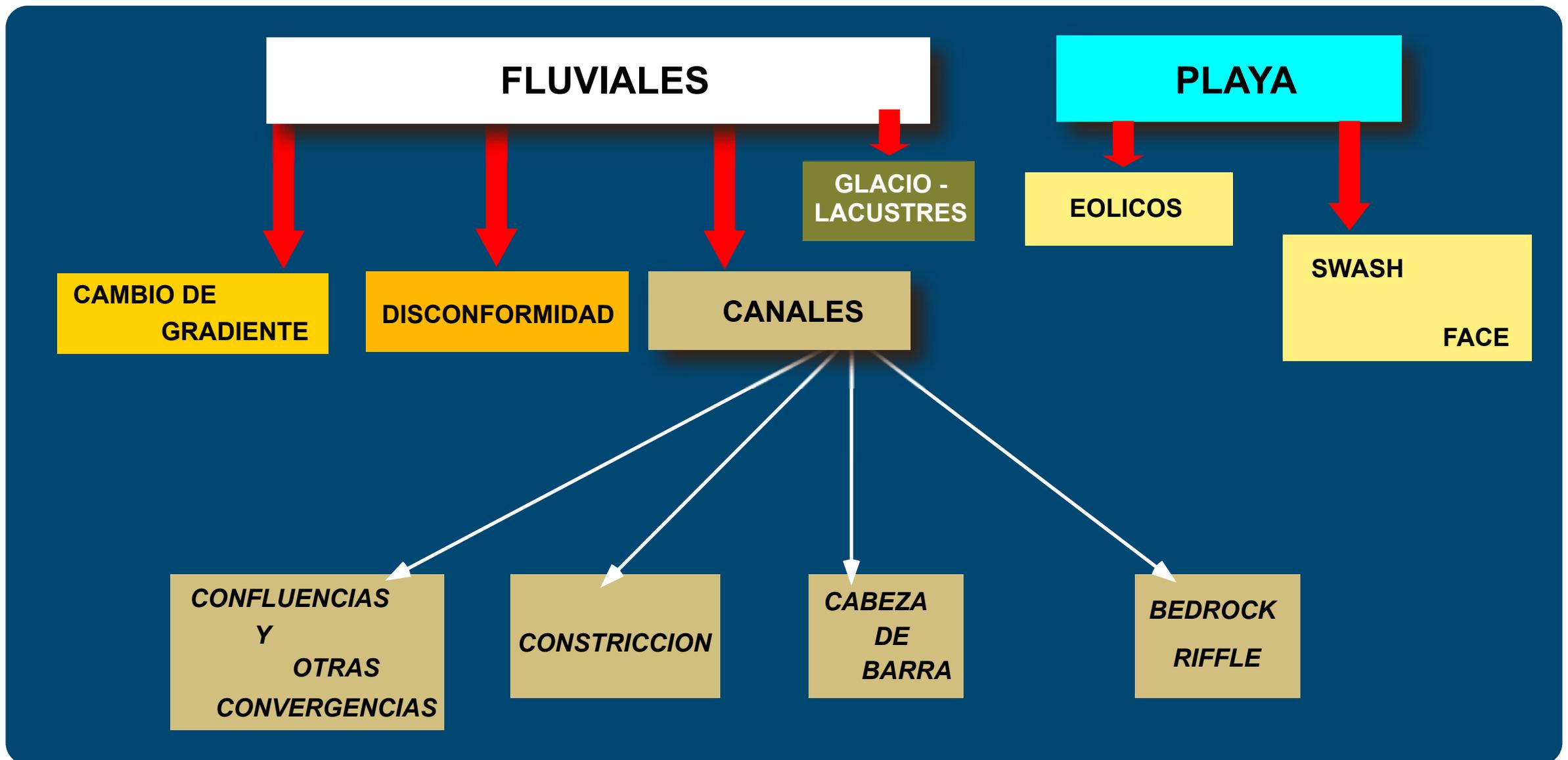
En función de la época de formación (Heuschmidt, 1988) :

- a) cuaternarios jóvenes o contemporáneos
- b) antiguos o fósiles.

Según sus leyes (Thiebaut, 1952):

- a) irregulares o en bolsadas.
- b) de concentración o ricos
- c) pobres o aluvionares finos.

Según el ambiente de deposición y bajo el punto de vista de una jerarquía en función de su escala, Force (1991), subdivide los placeres en dos grandes tipos: fluviales y de playa. Cada uno de ellos muestra toda una serie de sub-ambientes en los que intervienen fundamentalmente los parámetros físicos de concentración (tipos de equivalencias hidráulicas y ambientes deposicionales).



<b>Platino</b>	Gabros básicos, peridotitas, dunitas, serpentinitas.	Magnetita, ilmenita, cromita, olivino, picotita, pleonasma, diamante, corindón.
<b>Oro</b>	Filones de cuarzo asociados a varios tipos de rocas ígneas.	Pirita, galena y otros sulfuros, magnetita, ilmenita,
<b>Diamantes</b>	Rocas ígneas básicas: peridotitas, kimberlitas, lamproitas, conglomerados	Piropo, ilmenita, magnetita, cromita, olivino, granate, picotita, platino.
<b>Casiterita</b>	Pegmatitas	Columbo-tantalita, espodumena, turmalina, molibdenita, wolframita.
	Filones de cuarzo, greisens, granitos.	Wolframita, topacio, turmalina, fluorita, scheelita, molibdenita.
	Rocas de contacto alteradas hidrotermalmente. Pegmatita, gneises, granitos.	Granates, sulfuros, piroxenos, cloritas-Fe, anfíboles.
<b>Monacita</b>	Granitoides alcalinos y calcoalcalino,	Ilmenita, circón, granate, apatito rutilo, turmalina, espinela.
<b>Circón</b>	Filones de cuarzo, rocas metamórficas de contacto.	Granate, magnetita, esfena, piroxenos, anfíboles.
<b>Scheelita</b>		Granate, piroxeno, anfíboles, vesuvianita, turmalina, casiterita, topacio.
<b>Cinabrio</b>	Filones de cuarzo-carbonatos e impregnaciones cerca de rocas volcánicas.	Pirita, estibina, realgar, oro, baritina, fluorita
<b>Corindón Rubí y Zafiro.</b>	Dolomía cristalina, calizas, pegmatitas, sienitas.	Granates, espinelas, rutilos, berilo, crisoberilo.

	AUTOCTONOS		ALÓCTONOS
	Muro	Por encima del muro	
<i>Kartashov (1971)</i>			
<b>Representados por:</b>	placeres en canales, valles terrazas y cuencas vertientes	placeres en valles, terrazas y cuencas vertientes	placeres de point-bar, delta, llanura aluvial, valle, terrazas y de cuencas vertientes
<b>Ocurrencia</b>	proximales al área fuente		más o menos alejados del area fuente siendo separados de ella por zonas de diseminación (dispersión) de los placeres minerales
<b>Zona de concentración</b>	en la base de un substrato aluvial y en las cavidades del bedrock	en la base de un perestrato en formación, en la misma situación en el valle de los placeres de muro	en los horizontes superficiales de un perestrato aluvial en formación aguas abajo de un placer autóctono
<b>Los minerales pesados</b>	propios del área fuente o resedimentados a partir de antiguos placeres y no retransportados por los ríos de las zonas de concentración		transportados por los ríos dentro de la zona de concentración
<b>Acumulación durante:</b>	en el período de erosión de las mineralizaciones primarias	en el último estadio de equilibrio y/o agradación del desarrollo del río	
<b>El encajante aluvial se originó:</b>	en la fase de excavación o en la transición de éste al estadio de equilibrio	en el estadio de equilibrio o agradación	
<b>El encajante aluvial al ser erosionado durante una fase de excavación:</b>	no son destruidos pero sí desplazados a otro nivel de un nuevo bedrock	desplazados de nivel a un nuevo bedrock y adicionado a placeres de base	completamente destruidos
<b>El mecanismo de concentración del placer:</b>	no dependen esencialmente de las características hidrodinámicas de los flujos acuosos		dependen principalmente de las características hidrodinámicas de los flujos acuosos.

## LOS DISTRITOS AURIFEROS EN EL MUNDO

DISTRITO	ROCA MADRE	EDAD	INTRUSIVO	PLACER
<b>CALIFORNIA</b> Sierra Nevada	pizarras, filitas esquistos, corneanas calizas	Paleozoico superior Pleistoceno	Granodiorita Diorita	Eoceno Plioceno
Klamath Mts	filita, cherts metavulcanitas calizas	Paleozoico superior Mesozoico	Aplita Granodiorita	Plioceno Pleistoceno
<b>OREGON</b> <b>GEORGIA (EUA)</b>	micaesquistos, gneises	Precámbricos Paleozoico	Diorita Granito	no reconocido
<b>ALASKA</b> Nome	esquistos, pizarras	Precámbrico	Cuarzomonzonita Granito	Plioceno
<b>GUAYANA (Fr)</b>	filitas ocas verdes pizarras, esquistos	Precámbrico Precámbricas	Cuarzomonzonita Granito	no reconocido no reconocido
<b>CANADA</b> Klondike Yukon Yukon Cariboo	esquistos Cuarzomonzonita esquistos, filitas filitas, esquistos	Precámbrico Precámbrico Paleozoico inferior	Granito Granito Granodiorita	Eoceno Plioceno Eoceno Pleistoceno
<b>COLOMBIA</b> Choco	rocas verdes pizarras, filitas, cuarcitas pizarras, esquistos	Paleozoico Paleozoico	Cuarzomonzonitas Granito Cuarzomonzonitas, Granito	Pleistoceno Pleistoceno
Antioquía <b>PERU-BOLIVIA</b> Madre de Dios Tipuani	pizarras negras, filitas, cuarcitas	Paleozoico Paleozoico	Granodioritas	Pleistoceno Pleistoceno
<b>AUSTRALIA</b> Victoria	pizarras, grauvacas areniscas	Paleozoico	Granito	Eoceno a Plioceno
<b>NUEVA ZELANDA</b> Otago	esquistos	Mesozoico	Granito	Mioceno- Pleistoceno
Nelson	rocas verdes, pizarras, grauvacas, esquistos	Mesozoico	Granito	" "
<b>NUEVA GUINEA</b> Morobe	arcillitas, esquistos cuarcitas porfídicas esquistos, gneises	Paleozoico Desconocido	Granodiorita Granito	Mioceno Plioceno Desconocido
<b>MONGOLIA</b> <b>URSS</b> Rio Lena	pizarras grauvacas, filitas esquistos	Precámbricas Paleozoico inferior	Granito Pórfidos	Plioceno Pleistoceno
Yakutia	granulitas esquistos	Arcaico Premesozoico	Granitoides	Precuaternario

## LOS PLACERES PLIO-QUATERNARIOS DE ORO EN EL MUNDO



*La producción de oro en los placeres, representa más de un tercio de la producción mundial de este metal. De esta producción, unas 450 t/año se obtienen en el distrito de Witwatersrand (Sudáfrica), considerado el mayor paleo placer en oro del mundo (Praetorius, 1976). Este placer, ha producido cerca de la mitad del oro extraído en el mundo hasta el 2004. Algo más de 200 toneladas anuales se obtienen de los grandes distritos mineros de Rusia, EUA y Canadá, y unas 150 t adicionales proceden de los pequeños distritos, la mayoría de ellos asociados a minería artesanal como la de los Garimpeiros en Brasil, Orpailleurs en África subsahariana, en Indonesia y en China.*

**Situación de las antiguas explotaciones de gemas del 1000 a.C hasta 1500 d.C (Ball,1931)**



- |  |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|
|  <b>Ambar</b>                   |  <b>Diamantes</b>  |  <b>Esmeralda y berilo</b> |  <b>Jade</b> |  <b>Lapis Lázuzy</b> |
|  <b>Rubi, Zafiro y corindon</b> |  <b>Turquesa</b> |   |   |   |

## CRITERIOS A TENER EN CUENTA EN PROSPECCIÓN ALUVIONAR DEL ORO Y GEMAS

- Criterios Históricos
- Criterios Hidráulicos
- Criterios Morfológicos
- Criterios Geoquímicos
- Criterios Económicos
- Criterios Tecnológicos



*Zafiro (2\*1\*0,5 mm) del Macizo Central Francés. Muestra cedida por Serge Neret 200 (FFO).*

## LA HISTORIA COMO CRITERIO EN LA PROSPECCIÓN ALUVIONAR



### HISTORIA Y LEYENDAS SOBRE EL ORO

## HISTORIA DEL ORO

El oro sea por sus características físicas como el color, lustro, densidad, conductividad o maleabilidad, bien sea por sus características químicas de inalterabilidad o por todas ellas, es el metal mas venerado y que mayores pasiones ha generado entre los humanos desde los tiempos mas remotos. Por poseerlo, los hombres han matado, provocado guerras, han masacrado pueblos y civilizaciones enteras, han expoliado y han esclavizado a naciones enteras. Es, en definitiva, el símbolo de la riqueza y de la codicia humana.

Este metal era venerado como el “cuerpo” de los dioses por los antiguos egipcios. El dios de los dioses “Ra” era simbolizado por un disco dorado que simbolizaba el sol. El oro era en la tierra lo que el Sol en el Universo. Otras civilizaciones como la griega consideraba al oro como hijo de Zeus (Pindaro 518 aC) o como la primera locura del hombre (Plinio el Viejo, 79 aC).

La importancia cualitativa y cuantitativa que se le daba en la antigüedad se refleja en la cita del autor del Arthasastra (parte de los Vedas como tratado político de la antigua India), en el 400 aC, al referirse que “ sus minas son la fuente del Tesoro Público; el tesoro permite la creación del ejército. El Tesoro y el ejército permiten conquistar el Mundo.

En otro texto de los Vedas, aún mas antiguo (600 aC), el pasaje épico del Mahabharata, Sabha, 52.2-4, dice: “ Los reyes de las naciones de Khasa, Ekasana, Arha, Pradara, Dirghavenu, Parada, Pulinda, Tangana y Paratangana, situadas bajo la sombra de árboles de bambú en las Rivas del Río Sailoda que fluye entre las Montañas de Meru y Mandarachala (Himalaya), presentan el oro Pipilaka (oro en polvo) recogido por las hormigas para el gran rey Yudisthira”. El vocablo “or” podría así mismo proceder del Sánscrito ya que significa brillar.. Tanto ha significado el oro para el hombre desde los tiempos mas remotos que es posible que ya forme parte de nuestro código genético.



A pesar de lo expuesto, es difícil de saber cuando, como y en dónde el hombre descubrió por primera vez este metal. Sobre ello los arqueólogos no muestran, hasta cierto punto lógico, una unanimidad. Ciertos autores dicen que su descubrimiento tubo lugar en el Paleolítico Inferior (hace unos 40.000 años), ya que se han hallado pequeñas impregnaciones de oro en algunas pinturas rupestres de esta época. Otros autores, opinan que fueron los egipcios en el 12.000 aC (Paleolítico Superior) los primeros en descubrir y utilizarlo. Maluquer (1971), entre otros, al describir los diferentes materiales y minerales que el hombre conocía en este período, no menciona el oro. Según este autor el rey de los metales no fue conocido por el hombre hasta el neolítico junto con el cobre nativo, el hierro meteórico y alguna gema como la turquesa. Todo da entender que lo más probable sea que el oro, igual que el cobre (ambos nativos), empezaron a ser utilizados y trabajados a partir del 5500 aC, en algunas zonas del oriente Medio dentro de las regiones Mediterráneas y también de Europa Oriental, tal como parece demostrarlo la presencia de los ídolos de oro de las tumbas de Varna, datadas sobre el V-IV milenio aC y situadas en la actual Bulgaria, en la costa del Mar Negro (Eulère, 1987).



En cuanto a su laboreo con técnicas avanzadas y su comercio, Batteman (1954), calcula que se inició alrededor del 2500 aC, en las antiguas minas Griegas de Kassandre. Su producción, se prolongó hasta finales del 358 aC en la época de Alejandro Magno. Es probable que también, en estas épocas los egipcios iniciasen explotaciones intensivas de sus yacimientos del Mar Rojo.

En Extremo Oriente, parece ser que las grandes explotaciones auríferas se iniciaron en la región de Kolar (India), en las minas del mismo nombre. Estas minas son consideradas las más antiguas del mundo así como unas de las más profundas (superior a 3.000 m) ya que mediante el carbono catorce se ha permitido como mínimo datarlas sobre los  $1890 \pm 70$  aC (Craddock, 1991). En otros lugares como la América precolombina, parece que el oro era ya conocido alrededor del 1500 aC en la región de Andahuaylas, al Sur del Perú, aunque sus explotaciones eran poco organizadas y muy artesanales.

### Extracciones de oro conocidas antes de 1492



*Las citas históricas sobre la presencia de explotaciones de oro en distintos territorios, una gran parte de ellas aluvionares, permite al prospector fundamentar criterios de prospección, en distintos órdenes de magnitud, e iniciar el reconocimiento de zonas con posibilidades económicas.*

## LOS EGIPCIOS

Los egipcios valoraban de manera singular el oro. Lo consideraban el cuerpo del Dios Ra que al igual que el metal amarillo, era incorruptible. Este gran pueblo de la antigüedad, desarrolló por primera vez, una batería tecnológica en prospección y beneficio del oro y también del cobre así como de una serie de gemas. En el templo de Ramsés III en Medinet Habou (Tebas Occidental), hay una serie de inscripciones que nos indican dónde se hallaba el oro en el Egipto de la época. Así, siendo probablemente la primera clasificación metalogenética de la historia se describen tres tipos de mineralizaciones:

# el oro de las montañas (que correspondían a los clásicos filones de cuarzo del tipo epitermal a mesotermal);

## el oro de Etiopía que hasta los años ochenta no se ha podido clasificar como mineralizaciones asociadas a gossans procedentes de la alteración de mineralizaciones del tipo Vulcano-sedimentarias.

### el oro del agua que correspondería a depósitos del tipo placer.



**Gansos del Nilo**



**Nub**

***Nub significa oro en el idioma del antiguo Egipto y Nubia, tierra del oro***



*Mapa que data del Período de Ramsés IV. En el se señalan las antiguas minas de oro del Wadi Hammamadi y las del Wadi Allaqui, esta última en Nubia ver mapa de la página anterior. Museo Egizio de Turin (Itália).*

Los egipcios beneficiaban el oro tanto aluvial como el liberado a partir de una rudimentaria molienda, mediante un sistema muy sencillo y a su vez muy eficiente.

Estos hacían circular una pulpa de agua y arena enriquecida en laminillas de oro, a través de un lecho de plumas de ganso. Estas debido a la grasa que contienen adsorbían las laminillas de oro por sus cargas electrostática que se adherían en su superficie, mientras que los otros materiales no. Después las incineraraban y recogían todo el oro que se había adherido en las plumas y lo fundían.

Este pueblo era además experto en cartografía geológica y explotación de filones de cuarzo aurífero así como en la molienda de estos materiales para poder extraerle el oro.

**Producción de oro (t), según Quirling in Sedillot (1975)**

	900-2100 aC	2100-1200aC	1200-50 aC	50 aC -500	Total
Egpto	700	570	410	30	1710 t
Nubia	20	1020	510	50	1600 t
Etiòpia	10	50	50	110	220 t



*Metalúrgia del cobre y del oro*

Una de las leyendas mas bellas y arraigadas de la antigüedad, así como la que mayores controversias ha generado, es la del Vellocino de oro.

¿**Que es el Velloncillo de oro?**. Es una piel o vellón de cordero que ha sido utilizado hasta nuestros días, como herramienta para la recuperación o beneficio final del oro fino aluvial, de mina o de taller de joyero o en su defecto para separar el oro de la ganga de un material previamente triturado y molido. Simplemente es un sucedáneo de las plumas de ganso utilizadas por los egipcios

Los Romanos introdujeron esta técnica en la Península Ibérica pero parece ser que la aprendieron de los griegos y éstos a su vez de los egipcios o de los armenios.

Su forma de usos es muy simple si atendemos a la capacidad de las partículas de oro a ser, por su conductividad eléctrica, adsorbidas por la grasa del vellón de cordero al fluir entre el vello, el agua cargada con partículas metálicas (oro) y partículas dieléctricas como lo ganga siliciclástica.

Una vez cargado el vellón de partículas de oro y una vez secado, este era sacudido o incinerado con el fin d recuperar el preciado metal.

Como era lógico junto a figuras míticas como el cordero y el oro, fué necesario en la antigüedad complementarlos con un héroe para justificar una acción, a mi entender de expolio, que nada tenía que envidiar a la política socio - económico - militar moderna. De esta trilogía nace una de las leyendas de mayor renombre de la humanidad como la de los Argonautas o mítica expedición de Jasón junto con los tripulantes de la Argo, a la Cólquida (Armenia) para recuperar un vellón cargado de oro.

Jasón, además de Príncipe era un héroe de Tesalia. Hijo de Eson y de Alcimeda, fue educado por el centauro Quirón. Al cumplir veinte años, Jasón se presentó frente a su tío paterno Pelies, vestido de forma estafalaria y con una sola sandalia, para reclamarle el trono del que había despojado a su padre. Como a su tío un oráculo le había dicho que se guardase bien de un hombre con una sola sandalia, le dijo que de acuerdo le cedería el reino, si antes le realizaba un trabajo como el de proporcionarle el Vellocino de oro. La propuesta sedujo a Jasón, por lo que armó una nave de cincuenta remos que denominó Argo, para desplazarse a tierras lejanas y recuperar el vellón. El nombre de la nave obedecía a que su constructor era un tal Argo de Tespia que fue además, ayudado por Atenea.



**crysos**



**Expedición de los Argonautas al mando de Jasón a la búsqueda del Velloncillo de Oro en la Cólquida (Armenia). Todos los ríos por los que se realizó la expedición son auríferos**

Para ayudar a construir, armar y conducir la nave así como para poder realizar tan magna aventura, el héroe tesalí, llamó a todos los héroes de la época como si se tratase de una superproducción cinematográfica. Entre los héroes de la época había un tal Casto, una sola mujer llamada Atlanta; Castor; Polideuces; el siempre presente Heracles; Idmon; Mopsa; el gran vidente Linceo (el primer geofísico); Meleagro; Nauplio; Oileo, padre Ajax; el gran músico Orfeo; el padre de Aquiles, Peleo; el hijo de Poseidón, Periclimeo y Teseo, padre del otro de los héroes de Ilíada o Ajax el Grande. El timonel del Argo, era conocido por Tifis y participaron además Zetes y Calais hasta completar cincuenta y cinco tripulantes. Una vez reunidos todos, decidieron democráticamente que Heracles (hijo de Zeus), fuese el caudillo de la expedición, éste lo delegó hacia Jasón.

Con los preparativos finalizados la cuestión que se planteó fue: ¿dónde estaba el vellón de oro? ya que su piel, pertenecía a un cordero mágico, puesto que volaba, y era además propiedad de Hermes.

El cordero, había realizado un vuelo, desde Beocia hasta el extremo mas oriental del Mar Negro a un territorio conocido como la Cólquida (actual Georgia), que en aquellos tiempos pertenecía a Armenia), montado por Frixo y Hele que huían de su malvada madrastra llamada Ino,.

Durante el viaje tuvieron un contratiempo y es que Hele se cayó al mar y se ahogó, dando así su nombre al Helesponto. Finalmente y sin mas incidentes, Frixo alcanzó la Colquida y allí, como agradecimiento a Zeus, sacrificó el animal donando su piel o vellón al hospitalario rey local llamado Eetes. El Rey raudo, consagró el vellón a Ares clavándolo en una estaca de una encina de su bosque para quedar bajo la protección de un dragón que estaba siempre en vela.

Finalizados los preparativos de armar la nave, los héroes se embarcaron en ella y realizaron un sacrificio a Apolo para posteriormente zarpar de Tesalia y después de un sin fin de contratiempos en el Mar Negro, ascender por el Río Fasis (actual Coruh o Rioni) y llegar a la Cólquida (ver mapa).

Allí desembarcaron y Jasón solicitó a Eetes el vellocino de oro. El Rey, muy astuto, accedió a su petición bajo dos condiciones. La primera fue que colocase un yugo a dos toros bravos con patas de bronce que no paraban de resoplar fuego. Le conminó además, que una vez alcanzada esta dura tarea, debía de poner a los toros en la labranza y sembrar los dientes del dragón. Lógicamente antes debía de arrancárselos.

Jasón vio en seguida, que todo aquello era una quimera imposible de realizar, si no tenía la ayuda de los dioses. Pero he aquí, que la hija del Rey Eetes se enamoró locamente de Jasón, ayudándole en su operación con toda una serie de encantamientos. Con esta inestimable ayuda Jasón pudo “tomar” el vellón y junto con su amada y los argonautas huir de la Colquida. En su huída, los expedicionarios atravesaron todo el Mar Negro por otra vía distinta de la de la ida, debido que no hicieron grandes amigos durante la primera travesía.

Una vez alcanzada la orilla occidental del Mar, entraron por Varna, subiendo por el río Danubio hasta la altura de la actual Belgrado. Desde este punto descendieron por otro río, posiblemente el Istra hasta alcanzar el mar Adriático para desde allí remontar el río Po hasta los Alpes, que posteriormente atravesaron. De los Alpes descendieron navegando por el río Ródano, hasta alcanzar el Mediterráneo que exploraron, hasta alcanzar, sanos y salvos Zoclo.

Esta expedición es muy ilustrativa ya que se podría considerar como la primera quimera del oro, así como la del aprendizaje de distintas técnicas y métodos de prospección que tanto necesitaban los griegos. Todos los ríos por los que navegaron, así como todas las zonas que exploraron, eran lugares conocidos por sus riquezas en oro y posiblemente por sus tecnologías específicas. Ello nos conduce de nuevo a utilizar los conocimientos históricos como herramientas o criterios en prospección aluvionar.



*Jason en la Cólquida (De Re Metálica de Agricola)*

## El Rey Midas (695 aC)

El mitológico rey de Frigia, región situada en la Península de Anatolia, actual Turquía, es un personaje que tiene dos leyendas:

Una vez, según el poeta Ovidio (43 aC), Dionisio (Dios que nació dos veces), por el hecho que Midas ayudase a un tal Sileno, un sátiro malhumorado y viejo, que por no perder la costumbre andaba borracho, le concedió la gracia que le había pedido: que todo lo que tocase se convirtiese en oro. Ahora bien, cuando Midas quiso comer y beber, se dio cuenta que todo lo que tocaba se convertía en oro y por ello no comía ni bebía.

Midas, pidió a Dionisio que le liberase del don, éste para complacerle le indicó que se lavase las manos y el rostro en las aguas del Río Pactolo, actualmente denominado Sarabat, y tributario del antiguo Hermus o Gediz. Una vez realizada la operación, Midas se liberó del don, pero lo transmitió al Río que como consecuencia empezó a transportar pepitas de oro y dar lugar así a placeres.

La presencia de oro en este Río era ya conocida en la época de los reyes del Rey de Lidia, Craso (546 aC) considerado el personaje más rico del Mundo.



***Midas en plena crisis áurea trasmitiendo a las aguas del Pactolo en crisos.***

La otra leyenda que afecta a Midas, no tiene nada que ver con el altruismo anterior. Por el hecho de entrometerse en una trifulca entre Pan y Apolo, sobre quien de los dos tocaba mejor la flauta y al decantarse a favor de Pan, Apolo se enfadó e hizo que le creciesen unas enormes orejas como las de un asno.

Desde entonces Midas las ocultó bajo un sombrero pero un barbero se enteró de ello y, para librarse del peso del secreto, lo confió a un agujero excavado en el suelo lo que sólo él conocía. Tras rellenarlo, se fue aliviado pero con el tiempo crecieron juncos en el lugar y el viento, al pasar a través de ellos, dispersó el secreto por todo el mundo.

## LOS CELTAS Siglo IX aC - VI d.C

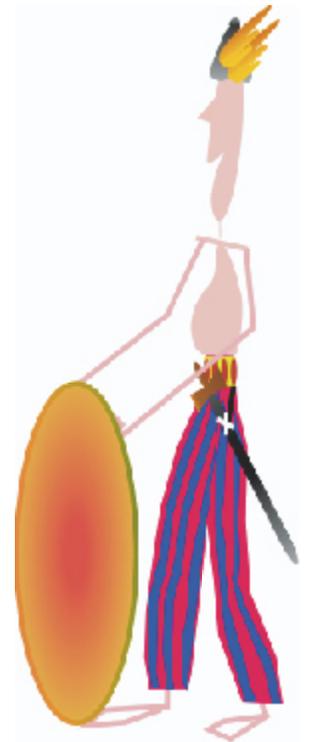
Los primeros datos que se tienen sobre el oro de los Celtas, es la aparición en la Europa Central (2000 aC) de los pueblos del vaso campaniforme (protoceltas), en la Chequia actual y denominada Unetice (Taylor, 1995). Este pueblo aprendió el arte de la metalurgia en la Península Ibérica, probablemente de los Argaricos (1500 aC)?.

Los artesanos de Unetice, poseían una excelente posición geográfica, ya que comercializaban sus objetos de bronce y estaño con Irlanda a cambio de oro. Los Celtas importaron orfebrería en oro inicialmente de los Griegos 800 aC y Posteriormente de Etruria entre el 700 y 450 aC.

A pesar de ello la orfebrería proto-celta, sería anterior (Eulere, 1987). Así, se han hallado ídolos en oro entre el V-VI milenio aC en Varna (Bulgaria), cerca de las minas a cielo abierto de Stara Zagora de Ai Bunar y otros elementos en toda Europa del Sur Este hasta los Alpes (Hungría, Rumania y Bulgaria).

La distribución de los Celtas por toda Europa, es de una superficie de más de dos millones de kilómetros cuadrados, que se refleja en el mapa adjunto y su distribución en el tiempo va desde el 700 aC hasta el 100 dC. Su ubicación inicial fue una parte de la actual territorio francés, alemán, suizo, austriaco, checo-eslovaco y Hungría, para expandirse posteriormente hacia Bretaña , Irlanda y la parte occidental de la Península Ibérica, Norte de Italia hasta la parte central de la Península de Anatolia. A pesar de todo del 250 aC hasta el 1 aC, fueron desapareciendo hasta quedar tan sólo e, en las época de Julio Cesar, en la Galia, una pequeña parte de la Península Ibérica y en las Islas Británicas.

Cronológicamente el primer comercio de este pueblo con los pueblos del Sur, se inició en el 600 aC en la colonia Griega de Massilia (Marsella) y al 500 aC con los etruscos dentro de la cultura celta de La Tene.



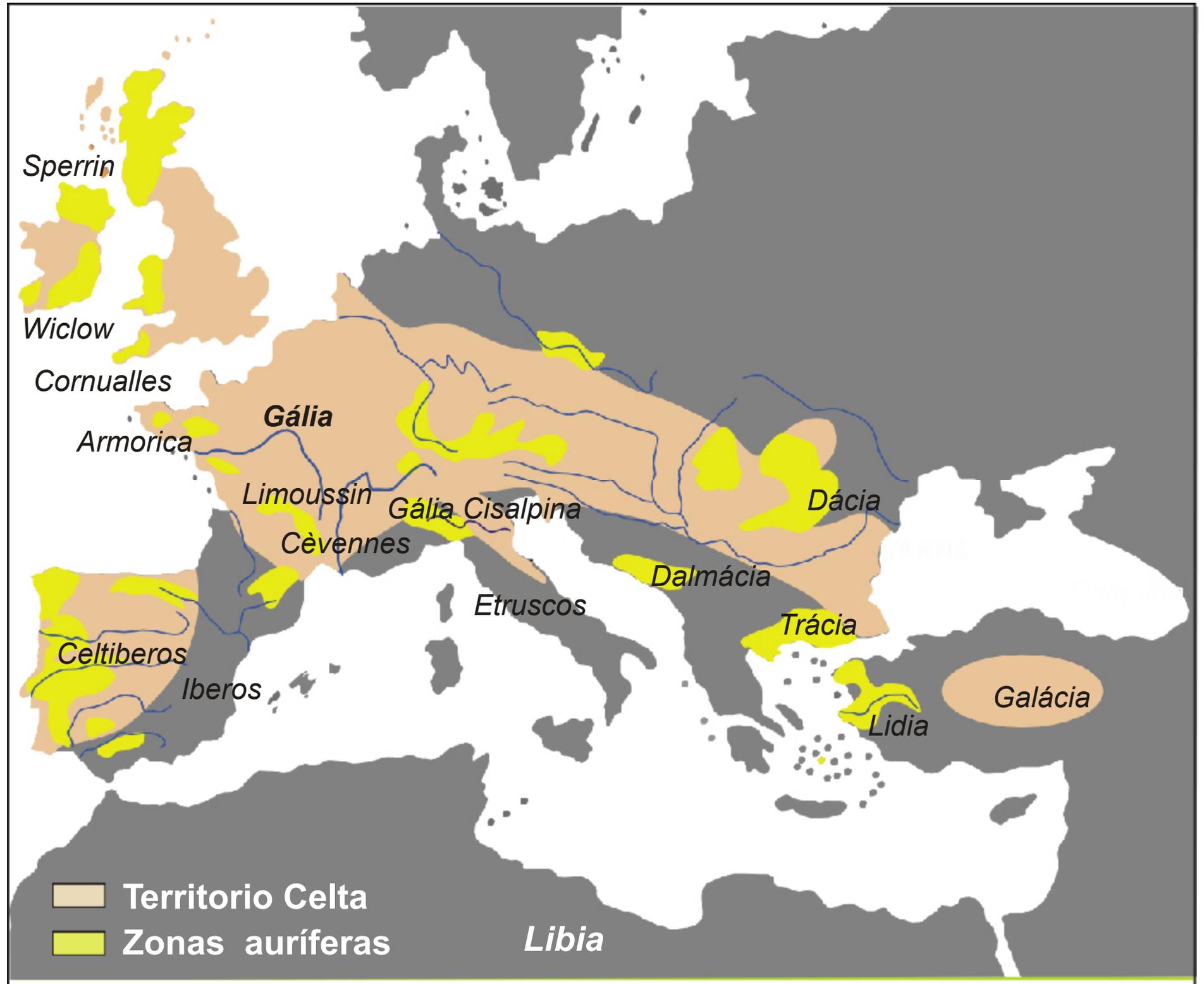
# MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS CULTURAS CELTAS EN EURASIA



ORFEBRERIA CELTA



Idolos Protoceltas de Varna



Según el griego Diodoro de Sicília (199 aC), “ *en la Galia se hallan grandes cantidades de oro nativo que los lugareños recogen sin esfuerzo. Como que los ríos en su recorrido tortuoso chocan contra las raíces de las montañas, las aguas extraen y transportan con ellas fragmentos de rocas cubiertas por arenas de oro. Los que trabajan en el oficio, rompen las rocas, llevándose las arenas mediante sistemas de concentración y funden los residuos. Ellos recogen de esta forma una masa de oro que se utiliza para acicalar a las mujeres y también a los hombres, ya que con el hacen anillos y brazaletes que llevan en sus puños y brazos; fabrican además collares de oro macizo, anillos y también corazas. Los habitantes de la Céltica Superior ofrecen otra singularidad en lo que a templos se refiere. En los templos y recintos sagrados de este país, se almacena mucho oro como ofrenda a los dioses, y, aunque los Celtas les gusta mucho el dinero, ninguno de ellos se atreve a tocarlos, debido a que la ira de los dioses los retiene.*” (VI/27).

Otro historiador griego, Estrabón (63 aC) citado por Eulère op.cit, escribe sobre los recursos de la zona gala de Tarbes, a los pies de los pirineos centrales franceses que: “*la gente de la zona de Tarbes tienen en su territorio las minas de oro más importantes que existen en las galias ya que tan solo realizando pequeños pozos a poca profundidad pueden hallar láminas de oro gruesas como el puño, muchas de las cuales no necesitan de refino. A pesar de todo, en general el oro se halla en forma de pajuelas y de pepitas de oro que tampoco es necesario refinarlo*”.

Más al Norte de la zona mencionada, el historiador griego comenta: “*incluso en la costa meridional de estas montañas hasta su extremo, es ocupada por los Volques, también conocidos por Tectosgos; ellos son vecinos de los Pirineo y llegan hasta algunos puntos de la costa septentrional de Cevennes. En su territorio abundan las minas de oro*”. Eulère (opción citada) comenta que el historiador griego dice, a su vez, que “*las minas de los galos o gaélicos de las montañas de Cevennes y las que poseían a los pies de los Pirineos eran muy superiores a las de Iberia, pero de hecho, los metales de ibéricos eran en general los preferidos*”..

Otras zonas de la Gália en donde se encuentra ríos auríferos se sitúan en el macizo Armoricano como los sectores de Pontivy Loudéac, Fougères-Mayenne, Guerch-Château-Gontier, Roudouallec.

En Irlanda los ríos auríferos de la época celta son los situados en la parte SE de las montañas de Wiclow, que fueron explotados hasta el siglo XIX. En la parte Septentrional de la Isla, también hay numerosos ríos auríferos como los de los condados de Tyrone, Donegal y Antrim.

# ROMA *Aurum*

Los romanos, igual que los griegos, conocían siete metales que simbolizaban los signos astrológicos: el Sol equivaldría a el oro, la Luna a la plata, el mercurio a su homónimo, el cobre a Venus, el hierro a Marte, el estaño a Júpiter i el plomo a Saturno.



**Aurum**

Tanto durante la época republicana (531 - 31 a.C.) como en la imperial (31 a.C. - 476 d.C.), los romanos fueron grandes conquistadores de territorios que les podían proporcionar los minerales que necesitaban. Durante la etapa imperial desarrollaron toda una batería metodológica y tecnológica en prospección y explotación de menas minerales sin precedentes en la historia de la humanidad. En muchos casos estas tecnologías no fueron superadas hasta finales del siglo XIX. Este es el caso de las explotaciones romanas de oro en la parte Norte de la península Ibérica y concretamente en la zona próxima a Astorga en la Provincia de León.

Otras grandes explotaciones romanas se situaron en Egipto, de donde obtuvieron gran parte de la metodología y la tecnología y en la mencionada Galia, Bretaña e Irlanda. Posteriormente, con la conquista de parte de los Cárpatos o antigua Dácia, en la actualidad territorios de Eslovaquia, Hungría, Rumania y Bulgaria, por parte de Trajano (97-119 d.C.), entraron en producción nuevos depósitos de oro para paliar las cada vez más exhaustas reservas de Iberia y de la Galia.



*Rio Dordogne (Gália, Francia)*



*Rio Avoca (Irlanda)*



*Paisaje de los Cárpatos río Hron (Eslovaquia)*

La parte principal de la producción de oro en la Península Ibérica, tuvo lugar en una zona que se conoce como “Las Médulas de Carucedo” (Comarca del Bierzo, León), con unas 960 toneladas según López (1983). Su valor en el 2005 hubiese sido de más de 10.500 millones de Euros.

Sobre el conjunto Nor-Occidental de la Península Ibérica, se calcula que durante los 300 años que duraron las explotaciones auríferas, se produjeron más de 1.300 toneladas de oro con un volumen de tierras removidas de más de 600 millones de metros cúbicos. Sánchez Palencia (1996), estima el volumen removido, a la mitad de lo indicado, de los cuales un 18% correspondería a la Médulas.

Las leyes medias en este yacimiento, según Quiroga in Sedillot (1975), estarían alrededor de los 8 g/t. Los romanos solían beneficiar alrededor de un 40%.

Además de las Médulas, dentro de la Península Ibérica, se realizaron trabajos en la cuenca del Duero (d'Ouro), Duerna, Eria, Omañas, Sil, Aliste, etc., en las actuales provincias de León, Zamora, Salamanca, Norte de Cáceres y Lugo, así como todo el Norte de Portugal desde el Río Miño hasta la región de Guarda y toda la zona Asturiana.



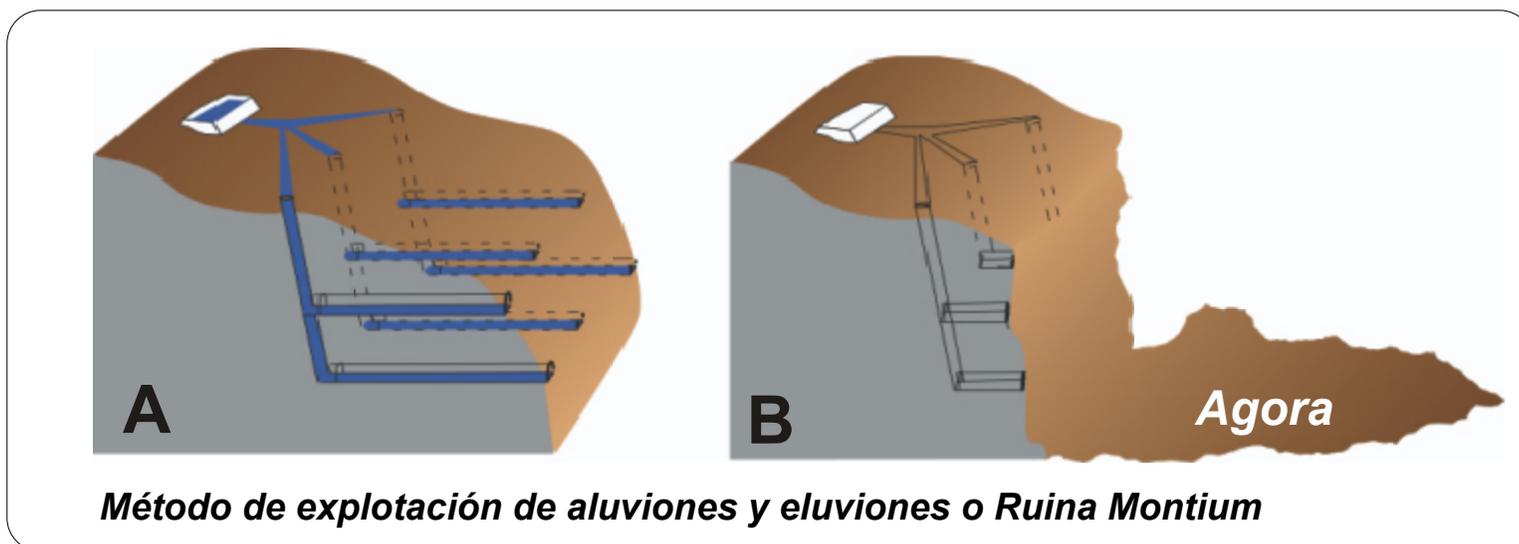
**Vistas sobre las Médulas de Carucedo (León)**



**Foto. Ricardo Lázaro**



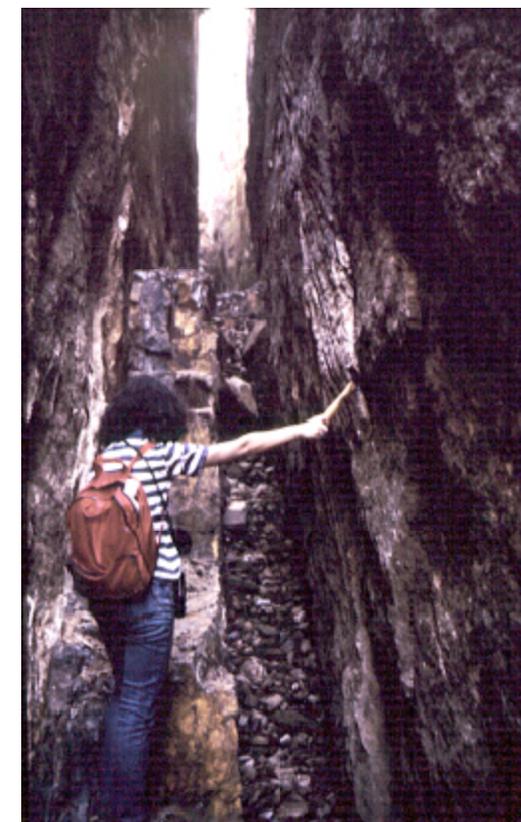
## Métodos de explotación romanos



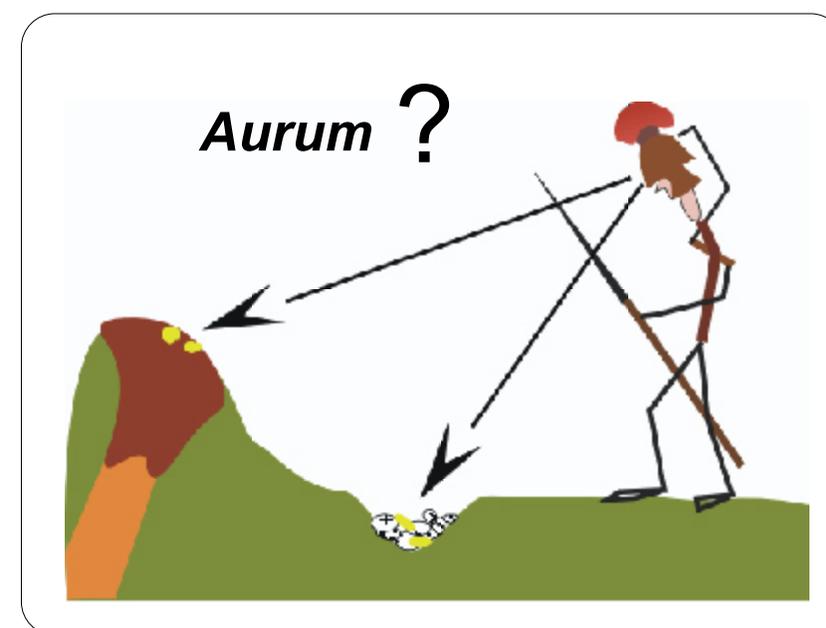
Para realizar esta magna obra, los romanos, que en esta época, poseían ya conocimientos sobre los fenómenos de erosión de los yacimientos primarios o secundarios consolidados, por parte de los ríos, estaban capacitados para prospectar y localizar empíricamente los diversos tipos de yacimientos de oro conocidos. Por otra parte poseían conocimientos sobre las menas auríferas primarias así como de algunas menas tales como los sulfuros arsenicales, como observamos en Penedono (Portugal). Las partículas de oro eran diferenciadas por su tamaño, tal como nos lo narra Plinio el Viejo ya que *balux*, significaba polvo de oro y *palaga o palcurna*, pepitas de oro.

Al igual que en la actualidad, los romanos realizaban el laboreo de sus yacimientos, una vez localizados en el espacio, fundamentalmente mediante una prospección aluvionar o simplemente guiados por los autóctonos conocedores de la ubicación de los depósitos, en tres fases: prospección y evaluación mediante catas, pozos, etc.; extracción del mineral y por último beneficio de las menas para la obtención del metal buscado.

Durante la primera fase, según nos indica Plinio el Viejo , “ los que buscan el oro recogen antes que nada el *segutilium o segullum*”, así se llama el indicio. Esto es una batea de arena, que se lava, y de los que queda se deduce una estimación”. Otro método eran los *ternagi*, o galerías de prospección hechas sobre frentes de explotación para ir valorando la riqueza en oro.



**Filón de arsenopirita aurífera de Penedono Portugal tal como lo dejaron las piquetas romanas**



**Prospector romano localizando un gossan y una pepita en un río**

## La extracción del oro se realizaba, según, Lopez op. cit., de la siguiente manera :

- a) Lavado de arenas en los lechos de los ríos, es decir de los yacimientos aluviales, mediante tamizado y bateado. En el Sil, cerca de La Rúa (Orense), los romanos industrializaron el laboreo mediante la desecación de un gran meandro, para lo cual se trasvasó el río mediante un túnel excavado en la roca, conocido actualmente por Montefurado.
- b) Excavación de pozos y galerías siguiendo el buzamiento de los filones de cuarzo aurífero, donde el oro podía extraerse al estado natural o bien combinado con sulfuros. Un buen ejemplo lo tenemos en las minas de Penedono (Portugal). Ver fotografía.
- c) Método de la arrugia o canto rodado. A éste Plinio el Viejo se refiere con extensión ya que fueron las que más le impresionaron.

El sistema tiene por objeto, según cita el autor, el extraer el oro embebido en las grandes masas de aluvión aurífero que conforman los montes y las laderas de los valles. Dada la escasa riqueza de éste (2 g/t), los romanos utilizaron a falta de maquinaria pesada tal como retro excavadoras, bulldocers, dumpers, etc., la fuerza hidráulica. El agua era traída desde zonas de hasta 100 km, mediante canalizaciones gigantescas y se embalsaban cerca de la parte alta de las explotaciones. Esta agua embalsada se soltaba repentinamente a través de unos cauces previamente esbozados mediante sistemas manuales, arrastrando y erosionando a su paso, las tierras auríferas. Al final del recorrido, la gran masa aluvial acarreada por el agua, pasaría por los tamices de los lavaderos, integrados por tojos y retamas, en donde el oro se depositaba. (ver dibujo)

Este método, presenta además dos variaciones:

1. “*Sistema Peine*”, denominado así por la apariencia que presentan las explotaciones observadas en el aire. Consistía en un canal que seguía la ladera de la montaña a excavar y perpendicularmente a él, se iban trazando una serie de surcos que descendían hacia el valle convergiendo a uno o más lavaderos o agoras.
2. “*Ruina Montium*”, según denominación de Plinio, por fundamentarse en el sucesivo derrumbe de los montes, a consecuencia de las presiones y erosiones ocasionadas por el agua que, soltada repentinamente desde los estanques de retención, circula turbulentamente a través de una compleja red de pozos y galerías excavadas en el manto aluvial. Los arrastres de tierras procedentes del derrumbe, debidamente canalizados, se conducía a las agoras para la extracción del oro.

### Producción de oro según Quirling in Sedillot (1975) 50 aC - 500 dC

<b>Egipto</b>	<b>185</b>
<b>Nubia</b>	<b>212</b>
<b>Iberia</b>	<b>1.430</b>
<b>Galias</b>	<b>343</b>
<b>Gran Bretaña</b>	<b>70</b>
<b>Italia</b>	<b>150</b>
<b>Alpes y Bohemia</b>	<b>70</b>
<b>Cárpatos</b>	<b>160</b>
<b>Balcanes</b>	<b>541</b>
<b>Asia menor, Cáucaso</b>	<b>28</b>
<b>Chipre</b>	<b>3</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3.192 t</b>

## EL ORO DE BAMBOUK

El oro, desde la más remota antigüedad, ha sido objeto de beneficio en África Occidental, concretamente en la región conocida como Bambouk (Senegal -Guinea - Malí). En esta región, además de depósitos eluviales y primarios, ha habido y aún hay placeres aluviales de oro, concretamente donde se encuentra el río Falema, afluente del Río Senegal. El beneficio del oro por los lugareños, se ha realizado de manera ininterrumpida desde la época Púnica, cuando Cartagineses y Romanos situaron pequeñas colonias para comprarlo.



*Rio Falémé. Malí*

La producción de metal fue tan elevada, que una parte del oro de Egipto, era originario de esta Región. Los trabajos de beneficio continuaron durante la Edad Media en la que, Tomuctu (Malí) fue su principal centro de comercio. Un Emperador del Malí, llamado Janka Moussa (ver el portulano), en un peregrinaje a la meca en 1324, llevó tal cantidad de oro que produjo la depresión de los mercados del oro durante muchos años.

Después de 5000 años, los viajeros de la región de Bambouk, han explotado el oro, como complemento o ayuda de su cultura agrícola y ganadera de subsistencia. La región de Bambouk y toda la región de Ghana (que significa oro en la lengua de la región) comerció el oro, además de los ya indicados romanos y cartagineses, con los árabes, los normandos, portugueses, españoles, franceses, holandeses, británicos y prusianos . En 1714 el Dorado de la Falémé fue redescubierto por los Europeos y explotado de manera intensiva.



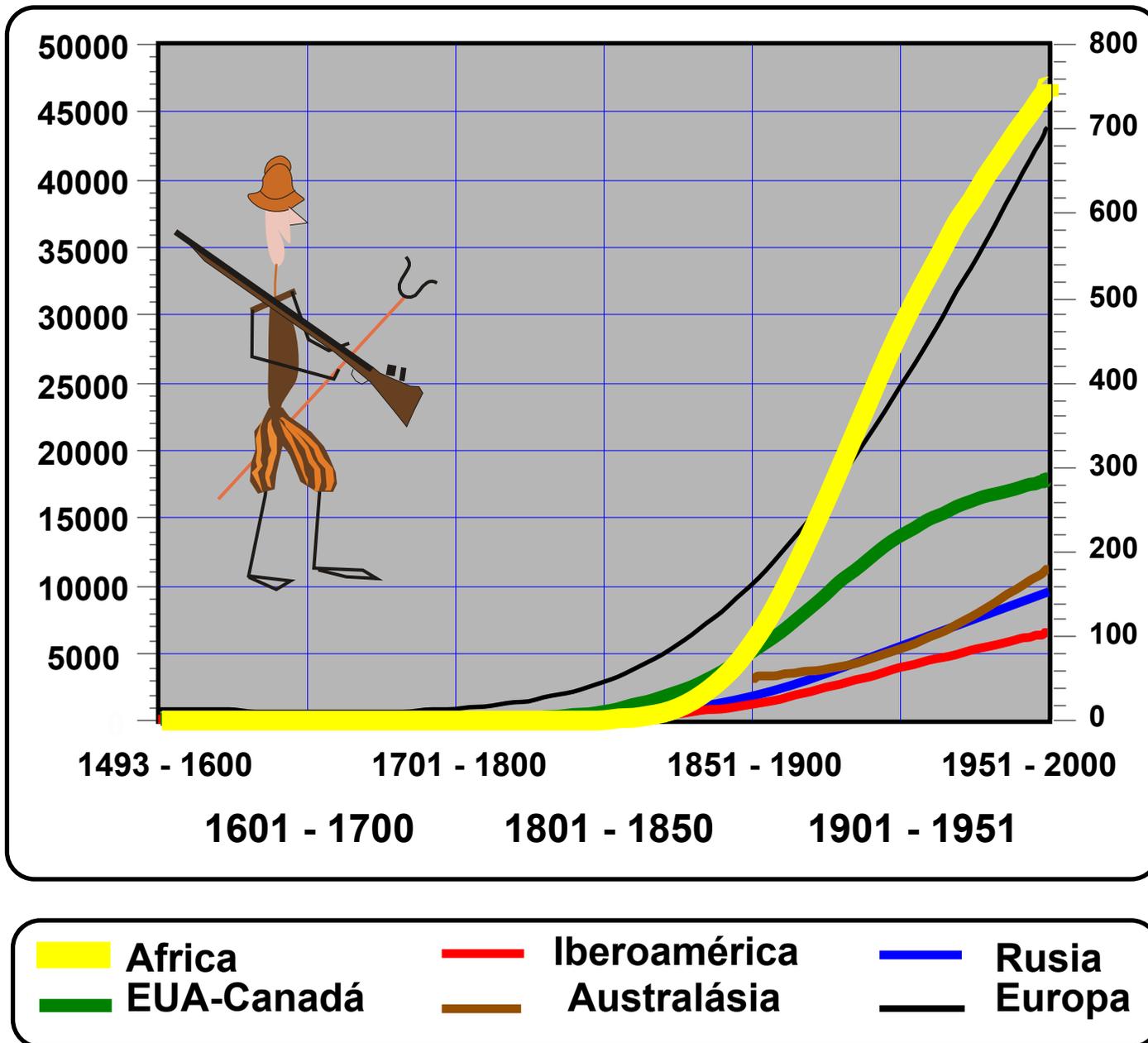
## EL DESCUBRIMIENTO DE AMÉRICA

La mayor parte de la actividad extractiva de la Edad Moderna se trasladó en las tierras del Nuevo Mundo así como en África portuguesa y Asia.

Como ya se ha indicado el término Placer procede de la quimera española en América. Para mayor información consúltese la obra de El Libro de la Minería del Oro en Iberoamérica (2001).



**PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ORO DES DE 1493 HASTA EL AÑO 2000 (en toneladas)**



## ***EL ORO DEL RIO SEGRE (NE PENÍNSULA IBÉRICA)***

Es conocido de los historiadores del antiguo Sícoris (nombre latino del actual Río Segre), que el oro era sistemáticamente beneficiado por los lugareños del río- Maluquer de Motes (1971) cita, al tratar sobre los primeros metales utilizados por los pobladores de la Península Ibérica, los trabajos de extracción de oro en el Río Segre. Otro autor como Lara Merce (1973), en su apartado de minería cita “que el oro era relativamente abundante en Lleida y zonas próximas, ya que algunos clásicos no dudaban en señalar que las arenas del Sícoris, arrastraban grandes pepitas de oro”, aspecto confirmado, en parte por los hallazgos arqueológicos de monedas de oro, collares y los torques de oro de Tremp.

Pita Merce (1975), en su capítulo XIII, cita que: “ la minería del oro tenía una tradición muy antigua en el país leridano y so, hasta ahora, numerosos los objetos hallados de este metal, como joyas de época ilergete y romana.... ”, en su trabajo cita numerosas piezas de oro, algunas de las cuales se hallan en el Museo Arqueológico del IEI, de Lleida.

El autor continua diciendo que : “Hay datos medievales que indican sobre el aprovechamiento de arenas auríferas en el Segre, tanto en Lleida como aguas arriba”, indicando un texto árabe de Al-Himayari, que trata sobre el aprovechamiento de las arenas auríferas en dicha época, seguramente en los siglos X y XI y siguiendo una tradición muy antigua. Además especifica que diferentes textos medievales cristianos se refieren al aprovechamiento de las arenas auríferas del Segre, seguramente entre los siglos XII y XIV.

Los musulmanes, tal como se indica en el museo de historia antigua y medieval de la Noguera ubicado en Balaguer, colonizaron aquellas tierras por dos elementos que el río les proporcionaba: el agua y el oro. Parece ser que la fuerte resistencia que ejerció el Al Andalus frente a los pueblos cristianos en la zona del Segre estaba en gran parte motivada por el oro ya que con el acuñaban dinares en la Seca de LLeida.

Vallverdú i Sirera (1976), cita que Enric Cock, viajero y cronista flamenco que acompañaba a Felipe II (1527-1598), que en los arenales del Segre, habían buscadores de oro y detalla los artefactos que utilizaban para lavarlo de las arenas, y como por la noche le aplicaban una bola de azogue (mercurio) para atraer el polvo de oro.

## EL ORO DEL RIO SEGRE (Edad Moderna)

De toda la documentación histórica que he manejado, la que considero de mayor interés, tanto bajo el punto de vista humanista, como herramienta o criterio en prospección minera, es la que nos aporta el geógrafo catalán Pere Gil, S.L. (1551-1622). Sus relatos han sido transcritos de forma literal en catalán antiguo, por Josep Iglesias en 1949. Este geógrafo no tan solo nos muestra la localización, a grandes rasgos, de las arenas auríferas, sino que también describe las herramientas utilizadas (antiguas bateas) así como su manipulación.

Pere Gil 1568 (texto en catalán antiguo) dice : “ *Y encara que (a)vuy en dia no y ha a Cathaluña mina oberta de Or; pero hay en Cathaluña tres rius dels quals a(vuy en dia se cull or. Lo primer es lo Riu Segre en lo qual se pesca lo Or junt à Leyda; y lo modo de pescarlo y traurel es desta manera; que lo qui vol traurelo Or se posa en lo riu y en lo lloc ahon regolfa lo Riu; y te un instrument à modo de pastera clos bayx y ubert dal, lo qua(l) algunes voltes es rado com un tallador i tindra un palm y mitg de diametro, y mitg palm poc mes ò menys de fondo: altres voltes en quadrat y te dos palms de llarc y palm y mitg de ample, y lo home dins la aygua en lo regolf, omple aquell instrument de arena y aygua; y despres comença à manejar y cedrer aquella aygua abla arena, donant colps per lo costat dedit instrument; y donant ursades per fer caurer la arena y conservar lo Or que esta mesclat en la arena; y lo or com sia mespesat se vabayx. Del mateyx modo que los Argenters rentan las basureas de sas fornals, y casas; quant veuen ò presumeynen, haver en elles Or, Argent, ò altres metalls, y lo home qui es versat en secar dits llocs acomodats en los quals regolfa lo Riu Segre; y es destre en pescarlo y netejarlo del modo predit, guanya molt be son jornal; algunes vegades, en algunes occasions y avingudes del Riu de tal ventura que enriqueyx” .*



Monasterio de Les Franqueses (Balaguer)



El Riu Segre en Balaguer

Pere Gil, además del Río Segre en el sector Oriental de la Península Ibérica, cita el Río Tordera que nace en el macizo del Montseny (50 Km al Norte de Barcelona) y del curso alto de este río dice (traducido al Castellano). “ *El segundo río del que se extrae oro en Catalunya es el río conocido como Tordera. La gente versada en el oficio de extraer el oro, sitúan una vigas de pino, unas encima de las otras en los meandros de tal manera que ocupan todo el ancho del Río. En las vigas, efectúan una serie de cortes para realizar unas pequeñas artesas de cuatro dedos de profundidad en donde caen junto con las arenas las pajuelas de oro. Una vez el río deja de ser bravío se separan las vigas y se recoge el oro de las artesas. El oro, utilizado por muchos joyeros de Catalunya, es de veintidós quilates y medio.*”

Pere Gil después cuenta que los lugareños atraídos por su ambición o fiebre del oro intentaron localizar las fuentes primarias, que no hallaron y en consecuencia se arruinaron.

Otro de los Ríos auríferos descritos por el autor es el río Orlina situado en el Pirineo Oriental en el macizo de Les Albères que corre paralelo a su primo el Tet situado en la vertiente francesa del Pirineo Oriental.



Bateo en el curso medio del Río Tordera en 1993. (Barcelona)



Curso bajo del Río Tordera (Barcelona)

# INTRODUCCIÓN A LAS LEYES HIDRÁULICAS

## CONCEPTOS BÁSICOS:

- A. La corriente de agua superficial asociada a la formación de placeres, es parcial o totalmente turbulenta.
- B. Esta se caracteriza por la fluctuación errática de su velocidad, de sus líneas de flujo y por un marcado carácter tridimensional.
- C. La fuerza media temporal del fluido, denominada de tracción o de fricción vendrá dada por:

$$\tau_0 = \rho_f g R S \quad (1)$$

$$\tau_{total} = \tau_0 (1 - y/J) \quad (2)$$

donde **R** es el Radio hidráulico que equivaldría a la profundidad **J** de la corriente:

(1) quedaría como  $\tau_0 = \rho_f g J S$ . y  $\tau_{total}$

(2) variaría de forma lineal desde un máximo en el lecho ( $\rho_f g R S$ ), a cero en la superficie ya que  $y \approx J$ , teniendo en cuenta los esfuerzos de fricción turbulentos y viscosos (Middleton, 1984).

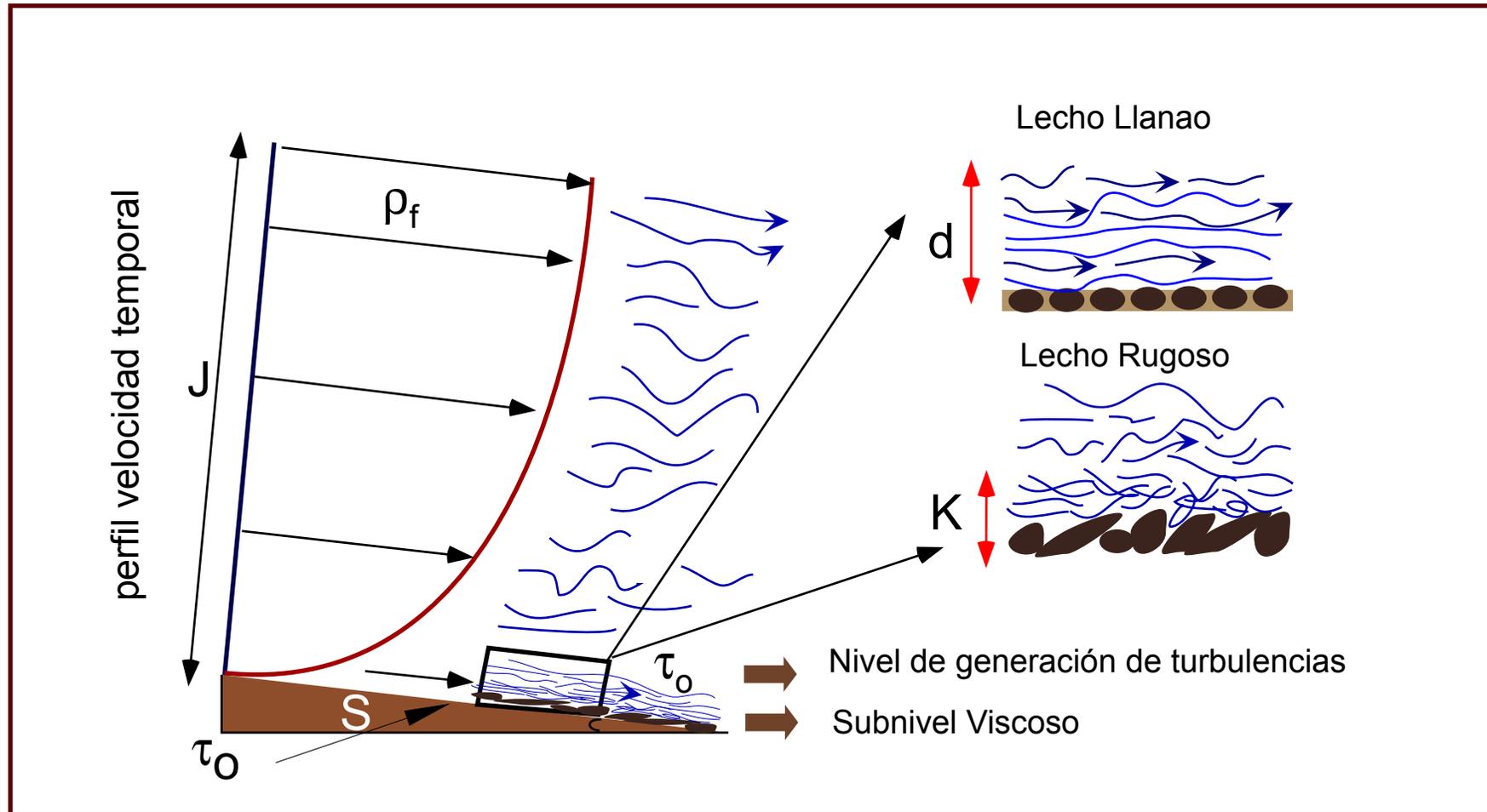
D. La velocidad de fricción  $U^* = (\tau_0/\rho_f)^{1/2} = (gJS)^{1/2}$  (3)

no puede ser medida directamente, y es muy inferior a la velocidad media del medio.

A *grosso modo* podemos visualizar en un corte transversal de un canal, tres zonas de flujo turbulento por encima de un lecho laminar ( Singerland and Smith, 1986 ) denominadas: subnivel viscoso; por encima de éste, un nivel de formación de turbulencias y una región exterior ocupada por un flujo residual y en donde tienen lugar las velocidades mas elevadas.

La presencia de elementos rugosos (no planares) en el lecho del río o canal, da lugar a la destrucción del subnivel viscoso y la extensión del nivel de turbulencias hasta el fondo del lecho. Esta situación tiene lugar cuando la altura **K** de los elementos rugosos (cantos, riffles, obstáculos en general), excede con respecto al espesor potencial del subnivel viscoso (el percentil 65 del tamaño de distribución de granos según Einstein 1950 in Singerland and Smith 1986).

## Estructura interna de un flujo turbulento según: Singerland and Smith 1986 .



### Estructura interna de un flujo turbulento según:

$J$  : profundidad de la corriente;

$\rho_f$  :densidad del fluido;

$\tau_0$ : esfuerzo de fricción o cortante;

$S$ : pendiente del lecho;

$d$ : espesor de la capa viscosa;

$K$ : altura de los elementos rugosos y zona tampón.

La presencia y espesor del subnivel viscoso (**d**) es de suma importancia ya que afecta a la naturaleza y distribución de las fuerzas del fluido (viscosidad y presión), que actúan sobre las partículas. Para cuerpos planos, el espesor del subnivel dependerá de la velocidad y viscosidad:

$$d = c.v / U^*$$

(4)

en donde (**c**) es una constante. Si las partículas del lecho sobresalen afectarán al nivel viscoso con lo que habrá que diferenciar hidrodinámicamente la rugosidad del cuerpo a partir de **K/d** substituyendo (4) por:

$$K/d = U^* \cdot K / c.v = constante = R^* = DU^* / \nu$$

(5)

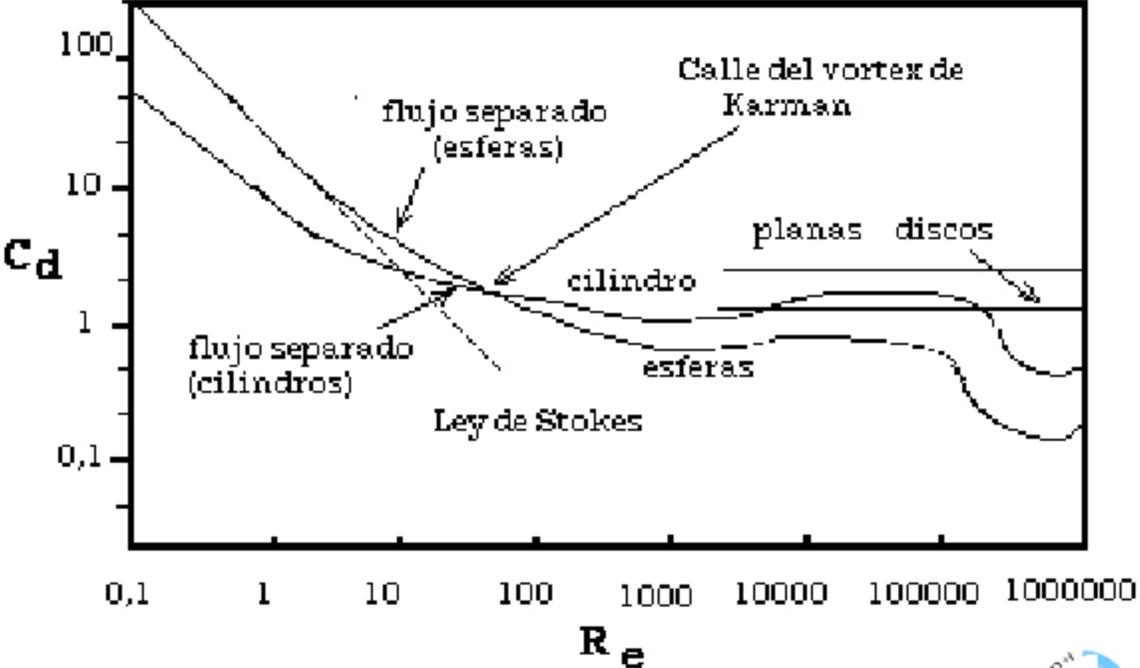
en la que la dimensión cuantitativa de **U\* · K/ν** es determinada por el número de Reynolds (**R\***).

Este tiene comúnmente aceptado un valor de 5 para superficies planas, fuerzas predominantemente viscosas y de 70 para superficies completamente rugosas (turbulentas).

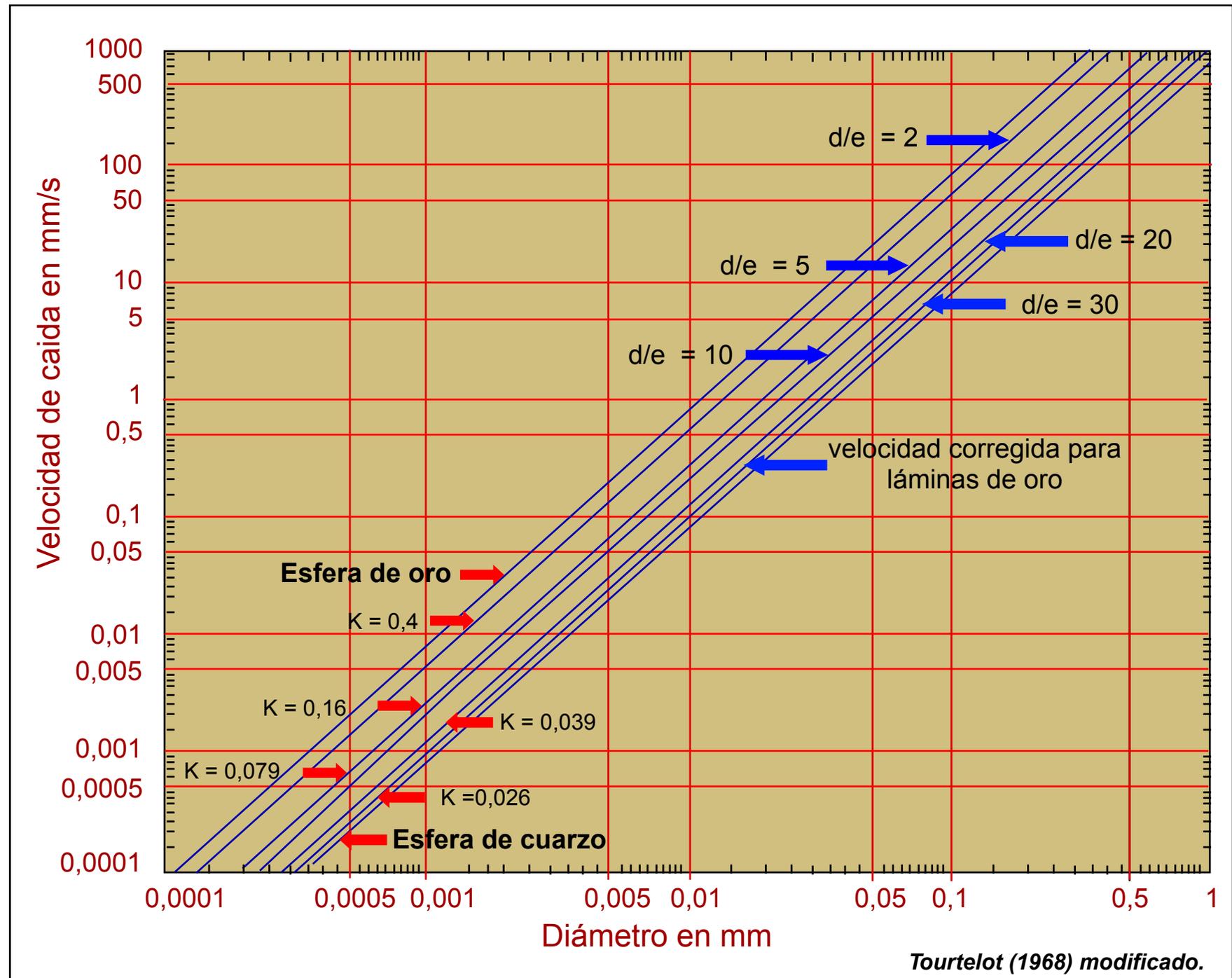
Otro parámetro utilizado, es el número de Reynolds (**Re**) para las partículas ya que determina el grado de turbulencia alrededor de una partícula o canto.

En función de éste último tendremos un coeficiente de resistencia (**Cd**), o factor proporcional entre la velocidad media relativa y la fuerza total que presenta una partícula.

Diagrama del coeficiente de resistencia **Cd** y **Re** para esferas, cilindros partículas planas y discoidales. Para valores de **Re** entre 104 y 105, **Cd** permanece casi constante. (Middleton, 1984)



### Velocidades de caída en agua de esferas de cuarzo y oro y láminas de oro a 15°C.



$K = \text{Volúmen}/(\text{diámetro})^3$   
(Heywood, 1933)

$d/e = \text{diámetro}/\text{espesor}$   
(láminas circulares)

Una partícula esférica de cuarzo de 0,1 mm de diámetro cae a la misma velocidad (8 mm/s) que una esfera de oro de 0,031 mm de diámetro o una lámina circular de oro de 0,062 mm de diámetro y una relación espesor diámetro de 10.

# CLASIFICACION POR ARRASTRE

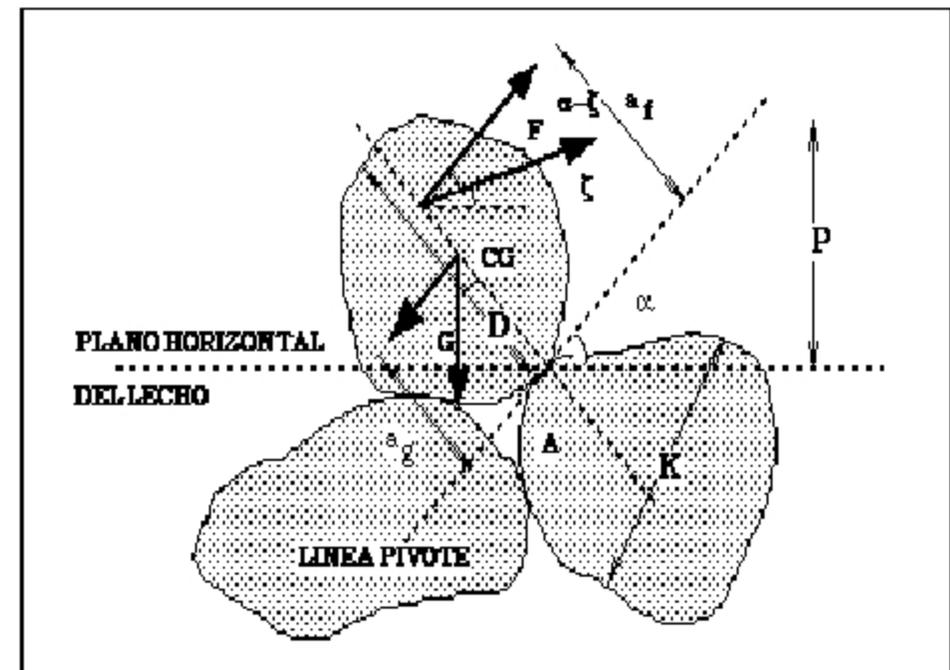
El arrastre es la dislocación de las partículas del lecho y su puesta en movimiento por una corriente o flujo. La separación de las partículas dentro de una población de estas o de un lecho más o menos no plano de diferentes densidades, formas y tamaños, se hallaría en función de ( $U^*$ ) en (3), del diámetro de la partícula ( $D$ ), de la densidad de la partícula ( $\rho_p$ ) y de la rugosidad del substrato ( $K$ ).

Si tenemos en cuenta además de las características de las partículas, la morfología del lecho, ya que este en parte es la causa de que las corrientes o flujos no sean ni unidireccionales, ni uniformes y de que sean turbulentas, se acepta que bajo dichas condiciones, la probabilidad de desplazamiento o arrastre de las partículas, aumente a medida que se incrementen las fuerzas de los fluidos con respecto a las fuerzas de la gravedad y de fricción que actúan sobre la partícula estática. Por esta razón tal como indican Slingerland and Smith 1986 op. citada, será necesario definir un parámetro  $N = n D / U^*$  en la que  $n$  es el número de granos de diámetro  $D$  por unidad de superficie, para evaluar el estado "crítico" de los valores del fluido, partícula y lecho. Estos autores lo valoran en  $N = 10^{-6}$ . Yalin 1977. Para que una partícula de la figura), inicie una rotación al rededor de un pivote ( $A$ ) y en su caso un movimiento, será necesario que las fuerzas del fluido ( $F$ ) y de la gravedad ( $G$ ):

$$F/G \geq (a_g \text{ sen } \alpha) / (a_f \text{ cos } (\alpha - \zeta))$$

(11)

En dónde  $a_g$  : igual al radio de la partícula, si esta es esférica o a  $cD$ , **ecuación 12**, si ésta no lo es y  $a_f$  : proporcional al factor  $b$ , son los momentos de palanca sobre  $A$ ;  $\alpha$  es el ángulo de reacción que decrece con  $D/K$ ,  $D$ , esfericidad, y con el incremento de la redondez, y  $\zeta$  es el ángulo entre el vector de fuerza del fluido y la horizontal y varía con la estructura del límite de la capa fluida ( $R^*$ ) y la protusión o saliente de la partícula (rugosidad del lecho) medida a partir de  $P/D$ .



## Velocidad crítica de arrastre

Son muchas las ecuaciones que definen la velocidad crítica de entrafiamiento o de arrastre, ya que junto los esfuerzos o su derivación, serán las que pondrán en movimiento unas partículas con respecto a otras y así dar lugar a un enriquecimiento del placer por pérdida de un excipiente estéril. Singerland 1977, propone una compleja ecuación (15):

$$V_c = 5,75 \cdot \log \left( 30,2 \cdot x \cdot y / BKS \right) \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{4}{3} \left( (4D \cdot g \cdot \cos \alpha (\rho_p - \rho_f)) (\tan \varnothing - \tan \alpha) \right) / 3C_d \right) \quad (15)$$

en la que  $\tan \varnothing = 0,866 / \left( (D/BKS)^2 + 2(D/BKS)^{2-1/3} \right)^{1/2}$

$\varnothing$  representa el ángulo de reacción,  $\alpha$  representaría aquí la pendiente del lecho en grados; **BKS** el tamaño de la rugosidad =  $D_{65\%}$ ;  $\beta_1$  coeficiente de fluctuación de la velocidad turbulenta ;  $\beta_2$  coeficiente de aplicación de la fuerza de un fluido en un punto;  $x$  factor de Einstein.

Esta ecuación ha sido utilizada por Darby et al 1988 para definir la formación de un placer en Colombia y puede asimilarse para valores del N° Reynolds elevados y  $q_c$ : 0,045, con valores de  $P/D = 0,2$ . a :

$$U^*c = \left( 0,045 g (\rho_p - \rho_f ) D / \rho_f \right)^{1/2} \quad (16)$$

en donde  $U^*c$  corresponde a la velocidad de fricción al iniciarse el movimiento. Combinando (9) y (16) tenemos  $w^o/U^*c \approx 30/C_d$  para esferas esta relación es de 8 y por partículas irregulares en donde  $C_d > 0,5$ , sería de 7. La ecuación (15) es difícil de resolver en cuanto  $V_c$  es función de  $C_d$  el cual a su vez es función del flujo alrededor de la partícula. la solución según Singerland 1977 op citada, se halla usando la ecuación de Schiller 1933, in Graf, 1972, relacionando  $C_d$  con  $Re$  para la caída de una esfera:

$$C_d = (24/Re)(1 + 0,15 Re^{0,687}) \quad (17)$$

siendo  $Re$  :

$$Re_c = V_c D / u \quad (18)$$

Substituyendo las ecuaciones (19) en (17) y (17) en (15) tendremos un polinomio complejo que puede resolverse por el método Newton-Raphson. El término **BKS** (Miller and Byrne, 1966), según Slingerland 1977, sería un parámetro que describe la rugosidad de los elementos en el lecho para  $R^* > 70$  ( $R^* = U^* \cdot BKS/u$ ), con lo que la velocidad de distribución:

$$V_y = 5,75 \log(30,2 xy/BKS) U^* \tag{19}$$

en donde  $V_y$  sería la velocidad media en un punto,  $x$  un factor de corrección de Einstein 1950 in Slingerland 1977, e  $y$  un punto de referencia del lecho.

La velocidad crítica de desprendimiento es tratada por la escuela soviética (Goncharov, Velikanov, Baturin, etc) in Smirnov 1976:

$$V_c = (J/1,0)^{0,2} \cdot (2g((\rho_1-\rho)(D+A)) / (a_f+a_a)r)^{1/2} \tag{20}$$

en la que  $V_c$  = velocidad de desprendimiento en el fondo del río;  $A$  = constante;  $a_f$  = coeficiente de resistencia frontal;  $a_a$  = coeficiente de esfuerzo ascendente;  $J$  ( profundidad de la corriente).

Esta ecuación es el resultado de tener en cuenta la velocidad vertical de la perturbación vortiginosa a partir de  $V_v = a_3( v /J^{0,2})$  en la que  $V_v$  , es la velocidad estática media inicial del flujo en el torbellino; un coeficiente que depende de la magnitud de la perturbación del vortex igual  $a_3 = (a_2 - k a_2) /2$  ;  $v$ , la velocidad lineal de fluencia.

Para una corriente de 1 m de profundidad tenemos  $V_v = 0,25 v_m /J^{0,2}$  en donde equivale a la velocidad media lineal de la sección mojada. De esta manera la velocidad vertical y el esfuerzo ascendente motivada por ella son directamente proporcionales a la velocidad progresiva de la corriente e inversamente proporcionales a la distancia hasta el fondo del río. La componente vertical alcanza de 0,07 a 0,1 de la velocidad progresiva.

La ecuación (20) para partículas de cuarzo ( 2,65 de densidad);  $A = 0,0014$  y  $a_f + a_a = 0,42$  se transforma en:

$$V_c \text{ (m/s)} = (J/1,0)^{0,2} (2G \cdot 1,65 \cdot (D + 0,0014) / 0,42)^{1/2}.$$

Si  $F = f(\mathbf{b} D^2, \tau_0, R^*)$ , en la que  $\mathbf{b}$  es un factor proporcional entre  $D^2$  y la superficie de la partícula en la que actúan las fuerzas y  $\tau_0$  y  $R^*$ , definidos en las ecuaciones (3) y (5) tendremos que:

$$G = cD^3(\rho_p - \rho_f)g \quad (12)$$

en la que  $c$  guarda relación con la forma no esférica de las partículas. A partir de aquí podremos definir el esfuerzo crítico medio de fricción ( $\tau_c$ ), como el umbral de movimiento a partir de  $F$  y la ecuación (10) dando lugar a la relación:

$$\tau_c/D(\rho_p - \rho_f)g \geq f(D/K, P/D, R^*) \quad (13)$$

Mediante esta relación, se define ( $q_c$ ) o parámetro crítico de dimensión de Shields (1936), que es utilizado para calcular teóricamente  $\tau_c$  en función del diámetro de la partícula. Mediante este parámetro, se puede observar que  $\tau_c$  es una función específica de la densidad para partículas inferiores a 0,1 mm y de ésta y de su diámetro para partículas mayores (Grigg and Rathbun 1969).

$$q_c = \tau_c / D(\rho_p - \rho_f)g \approx \tau_c / F_g \quad (13 \text{ bis})$$

en donde  $F_g$  serían las fuerzas de gravedad actuando en la superficie de las partículas por unidad de área.

Cuando los sedimentos se hallan bien clasificados y son arrastrados y transportados sobre un lecho con igual tamaño de partículas, este parámetro es tan solo función del N° de Reynolds. Cuando las partículas presentan velocidades de caída (9) inferiores a 10 cm/s en una amplia gama de densidades,  $\tau_c$  experimentalmente se halla en función de la velocidad de caída (9) y es independiente del N° de Reynolds (14).

$$\tau_c = 1,24 w_o^{1/3} \quad (14)$$

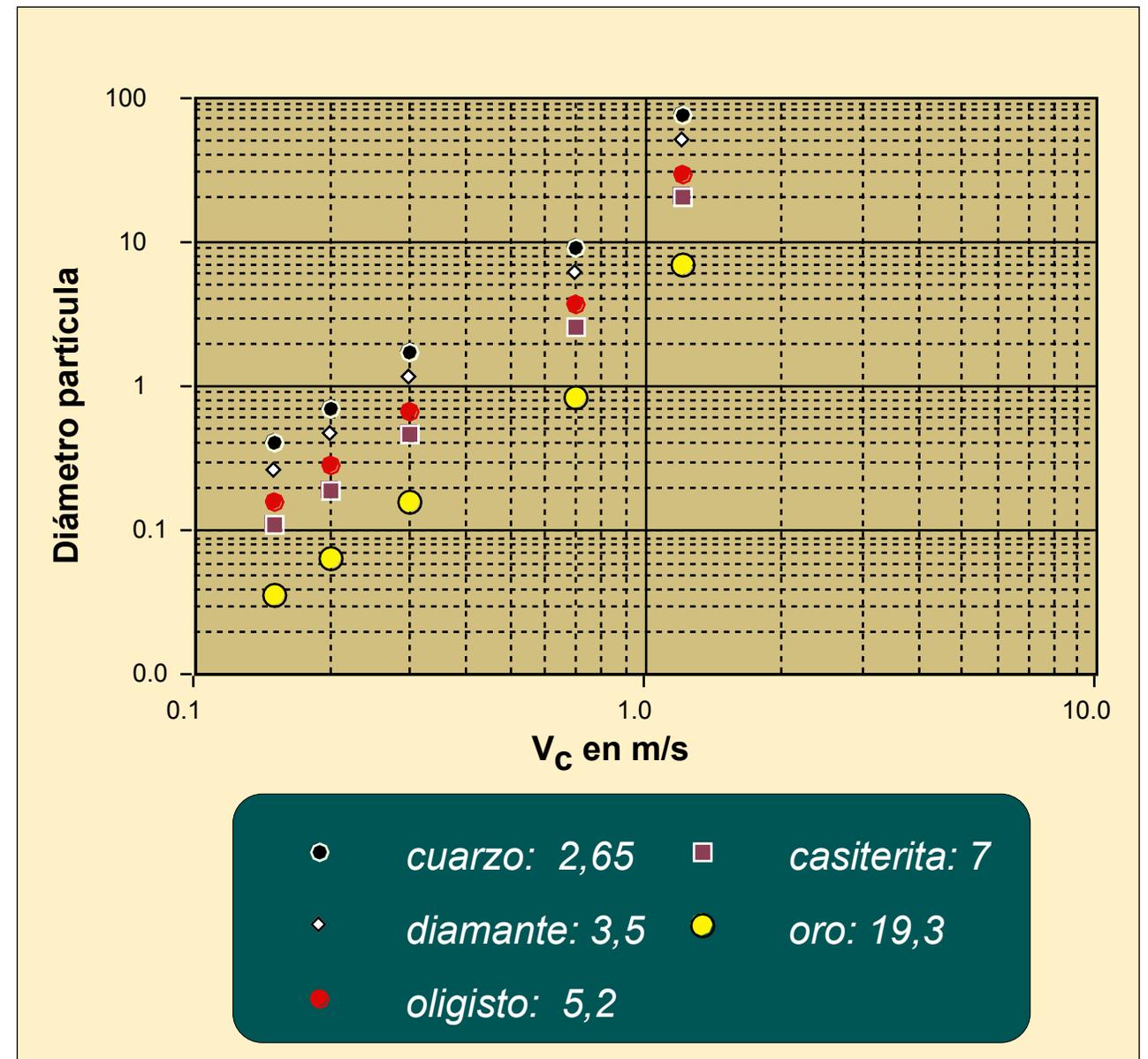
Experimentalmente, a partir de los parámetros  $q_c$  y de Yalin:  $(X)^{1/2} = R_e/(q_c)^{1/2}$ , se puede determinar  $\tau_c$  en función del diámetro de partículas planares de oro, ilmenita y cuarzo de densidades 19,3; 4,70 y 2,65 respectivamente. Sigue en ANEXO

## CLASIFICACION DURANTE EL TRANSPORTE

La velocidad de transporte ( $V_t$ ), Singerland 1977, la define como velocidad crítica de suspensión  $V_{cs}$  a partir de la ecuación (19) en la que la velocidad media del fluido medida a una distancia  $y$  del lecho y que mantendría en suspensión a las partículas de una velocidad terminal de caída constante ( $w_s$ ) ecuación (9):

$$V_{cs} = 5,75 \log (30,2 xy/BKS) V_s \quad (21)$$

$V_s$  substituiría a  $U^*$ , en la ecuación (19), si asumimos que esta velocidad de fricción se situa como velocidad vertical de un flujo turbulento.



### CLASIFICACION DE LOS GRANOS DE DIVERSOS MINERALES EN LOS ALUVIONES

V (m/s)	Densidad ( $r_p$ ) Material	2,65 Cuarzo	3,5 Diamante	4,0 Esfalerita	5,2 Oligisto	7 Casiterita	19,3 Oro
0,15	Limo grosero	0,4	0,26	0,22	0,16	0,11	0,036
0,20	arena fina	0,7	0,46	0,38	0,28	0,19	0,064
0,30	arena	1,7	1,12	0,93	0,67	0,47	0,156
0,70	grava	9,2	6,10	5,06	3,60	2,53	0,843
1,20	grava gruesa	75,0	49,5	41,25	29,5	20,6	6,870

Diámetro en mm de los granos transportados en relación con la velocidad de transporte. Thiebaut (1952).

# PÉRDIDA DE VOLUMEN: LA ABRASION

Si  $V_c$  es la velocidad de movimiento de los fragmentos ;  $M$  su masa;  $f_1$  el coeficiente de fricción y  $f_2$  el coeficiente de desgaste (proporcional a su dureza), la disminución de masa en  $dt$  será (Smirnov 1982):

$$dM = - V_c M f_1 f_2 dt$$

si  $V_c dt = dx$ ; entonces  $dM/dx = - f_1 f_2 M$  o sea que  $dM/M = - f_1 f_2 dx$  e integrando tendremos:

$$M = C e^{-f_1 f_2 x}$$

(22)

Haciendo que la masa de la partícula sea proporcional al cubo del diámetro medio, tendremos la fórmula de Sternberg

$$W = W_0 e^{-a(x-x_0)}$$

donde  $W$  es el peso de una partícula a la distancia  $x$  del origen;  $W_0$  el peso de la partícula al mismo punto de referencia  $x_0$  y  $a$  una constante para cada río. Finalmente quedaría como:

$$D = D_0 e^{-\varphi x}$$

(23)

en donde  $\varphi = f_1 f_2 / 3$ . Dado que  $f_1 f_2$  están relacionados con la dureza y la densidad de los fragmentos, el grado de desgaste de las partículas resulta ser directamente proporcional al cubo del diámetro de las partículas, al cuadrado de la velocidad de su desplazamiento, a la densidad y la longitud del recorrido e inversamente proporcional a la dureza (resistencia a la abrasión).

La distancia calculada en base a la fórmula de Sternberg sería: para que el volumen de unos cantos se reduzca a la mitad, una marga deberá recorrer unos 30 km; una caliza unos 50; una dolomía unos 60; un granito entre 100-150 km y un cuarzo unos 150 km.

### Pérdidas por abrasión de diferentes materiales con diferentes formas,

Tipo de Material	Pérdida%/ Km sobre 70 Km	Tipo de Material	Pérdidas %/Km entre (33-74 Km)	Pérdidas %/ Km entre (104-112 Km)
<b>Piso de cemento y arena en suspensión</b>		<b>Piso con cantos y otros sedimentos en suspensión</b>		
Radiolarita	0,007	Pedernal	0,07	0,06
Cuarcita	0,017	Radiolarita	0,07	0,05
Pórfido curacífero	0,021	Cuarcita	0,08	0,06
Cuarzo	0,026	Cuarcita	0,08	0,08
Grauvaca	0,056	Pórfido curacífero	0,14	0,13
Obsidiana	0,081	Cuarzo filoniano	0,15	0,13
Caliza Compacta	0,090	Grauvaca	0,40	0,38
Caliza Compacta	0,120	Dolerita	0,54	0,51
		Caliza sílicea	0,54	0,46
		Gneis	0,57	0,65
		Caliza	0,98	0,95
		Obsidiana	0,98	1,00
		Vidrio	1,10	1,01

Kuenen 1956.

Kuenen 1955, a partir de experimentos de laboratorio, utilizando un tromel, observa que la tasa de abrasión depende del tamaño inicial de la partícula, de su redondez y de su resistencia mecánica así como de la intensidad del proceso, del tamaño de las partículas asociadas y de la naturaleza del lecho por la cual estas partículas son transportadas.

Cuando el piso es de cemento, las cuarcitas, cuarzo y pórfidos cuarcíferos presentan tan solo una pérdida de 1,5% en 70 Km, mientras que las calizas presentan valores de un 8,4%. Cuando el piso se halla compuesto por cantos, las pérdidas son sustancialmente superiores ya que para el ejemplo anterior tenemos que las rocas síliceas presentan una pérdida de un 8,4%, mientras que la caliza es de un 68,6%, valores similares a los indicados por Smirnov.

**VER ANEXO I y EJEMPLOS.**

# ESTUDIO GENERAL DE LOS ALUVIONES



Los parámetros mas usados para definir la morfología de los granos aplicado a partículas y cantos son la forma, redondez, textura superficial y pivotabilidad (Corrales et al, 1977). La forma de los cantos y partículas groseras puede expresarse no tan solo como una tendencia a las cuatro formas fundamentales: discoidal, esférica, elipsoidal o planar y cilíndrica a alargada (ver figura), en base a los tres ejes ( A, B y C), definidos en los diagramas de Zingg, (1935), sino también como una relación particular hacia la forma esférica o planar. (Ricci Lucchi,1973).

Para partículas minerales, además de las tendencias geométricas, podemos referirnos para las que mantienen en parte sus constantes cristalográficas, a estas ( piritas: cubos), así como podemos definir formas morfológicas libres, muy características para minerales maleables como el oro, en arriñonadas, barriletes, esponjosas, etc., que mostraremos en la descripción del Río Segre.

Los parámetros mas usados para definir la morfología de los granos aplicado a partículas y cantos son la forma, redondez, textura superficial y pivotabilidad. Como conceptos de forma uno de los mas utilizados son los denominados de aplanamiento, siendo el mas utilizado el denominado Índice de Aplanamiento de Cailleux (1952).

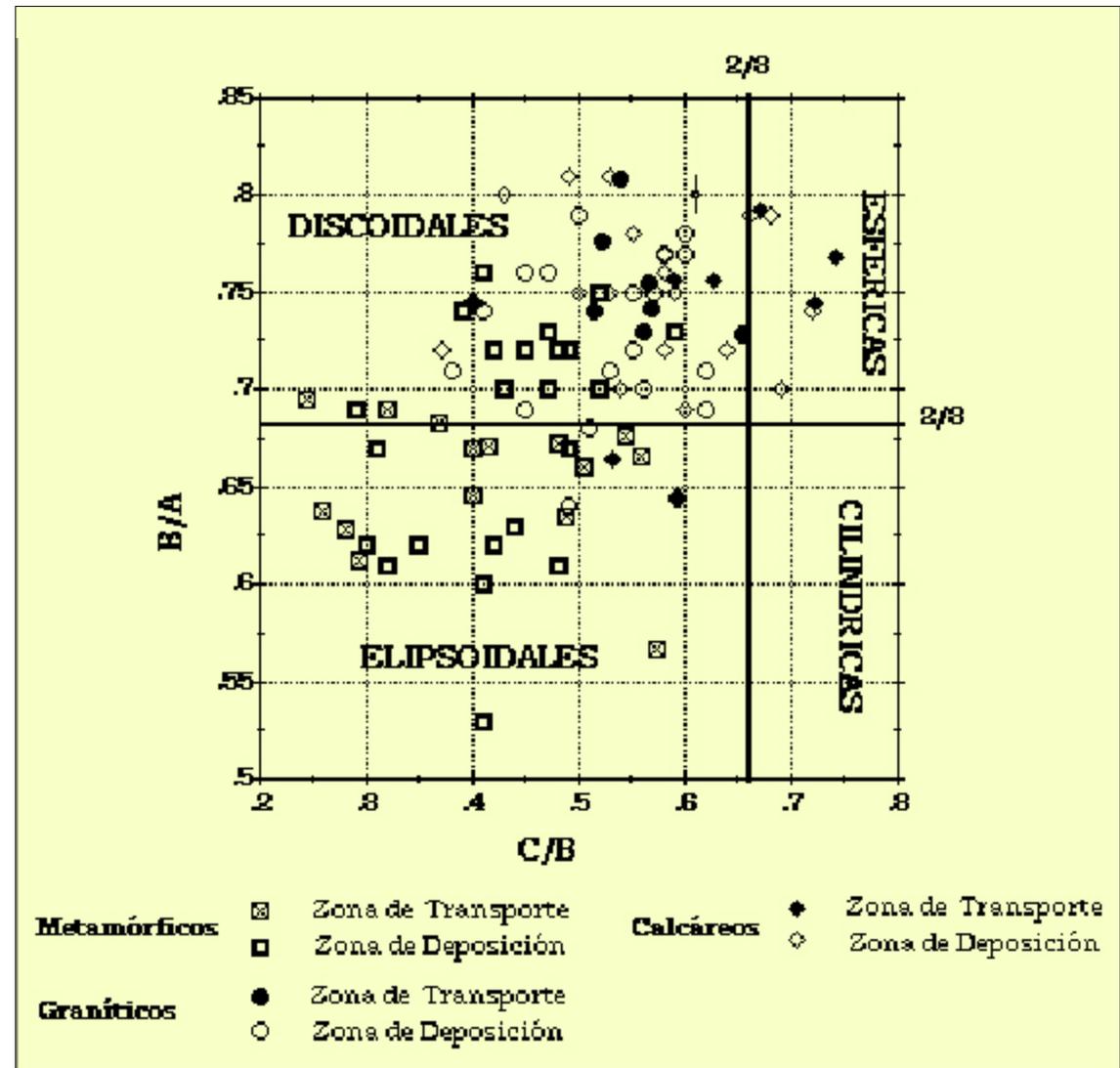
$$IA = (A+B)/2C \quad (24)$$

Este índice al igual que los otros factores de forma se usan comúnmente relacionándolos con el diámetro equivalente ED.

El diámetro equivalente es un término utilizado por Giusti 1986 para poder definir rápidamente el tamaño , el volumen y el peso de una partícula.

$$ED = ((6 \pi) A*B*C)^{1/3}.$$

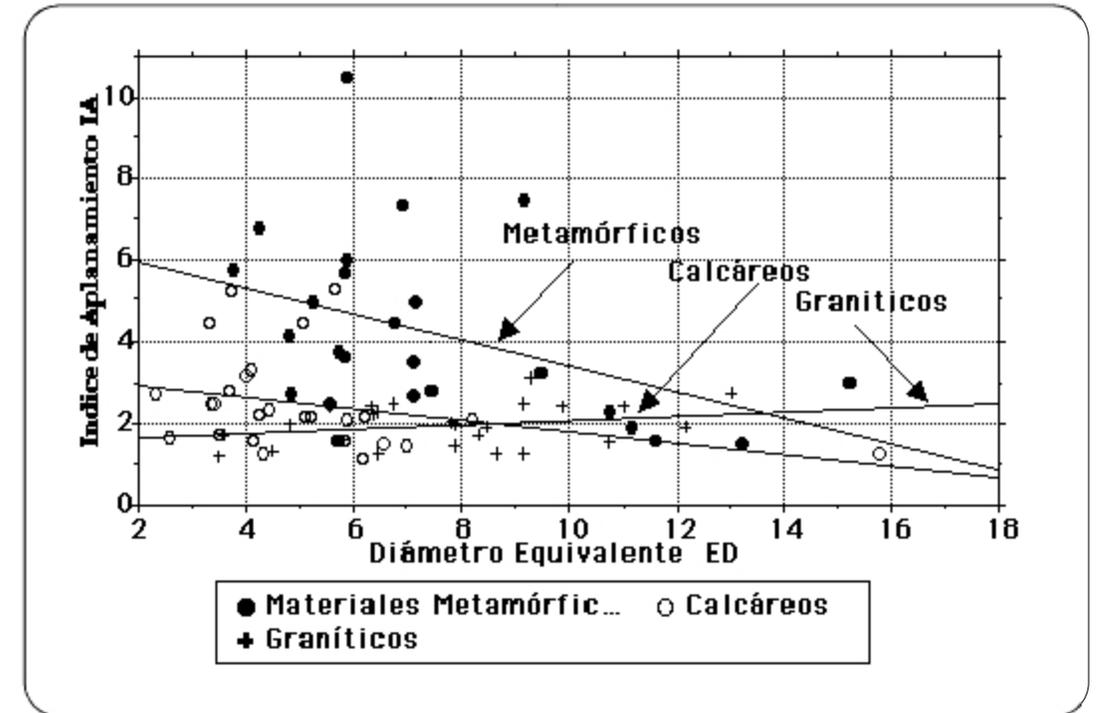
Este término, que utilizaremos asiduamente para la determinación del tamaño de las partículas de oro puede asimilarse al diámetro equivalente para distintas partículas de Tourtelot (1968).



*Clasificación de formas de los cantos según Zingg (1935). Ejemplo del Río Segre (NW de la Península Ibérica) en la que los materiales denominados metamórficos (pizarras, esquistos, etc.), presentan formas mucho mas planares y elipsoidales que los materiales calcáreos y graníticos. Estos últimos presentan formas de tendencia esférica.*

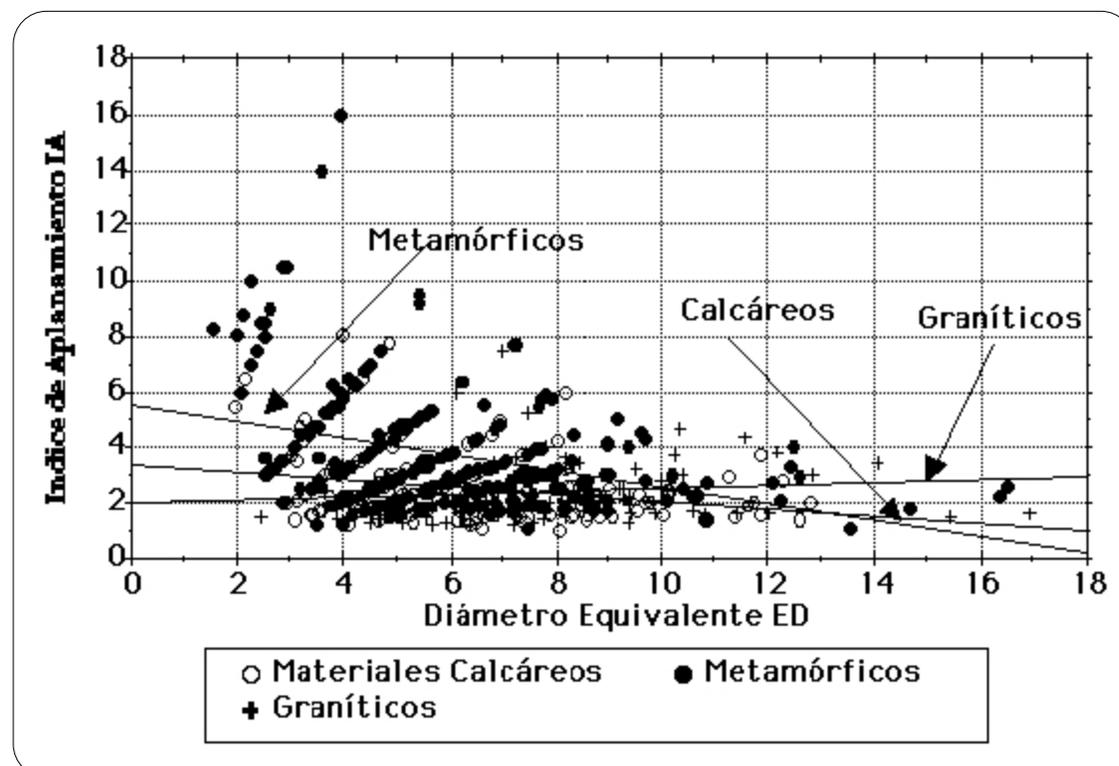
Este índice de aplanamiento, utilizado por numerosos autores entre ellos Harail (1976), determina las características morfológicas de los cantos (principalmente los pizarrosos), y de las partículas planares como las de oro.

Principalmente, se halla en función más de las propiedades mecánicas del material, tal como por ejemplo, hemos observado en los Pirineos, dónde las pizarras y esquistos cuanto más penetrativa es su esquistosidad, mayor índice de aplanamiento presentan como efecto de su transporte, con respecto a los mismos materiales cornificados o a los materiales ígneos o sedimentarios (calizas). Un caso parecido sería el del oro pero no debido a su esquistosidad, sino a su maleabilidad adquirida por los impactos, como si de un técnica de martilleado en frío sobre superficies duras o sobre arena, se tratase (López Navarro, 1984).



Relación entre el Diámetro Equivalente ED y el índice de Aplanamiento IA de Cailleux en el curso medio ( zona de transporte) del Rio Segre. Obsérvese la tendencia más acusada de aplanamiento por parte de los materiales metamórficos (filitas, pizarras, esquistos y corneanas moteadas del Paleozoico) con respecto a las calizas del Secundario y Terciario y los Granitoides Hercínicos.

Relación entre el Diámetro Equivalente ED y el índice de Aplanamiento IA de Cailleux en el curso bajo ( llanura aluvial) del Rio Segre. Obsérvese la tendencia aún más acusada de aplanamiento que en la figura anterior, por parte de los materiales metamórficos con respecto a las calizas y los granitoides.



En las figuras anteriores, los mayores índices de aplanamiento para los materiales metamórficos corresponden a filitas y pizarras mientras que para los materiales calcáreos, normalmente corresponden a calizas paleozoicas con un clivaje bien desarrollado.

La morfología de aplanamiento puede plantearse como constante de forma K desarrollada por Heywood (1933) in Tourtelot (1968)

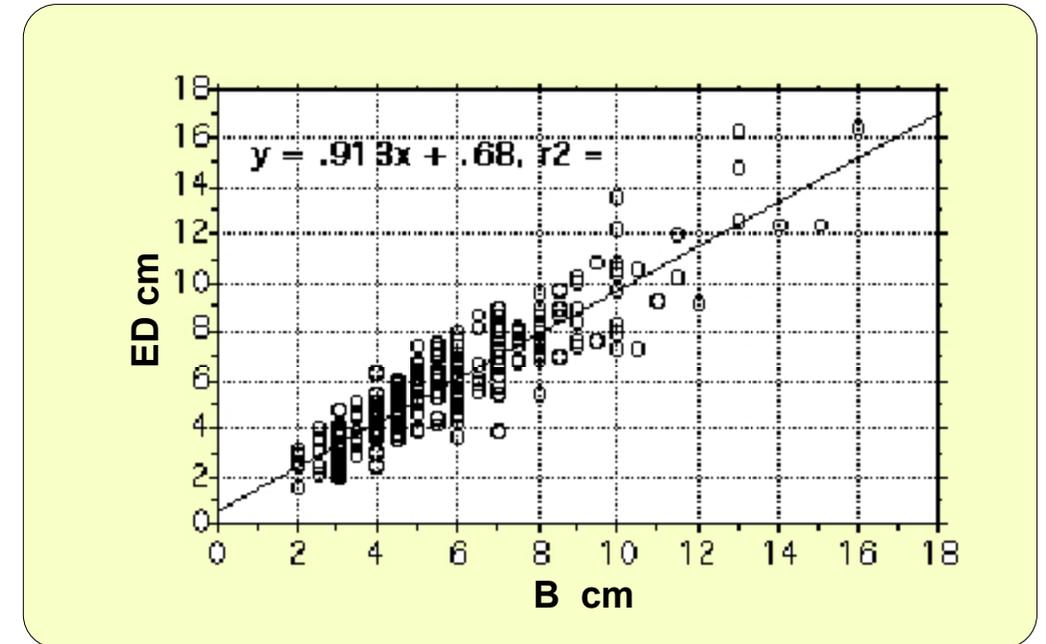
$$K = Vol / D^3 \quad (25)$$

en la que Vol, es el volumen de la partícula y D, su diámetro proyectado.

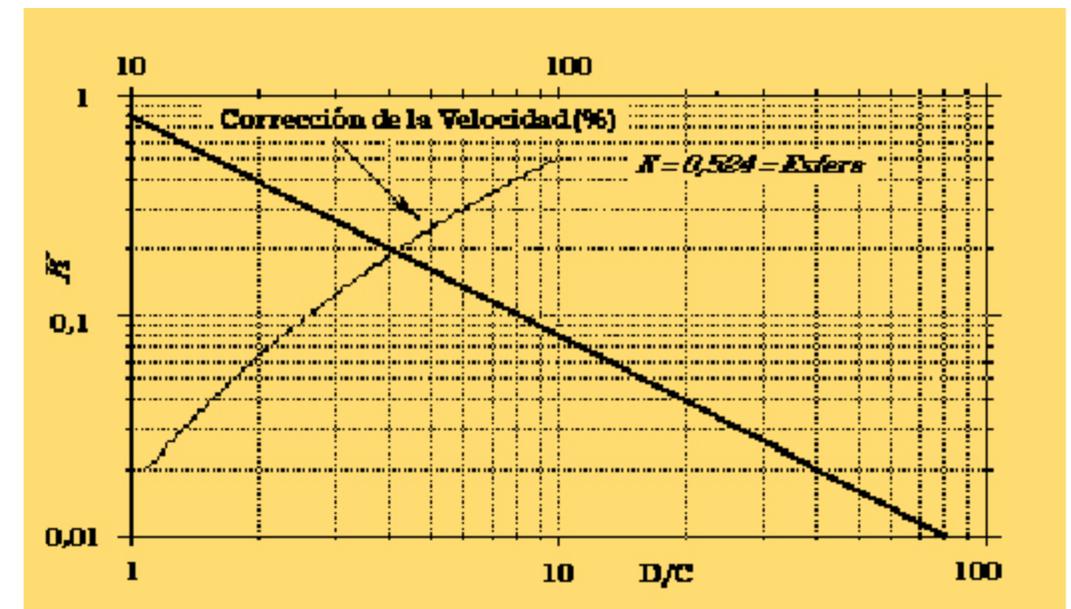
El diámetro proyectado es el diámetro de un círculo de área igual al proyectado por la partícula en su posición estable. Así tenemos que una partícula de oro circular (discoidal), puede asimilarse a un cilindro con un radio entre su diámetro y su espesor. Esta constante puede dibujarse también como la relación entre el diámetro y el espesor de la partícula plana. Ambas, la constante k y la relación indicada, son utilizadas por Tourtelot 1968 op. citada, para determinar la corrección de la velocidad de caída entre una partícula plana de oro, con respecto a una esférica (ecuación 6). Ver figuras sobre la velocidad de caída.

## ESFERICIDAD

La esfera, tal como hemos visto en capítulos anteriores es el máximo exponente del comportamiento hidráulico ya que es el sólido con menor superficie específica y por lo tanto el que mayor velocidad de caída presenta y la que menor velocidad crítica de arrastre presenta, ver ecuaciones 6, 7, 9, 12, 13 bis y 14.



Relación entre ED y el eje intermedio B ( el mas representativo a una malla de tamiz). Obsérvese la elevada correlación en los materiales metamórficos de la llanura aluvial del Río Segre.



Relación de la constante de forma K, con el D (diámetro) / C (espesor) de una partícula plana y la corrección aplicada a la velocidad de caída de las esferas para determinar la velocidad de caída de las partículas planas. Tourtelot (1968).

La esfericidad de una partícula, concepto desarrollado por Wadell (1932), op. citada, es el grado en el que una partícula se aproxima a una esfera, definiéndola dicho autor como  $d/D$ , en la que  $d$  = diámetro de una esfera con el mismo volumen de una partícula o área de la superficie de la esfera de igual volumen y  $D$  = diámetro de la esfera circunscrita o área de la superficie de la partícula. Cuando la relación es igual a 1, la partícula es una esfera.

Para partículas grandes el volumen es relativamente fácil de determinar por el desplazamiento del agua, si bien normalmente la esfericidad se determina a partir de los tres ejes de la partícula A, B y C.

La geometría de una esfera viene descrita por su diámetro verdadero  $D$  y matemáticamente por el área proyectada =  $\pi D^2/4$ ; el volumen =  $\pi D^3/6$ ; la superficie =  $\pi D^2$  y por su superficie específica =  $C/D$ . Si asumimos que la forma regular es un elipsoide, el volumen de la partícula será  $(\pi/6) A*B*C$ . con lo que el volumen de la esfera circunscrita deberá ser  $(\pi/6).A^3$  y la esfericidad:

$$Y_{KR} = ((\pi/6) A*B*C/(\pi/6) A^3)^{1/3} = (B*C/A^2)^{1/3} \quad (26)$$

que se denomina índice de esfericidad operativa de Kumbein (1941).

Sneed and Folk (1958), indican que la esfericidad de Wadell no es correcta en términos dinámicos, tanto para determinar la caída de partículas como para determinar las velocidades de arrastre, ya que las partículas tienden a orientarse a partir de su área de máxima proyección en dirección normal al flujo (ecuaciones 9, 14, 16 y 16 bis). En ningún caso las fuerzas de resistencia del fluido es la misma que las producidas por una esfera con la misma superficie proyectada de una partícula, en cambio si lo son las fuerzas de gravedad para ambas: la de la partícula y la de una esfera proyectada de igual volumen. Por ello éstos definen la proyección máxima de esfericidad como la relación del diámetro de estas dos esferas a partir de:

$$Y_{SF} = (C^2/A.B)^{1/3} \quad (27)$$

Estos aspectos son muy similares a los definidos por Corey (1949). Este autor define un factor de forma (SF) que lo denominamos SFC:

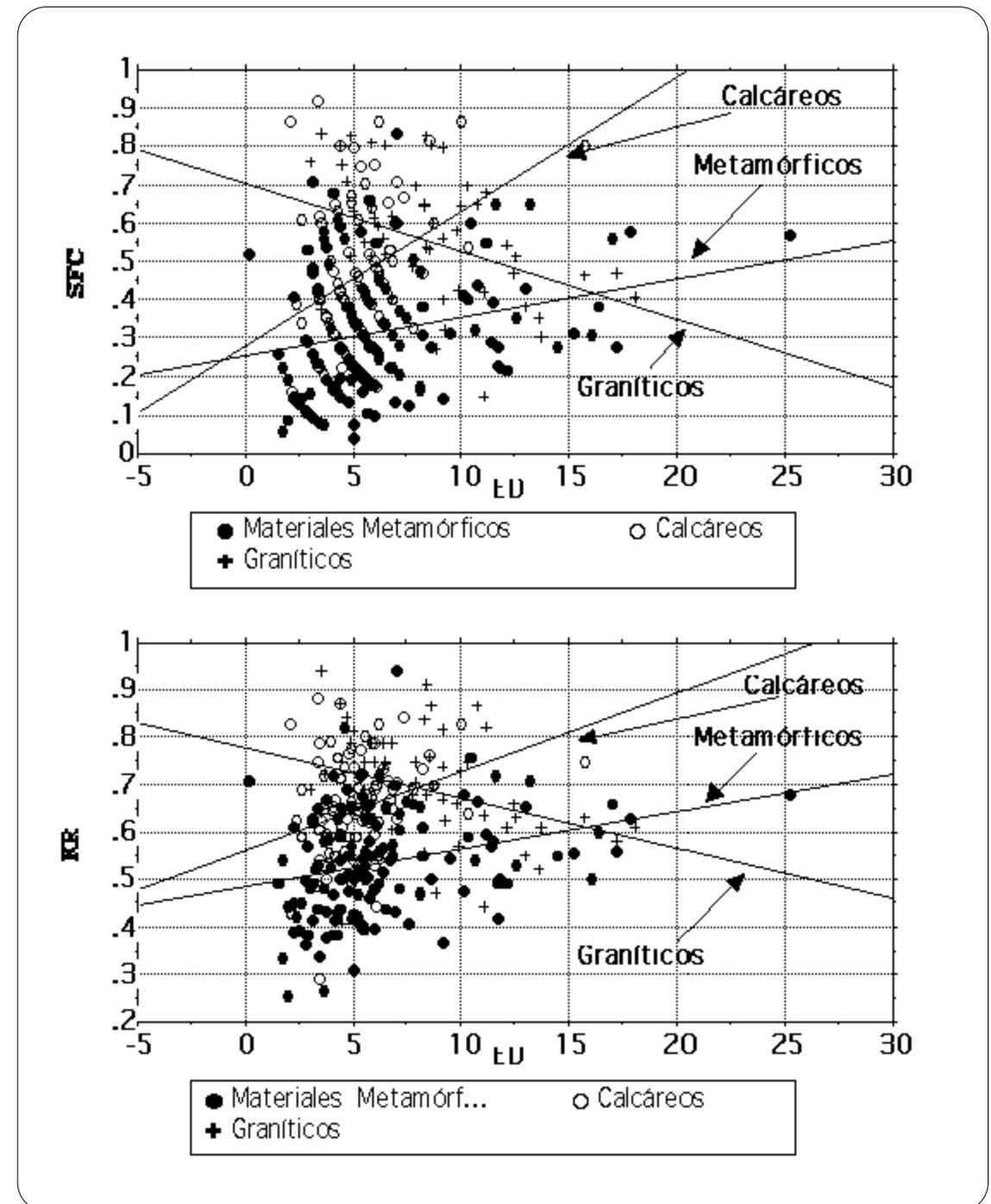
$$Y_{SFC} = (C / (AB))^{1/2} \quad (28)$$

Este factor, por lo anteriormente indicado, es utilizado por numeroso autores para definir las equivalencias hidráulicas (Tourtelot 1968; Tourtelot and Riley, 1973; Giusti, 1986).

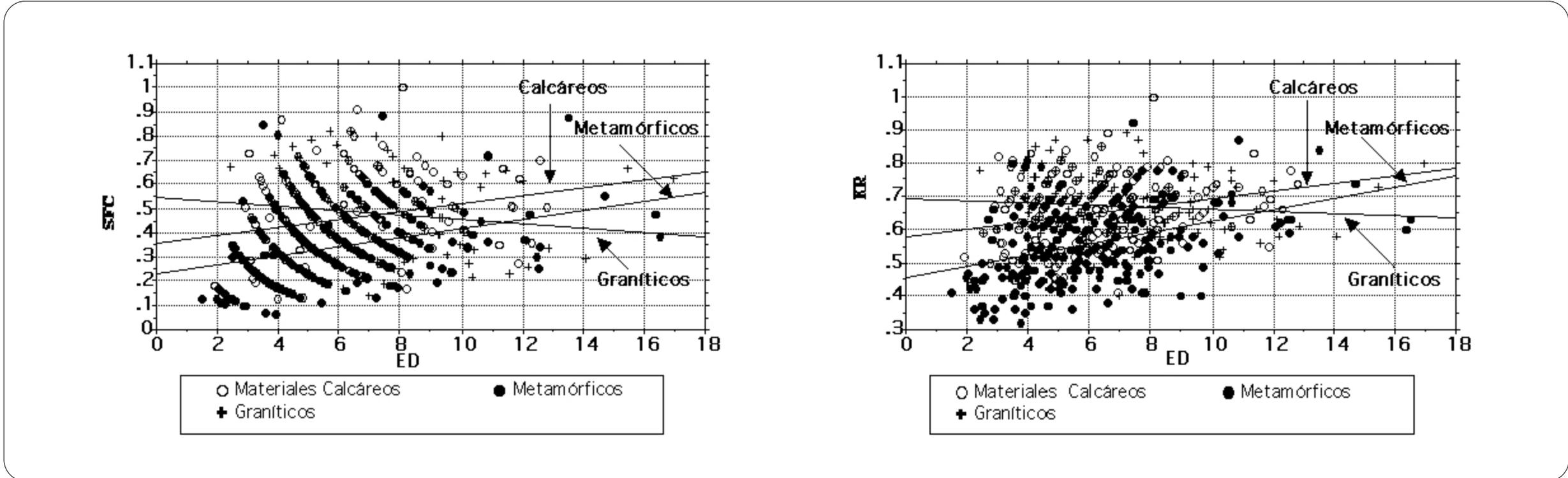
En las figuras, se observa una tendencia en ambas zonas, de disminución de la esfericidad con respecto a la disminución del tamaño de las partículas, así mismo una disminución generalizada, debido al transporte entre la zona del mismo nombre y la zona de deposición (llanura aluvial), este fenómeno también se observa para el oro.

Los materiales graníticos presentan una tendencia inversa ya que en la zona de transporte las partículas más esféricas (SFC=0,85) son las de menor diámetro equivalente (ED) y las más menos esféricas (SFC= 0,55) las de mayor ED. Esta tendencia se atenúa en la llanura aluvial con SFC= 0,55 y 0,39 respectivamente.

La distancia entre los dos tipos de muestras ( terrazas de la zona de transporte y terrazas de la llanura aluvial), es de una media de 38 Km.



Comparación entre los índices KR y SFC en función de ED, de los materiales metamórficos, calcáreos y graníticos de las terrazas de la zona de transporte en el Río Segre.



Comparación entre los índices SFC y KR en función de ED, de los materiales metamórficos, calizos y graníticos de las terrazas de la zona aluvial del Río Segre.

## REDONDEZ.

La redondez (“roundness”), es una medida que expresa la suavidad de los cantos y describe su grado de curvatura. Es muy importante, no tan solo para el lecho (no confundir con rugosidad, si bien en esta hay una parte importante de redondez), sino para las partículas en el momento de desprenderse del lecho del río. Ecuaciones (12),(13),(13 bis), (14) y (15) .

Esta, se incrementa primero muy rápidamente con la distancia para disminuir posteriormente hasta alcanzar su redondez perfecta, al inverso de la esfericidad que inicialmente ya es muy lenta (Kuenen 1956, y Humbert 1968).

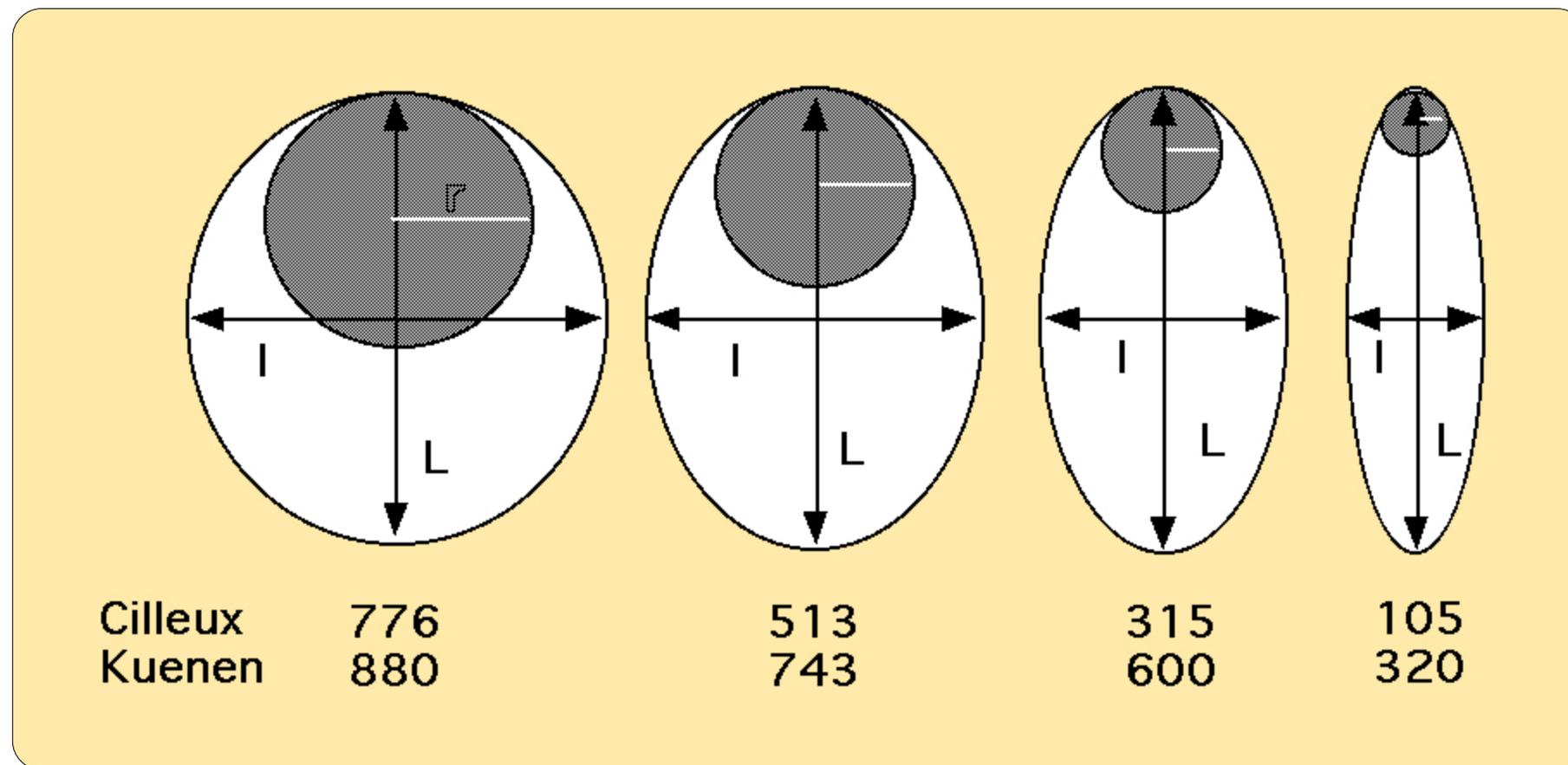
Las medidas cuantitativas mas usadas, son las de Cailleux (1947):

$$R = 2r/L$$

(29)

en la que  $r$  es el radio del círculo inscrito mas pequeño y  $L$  el diámetro mayor equivalente a  $A$ . Kuenen, 1956 op. citada, sugiere un nuevo índice con  $2r/l$ , en la que  $l$  (equivalente a  $B$ ), sería el diámetro mayor perpendicular a  $L$ .

Este nuevo índice concuerda mejor con el índice de aplanamiento.



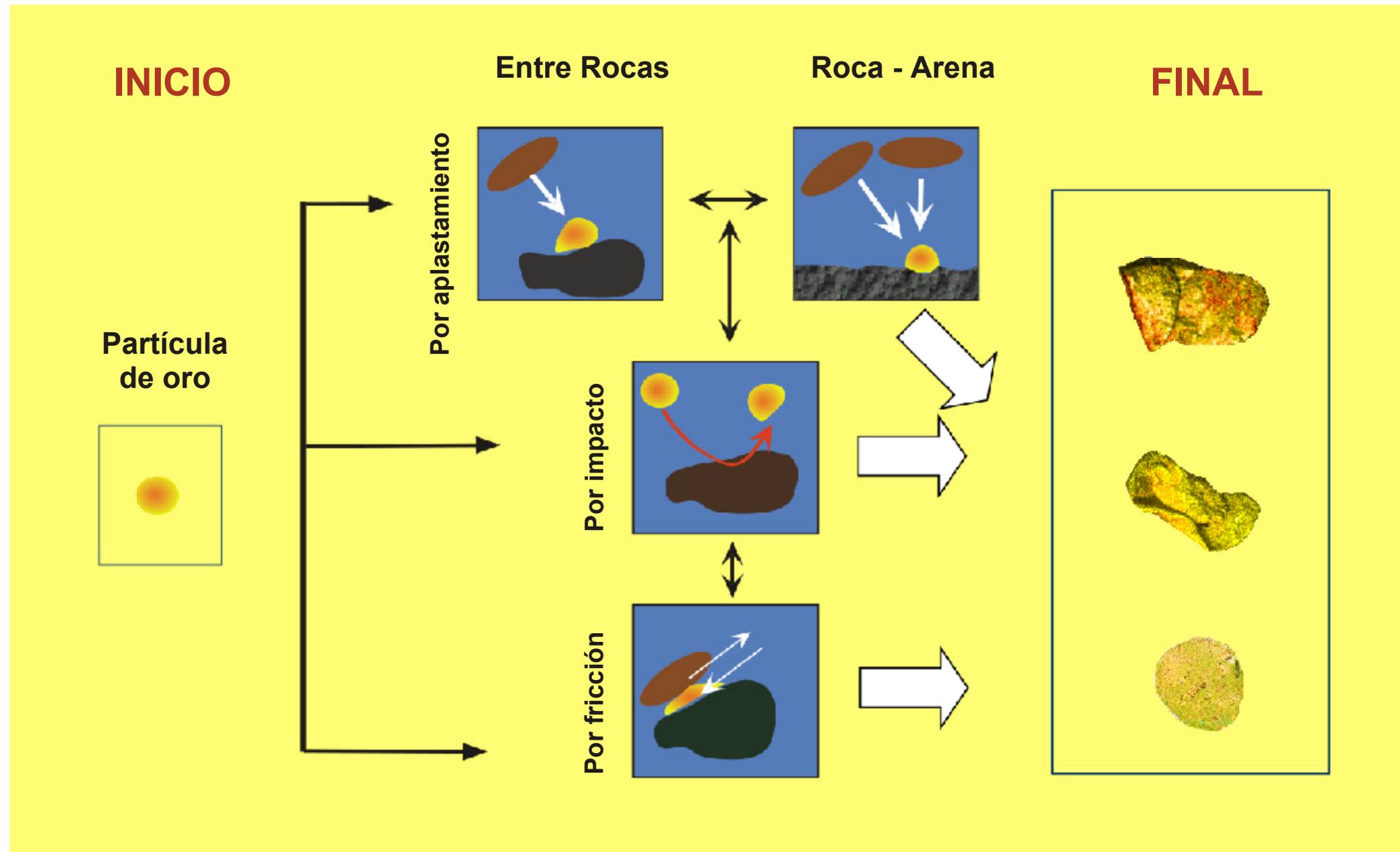
Kuenen 1956. Diversos valores de redondez utilizando la fórmula de Cailleux y de Kuenen. Obsérvese una variación más atenuada en el de Kuenen para el mismo eje  $L$ .

## MORFOLOGIA Y TAMAÑO DEL ORO EN FUNCION DE LA FUENTE

	TIPO DE ORO	MORFOLOGIA	TAMAÑO $\mu\text{m}$	OBSERVACIONES
<b>A</b>	Hipogénico (primario)	Xenomorfo angular, equielongados y segregaciones laminares. Cristales hipidiomórficos con facetas brillantes e intercrecimientos dendríticos.	0,1 - 200	Raramente basto
	Supergénico (zonas de oxidación)	Esponjoso, terroso con superficies rugosas. Excrecencias y proyecciones de formas irregulares; cristales octahédricos y sus intercrecimientos	0,1 - 1.000 > 2.000 y mas	Pequeños granos dispersos o aglomerados
<b>B</b>	Origen hipogénico	Escamas, gotas, hilos laminares, ocasionalmente cristalitas con superficies brillantes a lijadas. Imprentas o cristales de minerales hipogénico.	250 - 1.000 dominante.	Pequeños granos dispersos o aglomerados.
	Supergénico (zona de oxidación)	Láminas pequeñas con estructuras relictas ;esponjosas o terrosas . Son muy raras las formas cristalinas.	200 - 5.000 dominante. 2.000 - 3.000 ocasionalmente. Son raras las pepitas	Se observan superficies rugosas con hendiduras lijadas y brillo desigual.
<b>C</b>	Supergénico (hidrogénico)	Dendritas, corales, agregados e intercrecimientos de granos como gotas. Estas últimas presentan brillo desigual y superficies ásperas.		Precipitación de finos a partir del anterior.

## Como una partícula adquiere su morfología:

- por aplastamiento
- por impacto
- por fricción



# Las pajuelas y pepitas de oro.

El término **pepita**, procede al igual que el de placer de un vocablo castellano que significa semilla o hueso de un fruto y que era extensamente utilizado por los colonizadores de las américas.

Se trata en definitiva de partículas de oro de diversa morfología, normalmente plana, mezcladas con otros materiales como minerales densos, arenas y gravas dentro de los aluviones. El término esta claramente asociado no tan sólo a la morfología de las partículas de oro si no también al color de la semilla ya que después de la observación de numerosas morfologías de partículas de oro, la semilla mas parecida sería la del melón y la de la calabaza. Este término, universalmente aceptado ha sido adaptado también al francés pépite (pépin). E n inglés a las partículas de oro que se hallan bien en los aluviones o en la roca madre se les denomina "**nugget**" ( término dialectal sin un claro significado).

<i>Español</i>	<i>Inglés</i>	<i>peso (mg)</i>	<i>diámetro (mm)</i>
<i>polvo de oro</i>	<i>flour gold</i>	<i>&lt; 1</i>	<i>&lt; 0,3 mm</i>
<i>chispas</i>		<i>&lt; 10</i>	<i>0,5 - 1,0 mm</i>
<i>oro grosero</i>	<i>flakes</i>	<i>10 - 50</i>	<i>1,0 - 2,0 mm</i>
<i>oro pepítico</i>		<i>50 - 200</i>	<i>2,0 - 3,0 mm</i>
<i>pepitas</i>	<i>nugget</i>	<i>&gt; 200 mg</i>	<i>&gt; 3 mm</i>

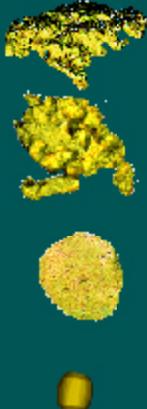
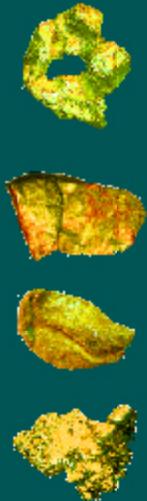
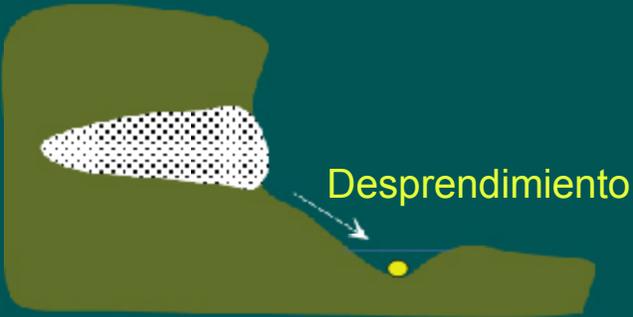
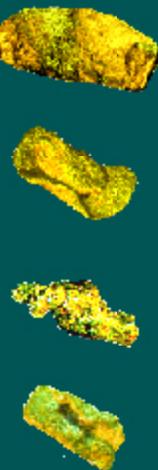
A pesar de todo, el término de "pepita" tan conocido, solo se le puede dar, por convenio, a partículas de oro o platinoides de dimensiones y peso dados. En concreto una partícula de oro o platino inferior a 0,5 mm (500 µ) con un diámetro medio de unos 0,3 mm, se conoce como **polvo de oro**; las partículas situadas entre los 0,3 mm y 1 mm y un peso inferior a los 10 mg se las conoce como **chispas**; las situadas entre 1 y 2 mm y un peso de entre 10 y 50 mn, es conocido como **oro grosero**; a las partículas entre los 2 mm y 3 mm y un peso superior a 50 mg se las conoce como **oro pepítico** y como pepitas verdadera, las superiores a los 200 mg y 3 mm.

A la palabra "pepita" tal como dice mi colega y amigo Philippe Gentilhome (BRGM 1987), puede dársele otra definición: una pepita es el descubrimiento que da lugar, casi de forma instantánea, a una fiebre del oro.

# LAS PEPITAS

DESCUBRIMIENTO	Peso (Kg)	Siglo
<b>Rusia (Urales)</b>		
LaBolchoï tréougolnik o gran triángulo	36,0	XIX
Las dos Pepitas conocidas como Tielguinsky	40,0	XIX
La: Zaïtchi ouchi (orejas de conejo)	3,5	XIX
<b>America</b>		
Carson Hill (California) EUA	40,4	XIX
Fricot Nugget (California) EUA	6,3	1865
Reid (Carolina del Norte) EUA	7,0	XIX
Montana EUA	1,3	XIX
Arizona EUA	1,5	XIX
Morro da babilonia (Sierra pelada) Brasil	35,0	1982
Morro da babilonia (Sierra pelada) Brasil	17,0	XX
Morro da babilonia (Sierra pelada) Brasil	6,0	XX
<b>Australia</b>		
Bathurat ( New South Wales)	46,0	1851
Blanche Barkly (Victoria)	54,5	1857
Desiré (Victoria)	68,1	XIX
Donolly (Victoria)	65,0	1869
Welcome Stranger (Victoria)	78,4	1869
<b>Beyers i Holterman ( New South Wales) 1, 42 m</b>	<b>235,0</b>	<b>1872</b>
Lady Don al distrito minero de Ballart (Victoria)	18,9	XIX
Viscount Canterbury (Rheola)	36,6	XIX
Viscountess Canterbury (Rheola)	28,3	XIX
Precious (Rheola)	52,6	XIX
Molvague	95,0	XIX
Kalgoorilie con un valor de 400.000 U\$	13,3	1980
<b>Africa</b>		
Peacok (Sud Àfrica)	¿	1885
Pilgrim's Rest Creek (Transvaal)	10,5	XIX



AREA FUENTE	FORMAS MORFOLÓGICAS		Ley en Plata
<b>A. Depósito Primario</b> 		Espumosas Arriñonadas Planas Esféricas	<b>5 -12%</b>
<b>B. Bloques y gravas que se descomponen durante su transporte</b> 		Arriñonadas Planas Esféricas Espumosas	<b>5 -12%</b>
<b>C. Terrazas</b> 		Planas Plegadas Barrilete Arriñonadas	<b>inferior al 3%</b>

## DISTRIBUCIÓN DE LOS MINERALES EN LOS CURSOS DE AGUA.

La sensibilidad del método depende: de la naturaleza de los minerales y de su distribución a lo largo de una pendiente, río, o torrente, etc.,

### a) MINERALES MALEABLES E INALTERABLES:

Oro y el platino por su inalterabilidad y maleabilidad son laminados por el impacto entre guijarros y son subdivididos, en forma de pequeñas pajuelas o láminas que pueden recorrer grandes distancias.

### b) MINERALES DE ELEVADO CLIVAJE:

La baritina, volframita, fluorina, scheelita, casiterita, etc., se disgregan más o menos rápidamente por efecto del choque y se transforman en un polvo impalpable que puede ser a la vez transportada a grandes distancias, pero de difícil detección.

### c) MINERALES ALTERABLES:

La oxidación altera profundamente a ciertos tipos de minerales como carbonatos, sulfuros, arseniuros, sulfo-arseniuros y antimoniuros. La siderita por ejemplo se disuelve en parte y se transforma en hematites mientras que la calcopirita da lugar a una mezcla de hematites y malaquita que al ser poco resistentes desaparecen rápidamente.

No obstante la acción química difícilmente puede actuar sobre las partículas incluidas en una ganga inatacable e insoluble tal como el cuarzo, cuarcitas, corneanas, rocas plutónicas, etc., para lo cual, deberá observarse detenidamente a estos materiales, en sus zonas de acumulación, para detectar la presencia de tonalidades vivas, de colores diversos tales como rojizos, amarillentos, ocre, etc. que indican la presencia de óxidos, carbonatos, sulfatos, fosfatos, arseniatos, etc., y por lo tanto la posibilidad de una anomalía aguas arriba.

Los cantos pueden ser transportados a gran distancia, siempre que la pendiente sea suficiente para permitir su transporte. Así como hemos indicado, tenemos que para que el volumen de unos cantos se reduzca a la mitad, una marga deberá recorrer unos 30 km; una caliza unos 50; una dolomía unos 60; un granito entre 100-150 km y un cuarzo unos 150 km.

**FORMA DE CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS PESADOS EN LOS ALUVIONES:** En zonas erosionadas, su localización se realizará en los torrentes y particularmente en las zonas de gravas en las que se concentran los minerales pesados, más que en las zonas de arenas, no obstante su distribución se halla en función de numerosos factores como la densidad del medio, su velocidad, densidad y tamaño de las partículas que se describen en el apartado de hidráulica fluvial.

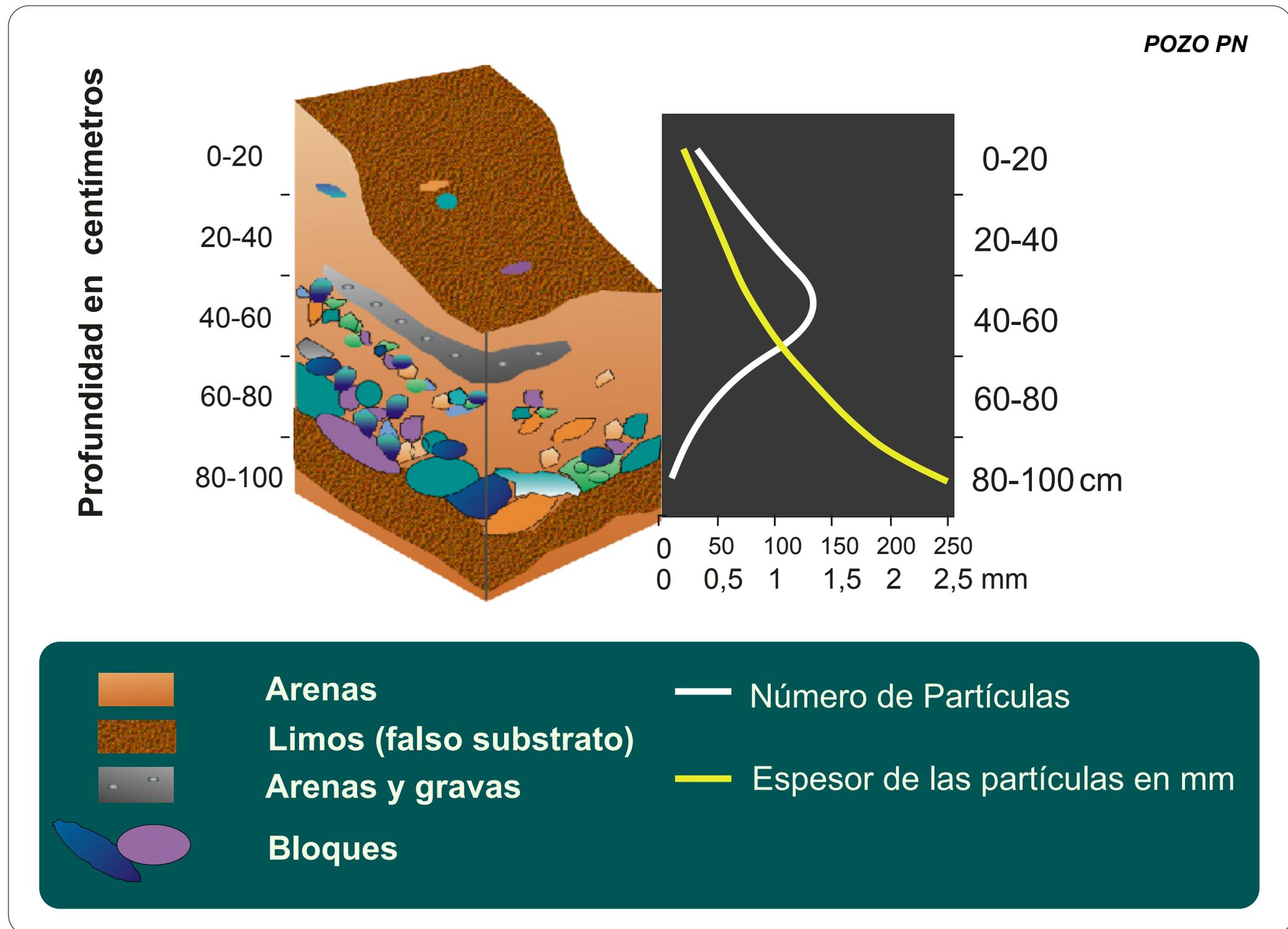
Thiebaut, (1952), nos indica que la razón de distribución y clasificación es simple ya que los minerales al ser más pesados que el cuarzo y los fragmentos líticos constituyentes de los aluviones, se necesita a volumen igual, una corriente de agua de mayor velocidad como la descrita en la tabla para poder arrastrar las partículas más pesadas ya que la ley matemática que regula dicha acción nos muestra que esta se halla en función del volumen de los granos, de su densidad y de su morfología

**VELOCIDAD DE LA CORRIENTE NECESARIA PARA COMENZAR EL MOVIMIENTO DE LOS FRAGMENTOS POR EL FONDO DEL RIO (VELOCIDAD CRITICA DE DESPRENDIMIENTO)**

D	V	D	V	D	V	D	V
0,1	0,27	15,0	1,10	2,50	0,65	100,0	2,00
0,25	0,31	25,0	1,20	5,00	0,85	150,0	2,20
0,50	0,36	50,0	1,50	10,00	1,00	200,0	2,40
1,00	0,45	75,0	1,75				

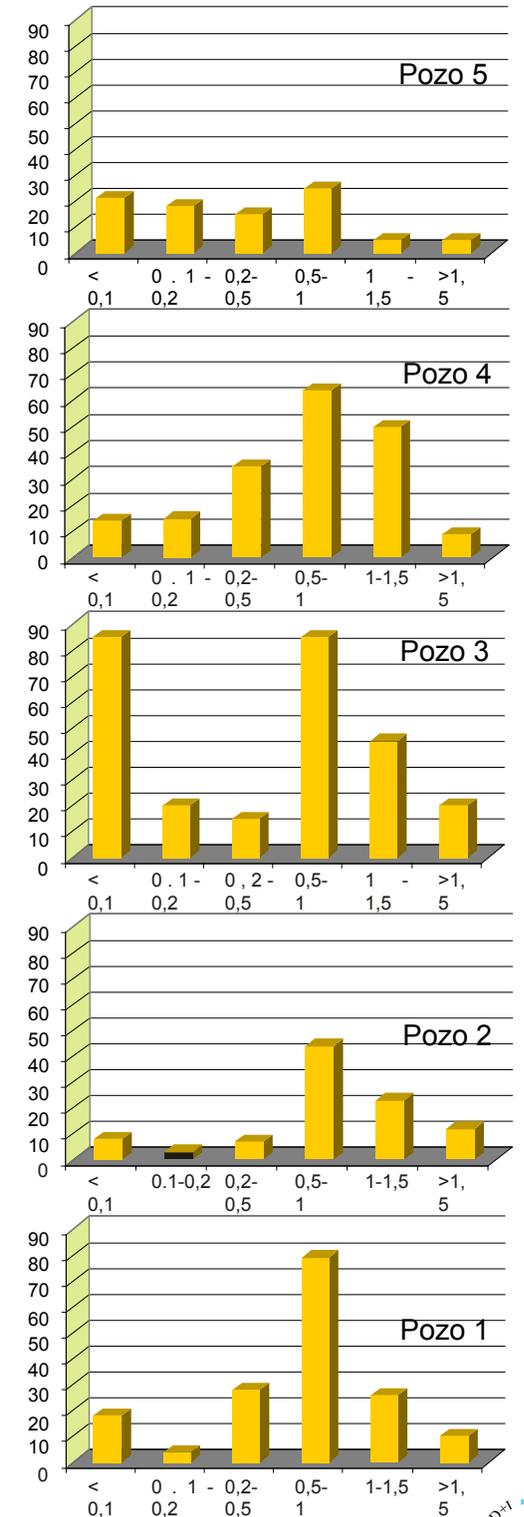
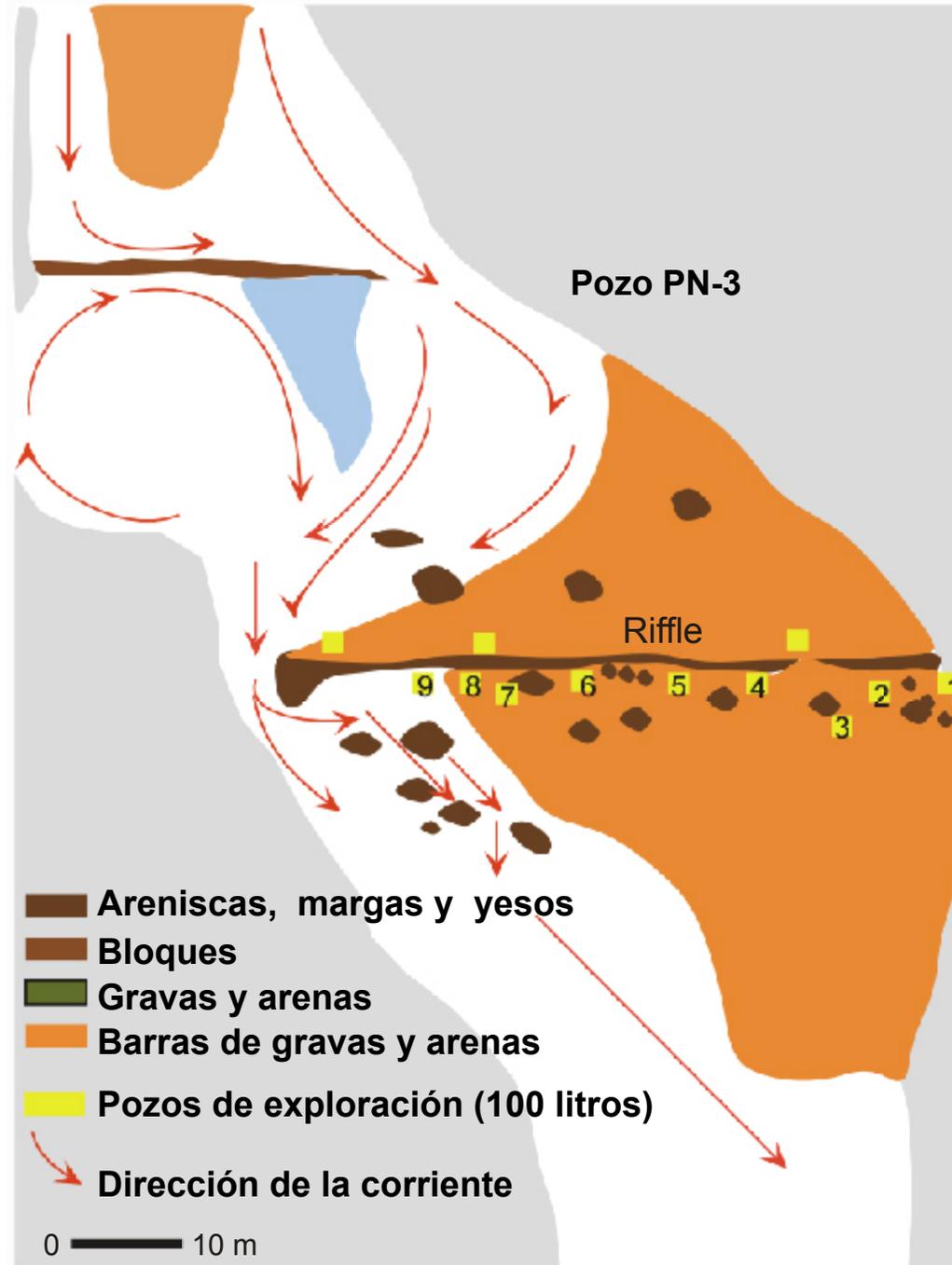
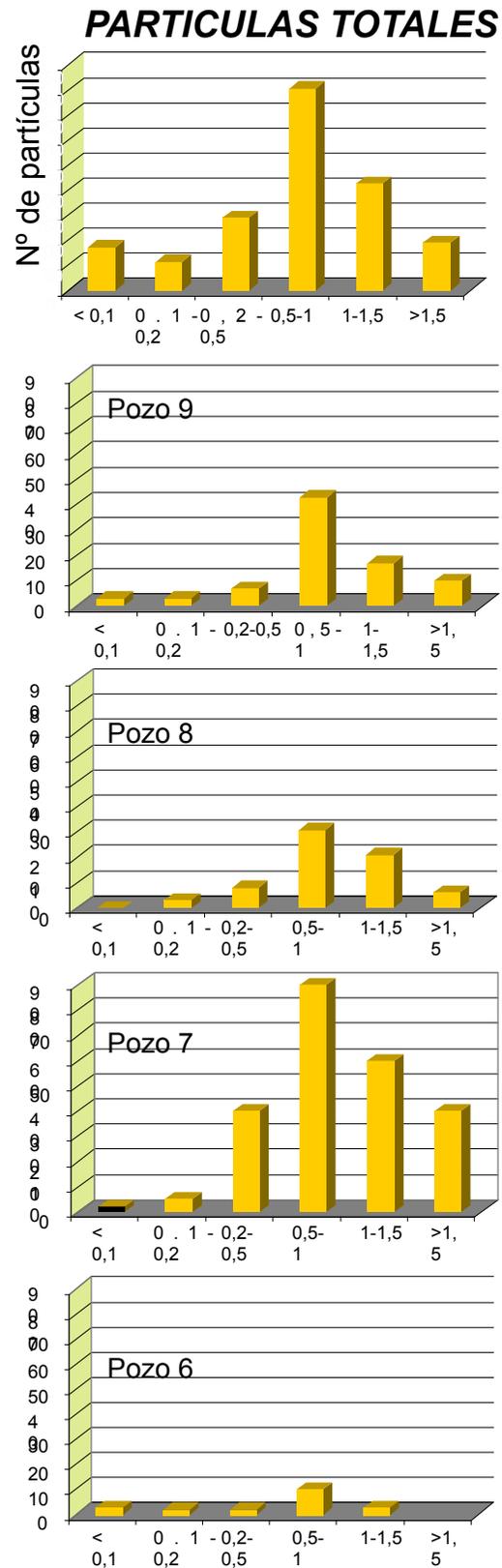
D: Diámetro medio de los fragmentos en mm; V: Velocidad en m/s Smirnov (1982)

En función de la dinámica fluvial, las partículas de minerales densos y ligeros, se distribuirán en base a su equivalencia hidráulica en su tamaño y en su densidad. **Ejemplo de la distribución y grosor de las partículas de oro en un pozo de 500 litros en el aluvial del Río Segre en Balaguer (Lleida)**

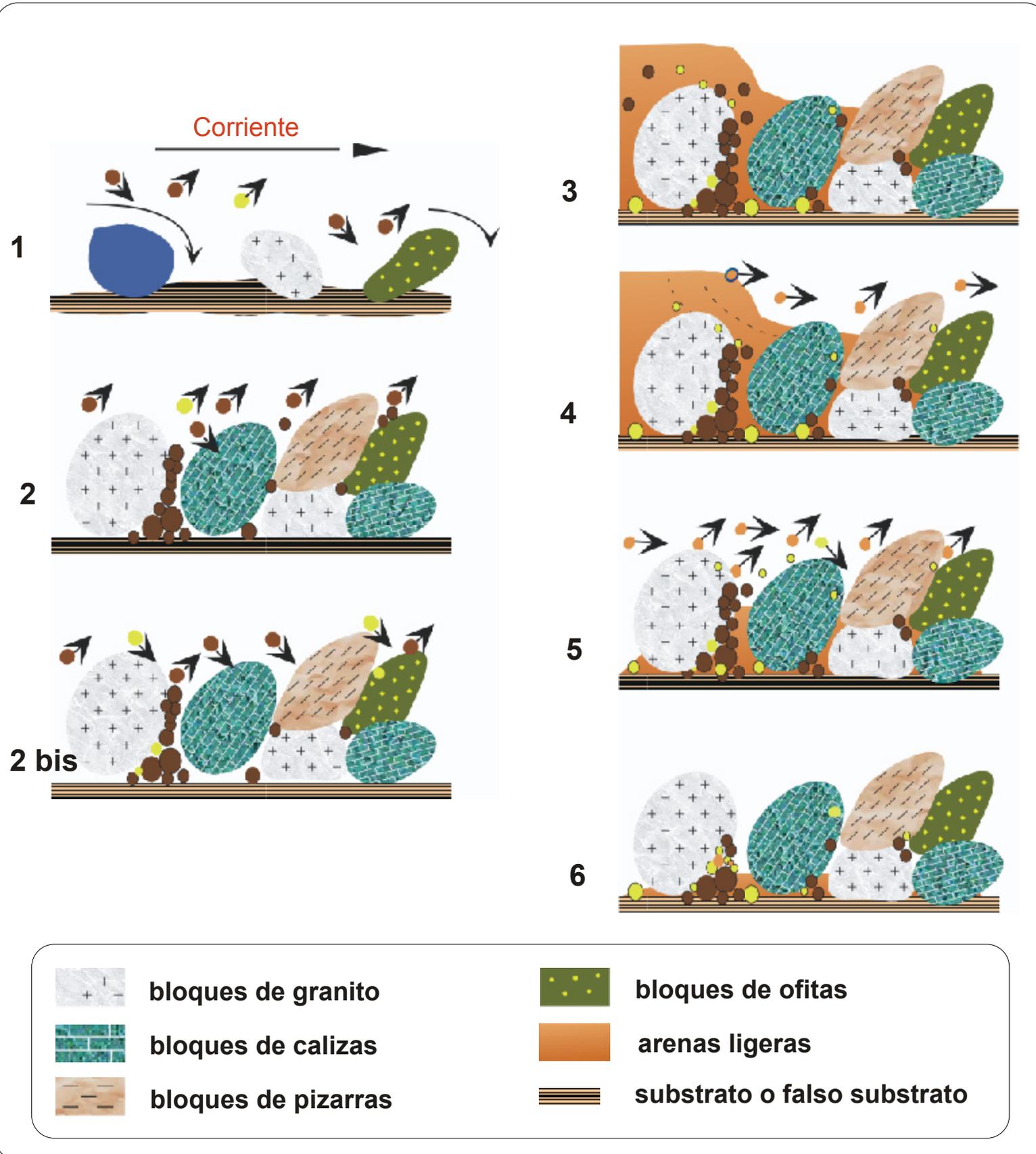


# EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DEL ORO EN UN OBSTÁCULO EN EL RIO SEGRE

Distribución por tamaños de partículas a ambos lados de un obstáculo o riffle



## Rio Segre



Fase 1.- Situación de avenidas máximas y extraordinarias, tan solo se mueven por el lecho del río los bloques y partículas de oro superiores a 3 mm

Fase 2.- Descenso de la velocidad y transporte y sedimentación de gravas y arenas con partículas de oro inferiores a 1mm. Durante esta fase los ligeros y principalmente los minerales pesados pueden sedimentarse en el techo del lecho fluvial.

Fase 2 bis. - Resedimentación, durante la Fase 1 y 2 en el substrato (bed rock) de arenas y minerales pesados (oro), al actuar el lecho a modo de "jig" por la sismicidad inducida originada durante la avenida.

Fase 3. - Con caudales medios a máximos se depositan sobre el placer formado, sedimentos ligeros tales como arenas y limos .

Fase 4. - Fosilización del placer. Después de un estadio de calma, con avenidas medias a mínimas, los propios sedimentos ligeros fosilizarán el placer.

Fase 5.- Nuevas avenidas medias o máximas, aspecto muy usual en el Río Segre, con velocidades de fondo y de transporte suficientes para mover a los minerales ligeros y evacuarlos, no así los minerales pesados (como el oro). A partir de esta fase se obtiene un placer aún más enriquecido que el anterior por la pérdida de los minerales ligeros considerados como estériles.

Fase 6. - Situación actual.

La acumulación de oro en la llanura aluvial es debida a las grandes avenidas extraordinarias (centenarias), susceptibles de entrañar materiales tales como bloques, gravas y arenas de las zonas de drenaje y de transporte hasta la llanura aluvial del río Segre y de ésta, hasta la desembocadura del río Ebro. Los valores medios de los distintos caudales del río Segre se muestran en la tabla y en ellos hay que destacar los valores máximos y los extraordinarios de la avenida en Noviembre de 1982 con caudales superiores a los 1.500 m<sup>3</sup>/s.

Estos caudales, implican velocidades superiores a los 10 m/s, dieron lugar a velocidades de entrañamiento (Vc) y de transporte (Vt) suficientes (0,2 - 4 m/s) para movilizar, transportar y depositar las partículas de oro y otros minerales pesados según el esquema de la figura de la página 71. Durante esta fase los ligeros y principalmente los minerales pesados pueden sedimentarse en el techo del lecho fluvial, y durante la fase (3), redepositarse en el fondo del lecho del río (bed rock) al actuar éste a modo de “jig” (Tuck, 1968 y Gunn 1968) por las vibraciones producidas durante las grandes avenidas.

Si nuevas avenidas de tipo medio o máximas acontecen posteriormente, fenómeno muy usual en el Río Segre tal como se observa en la tabla, con velocidades de entrañamiento Vc suficiente para removilizar a los minerales ligeros pero no a los minerales pesados, los primeros serán evacuados y obtendremos de esta manera un nuevo placer, más enriquecido que el anterior, por la pérdida del excipiente estéril que en este caso serían los minerales ligeros .

**CAUDALES ( m<sup>3</sup>/s) EN EL AFORO n° 96 SITUADO EN BALAGUER (LLEIDA) ENTRE LOS AÑOS 1945-1970**

Q (m <sup>3</sup> /s)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Máximos	413,00	357,66	549,75	266,66
Mínimos	1,60	3,28	2,34	2,64
Medios	38,50	44,73	70,05	32,80
<b>Medias parciales excluyendo la gran avenida de 1982</b>				
1976-77	47,29	50,72	180,82	32,44
1977-78	31,00	45,48	56,08	22,44
1982-83	97,45	31,96	5,34	4,82

Datos extraídos de la Comisaría de Aguas del Ebro (MOPU).

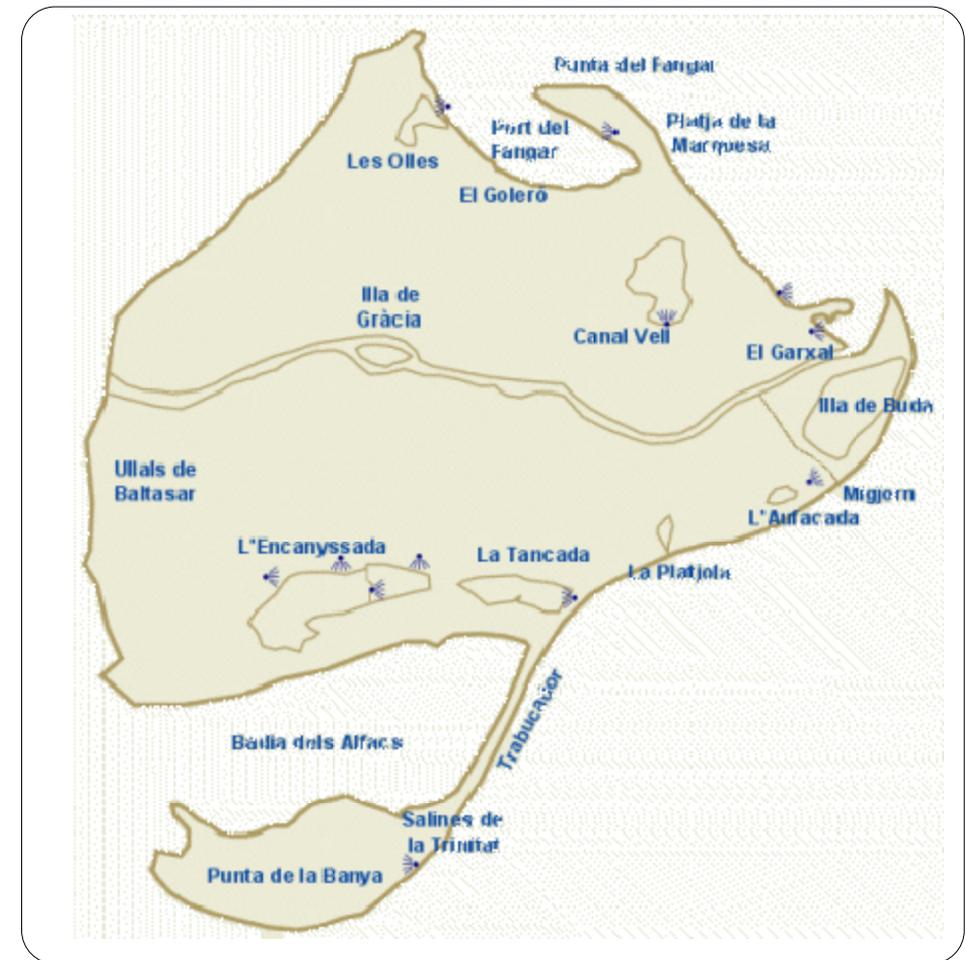
## ***EL DELTA DEL RIO EBRO.***

El delta del Ebro con una extensión de 320 km<sup>2</sup> y una penetración de unos 25 km en el Mediterráneo, es el tercer delta de este mar después del Nilo y Ródano. Se trataría de un delta lobulado muy moderno puesto que durante la época romana aún se comportaba como una "ría" (Riba et al 1976). Su equilibrio dinámico se establece entre el aporte sedimentario del Ebro y los agentes destructivos y de transporte de las olas, corrientes marinas y vientos (Maldonado, 1972).

El interés de la zona vino como resultado de la información en 1989 de la presencia de arenas negras ricas en minerales pesados en las playas de dicho delta, lo que nos indujo a realizar un muestreo para determinar la posible presencia de oro en ellas puesto que el Río Segre es el afluente principal por la izquierda.

Los trabajos de prospección y valoración han sido:

- una prospección indirecta mediante métodos geofísicos (magnetometría y radiometría) para detectar y correlacionar los distintos minerales pesados. La magnetometría se ha empleado para localizar las acumulaciones de magnetita mientras que la radiometría ha sido utilizada para detectar la presencia de circones y monacitas.
- un muestreo sistemático de las arenas de playa al borde del rompiente en una longitud de unos 40 Km con una muestra cada kilómetro,
- una concentración previa mediante un bateado y un análisis multielemento de las arenas de playa s.l y arenas negras s.s..



## LAS ARENAS NEGRAS (BLACK SANDS)

Las arenas negras se emplazan principalmente al sur de la desembocadura del Río Ebro en una franja de unos 3 km de largo y 100 m de ancho de dirección NE-SW. El espesor de las arenas negras en superficie puede oscilar, después de un temporal de vientos de Levante o de Garvi, entre los 5 y 20 cm de potencia. En profundidad los niveles de arenas negras alternantes con arenas s.l. puede alcanzar los 150 cm.

Las muestras, previa extracción de los magnéticos, fueron bateadas en el laboratorio con el fin de observar la posible existencia de oro y otros elementos pesados para, en el caso de ser positivas, determinar: su granulometría, el número de partículas de oro en cada una de las diferentes granulometrías, la composición química de las partículas de oro y su peso.

El contenido de magnéticos determinado a partir de la extracción con un imán, de 2,5 Kg de muestra fue de 520 g lo que representa un 20,8% de la muestra. El concentrado resultante del bateado de los 2,5 Kg, se trató según la hoja de flujo clásica, y de la fracción más densa y de mayor susceptibilidad magnética se extrajo el oro, partícula a partícula, contabilizándose en un número superior a 930. El peso de éstas partículas fue de 0,0035 g, lo que representa aproximadamente 2,2 g/m<sup>3</sup> de oro. El contenido en minerales de circón fue de 68 g lo que nos da una ley de 27,2 Kg/m<sup>3</sup>.

Sobre una segunda fracción de 250 g sin tamizar, se realizó la misma operación pero con otras susceptibilidades magnéticas, con el fin de aproximarse a las distintas susceptibilidades en las que se presentan los elementos de mayor interés económico tales como ilmenita-titanita-anatasa, circón-rutilo-monacita-oro. Para ello se molturó cada una de las fracciones y se realizó un análisis cualitativo por difracción de rayos X.

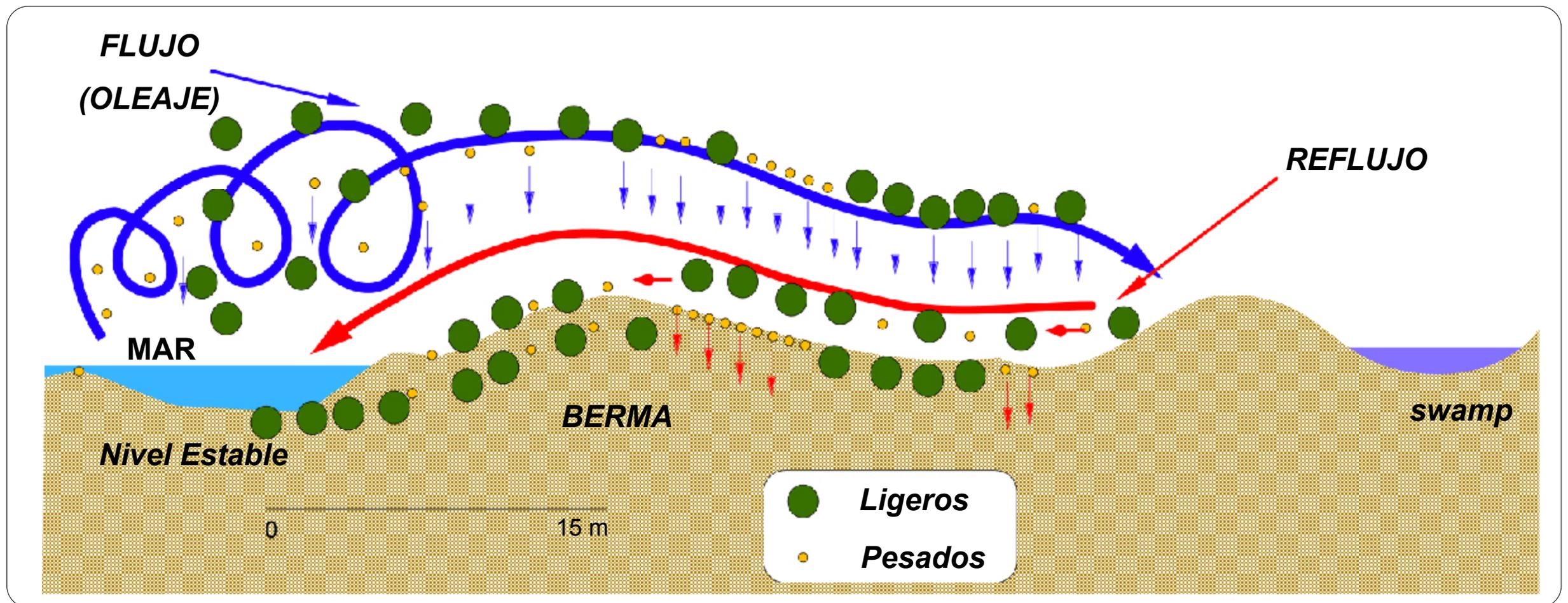
Los resultados obtenidos son comparables con los observados mediante la lupa binocular, en la que la fracción de máximo contenido en monacita, se sitúa en r: 0,45 - 0,7 ó 0,3 - 0,6 (principalmente entre 0,45-0,55), y que la granulometría de mayor interés se sitúa entre 0,16 - 0,10 mm.



***Vandas de arenas negras ricas en minerales densos. Su origen se halla relacionado con el flujo y reflujo delo oleaje.***

En el delta del río Ebro, las partículas de oro presentan unas dimensiones muy reducidas con respecto a las del río Segre por lo que su contaje y su diferenciación granulométrica-morfológica son extremadamente difíciles de precisar. Gracias a ello, estas partículas de morfología discoidal (Viladevall et al, 1991), que oscilan entre los 0,3 mm de diámetro (< 0,5%) y valores inferiores a las 40  $\mu\text{m}$  (> 60%), implican que por sus geometrías y su densidad, sean fácilmente entrañables con  $V_c$  relativamente bajas (0,2-0,3 m/s,) y transportadas con  $V_t$  inferiores (0,1-0,2 m/s) por los caudales y velocidades medias de salida en la desembocadura del Ebro.

El oro y los diferentes pesados son a su vez distribuidos posteriormente a lo largo de la zona de playa en el Delta del Ebro, de NE a SW en función de su densidad y de la propia dinámica litoral según el modelo de la figura.



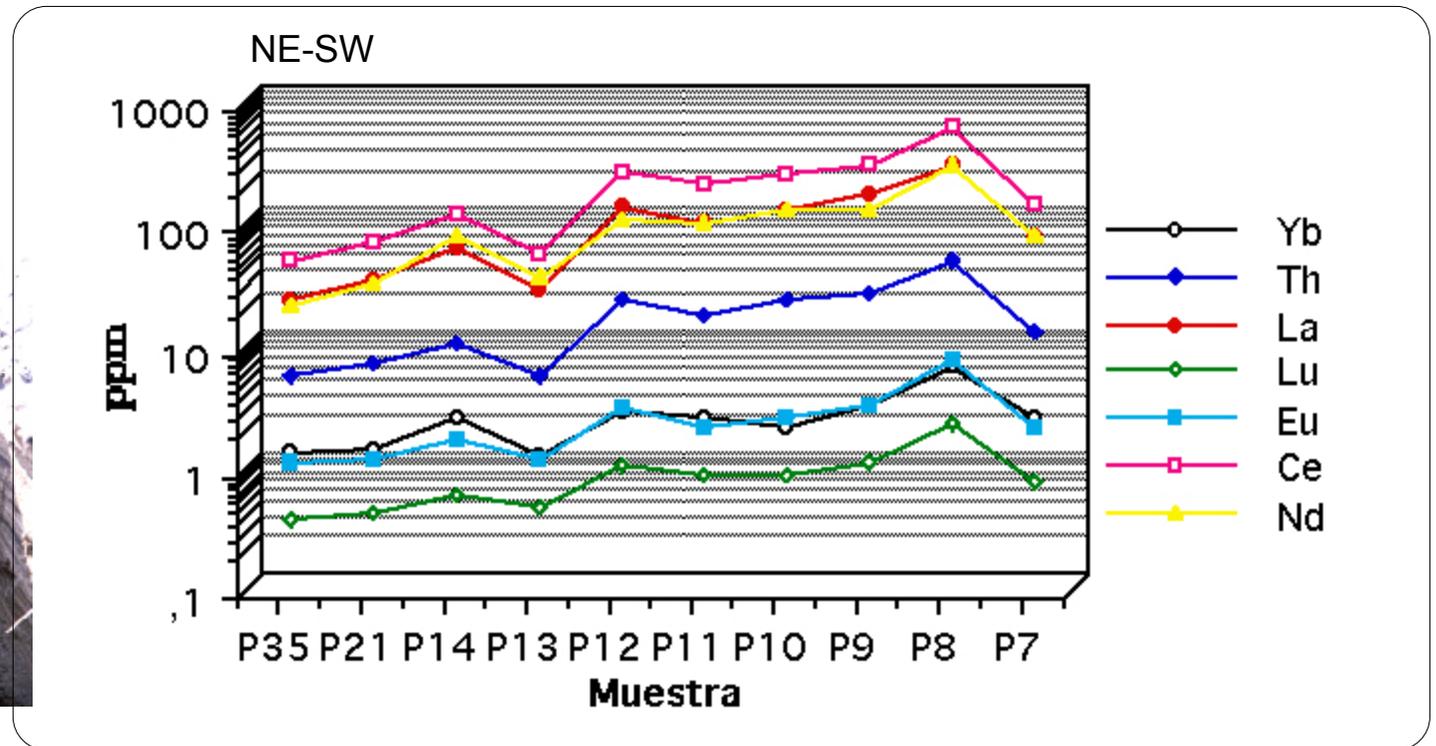
Clasificación de minerales de diferente densidad en un ambiente de playa. A. La ola transporta diversas partículas de diferentes tamaños (ligeros :círculos verdes, pesados: c.amarillos) y su caída se halla en función de su diámetro hidráulico equivalente (B). En una lámina de agua de refluo, la velocidad de la corriente disminuye cerca de la interfase agua- lecho con lo que la velocidad crítica de entrañamiento ( $V_c$ ) de las partículas será suficiente solo para removilizar a las ligeras (C). A partir de este modelo, tendremos una fina película de las partículas inmovilizadas, en este caso de minerales pesados. Kudrass (1987) y Viladevall y Serra (2001).

A partir de este modelo de tipo “wash face” (Force, 1991), podemos explicar el fenómeno del empobrecimiento de oro de NE a SW a partir de la desembocadura del río Ebro. Ello es debido a que las corrientes de esta misma dirección arrastran las partículas aportadas por el río y depositadas en la zona proximal de la desembocadura, para enriquecer las arenas s.l. más próximas a estas (Isla de Buda), ya que las velocidades medias de las corrientes litorales no superan los valores anteriormente indicados a excepción de épocas con fuertes vientos de dirección NE-SW. Por el contrario, los temporales de levante, con velocidades en la zona de “swash face” que alcanzan los 4 m/s implican velocidades  $V_c$  y  $V_t$  suficientes, que sí que son capaces de removilizar y acumular estas partículas para depositarlas en forma de arenas negras (también cerca de la desembocadura)

Esta removilización, así como la pérdida de carga en oro por parte de las corrientes es la causa de que la zona situada al SW se halle empobrecida en oro, tanto en las arenas s.l. como en los pequeños niveles de arenas negras, puesto que al ser pobres dichas arenas s.l. la removilización-deposición por parte de los temporales también lo será.

Los otros minerales pesados también se depositarían a partir de su densidad inicialmente más próxima a los minerales ligeros, lo que nos daría una distribución algo más equilibrada en función de esta

En la desembocadura, las corrientes, al igual que para el oro, ayudadas por los temporales de levante que removilizarían las arenas ya existentes, enriquecerían a las arenas negras con gran parte de minerales pesados y empobrecerían a las arenas s.l. removilizadas. Otra parte de dichos pesados seguirían arrastrados por la corriente litoral hacia el SW enriqueciendo a pequeños niveles de arenas negras pero predominantemente a las arenas s.l.



**Distribución de las Tierras Raras en las arenas de playa. Obsérvese el aumento de la ley de NE a SW**

## EXPLORACIÓN AURIFERA EN EL SENEGAL

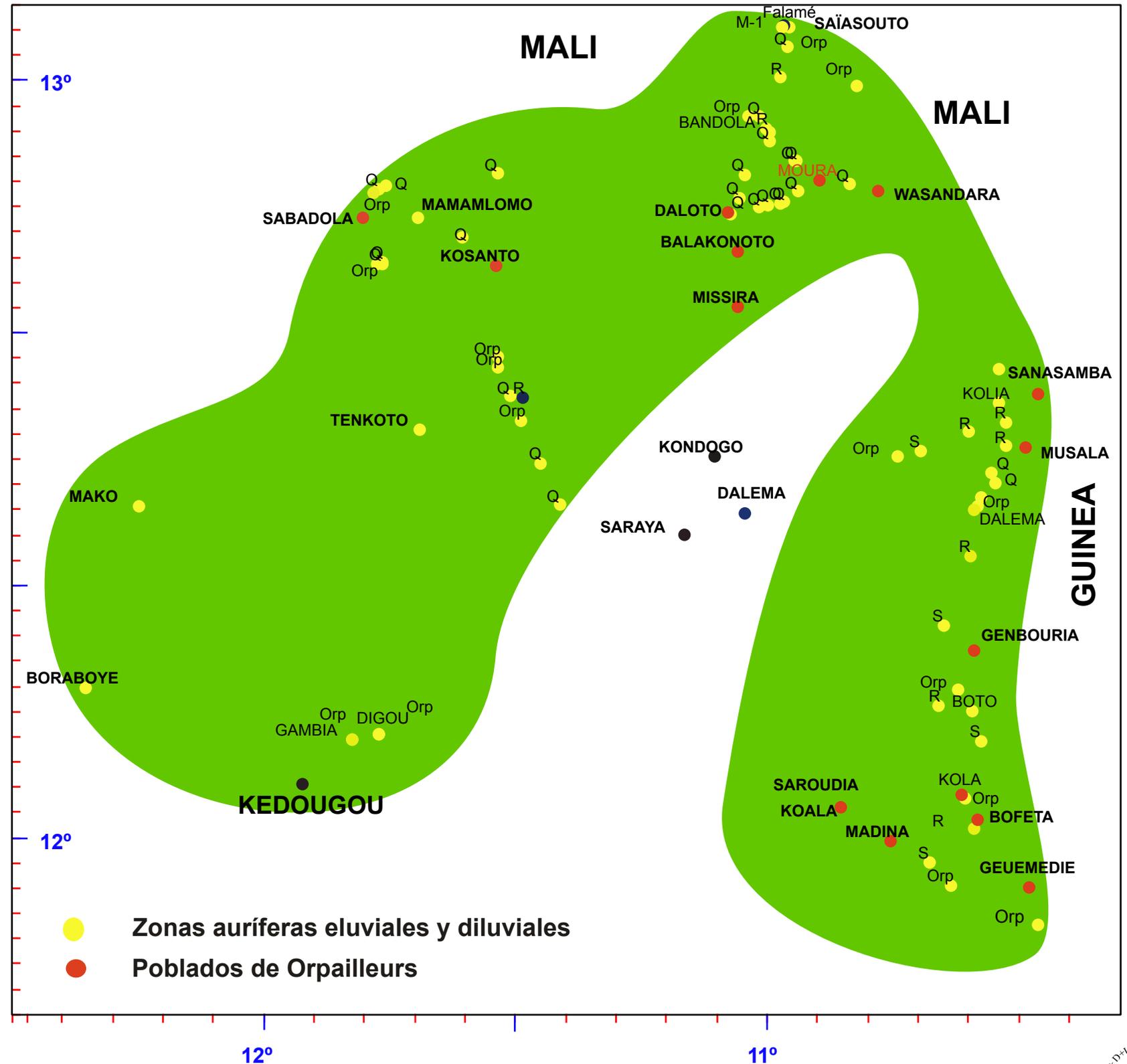
Los depósitos eluviales y diluviales son típicos en el Africa subsahariana en la zona de Bambouk en donde, con una minería artesanal, trabajan más de 500.000 personas.



Pozo en los eluviones (Bambouk, Senegal)

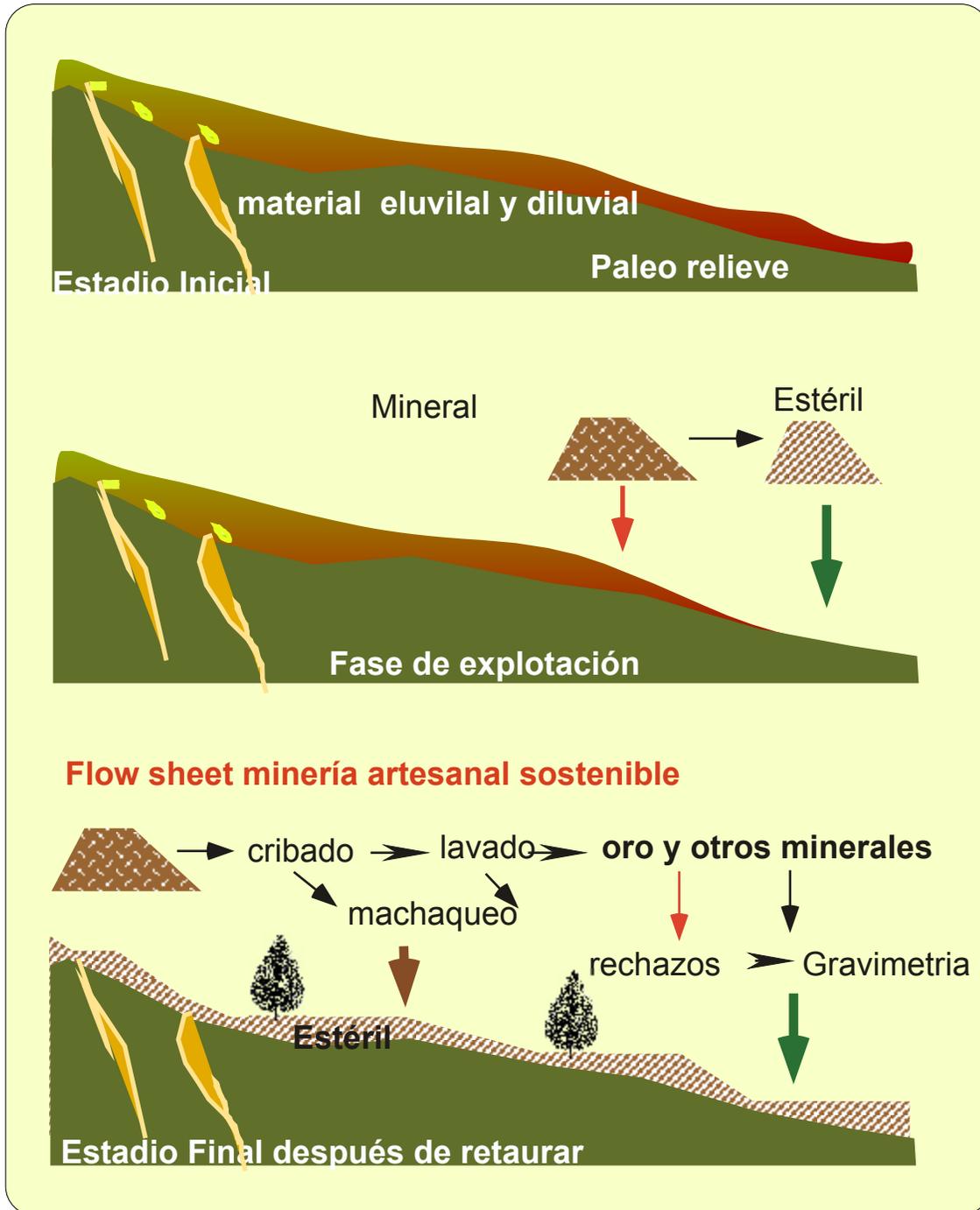


machaqueo rudimentario a eluviones

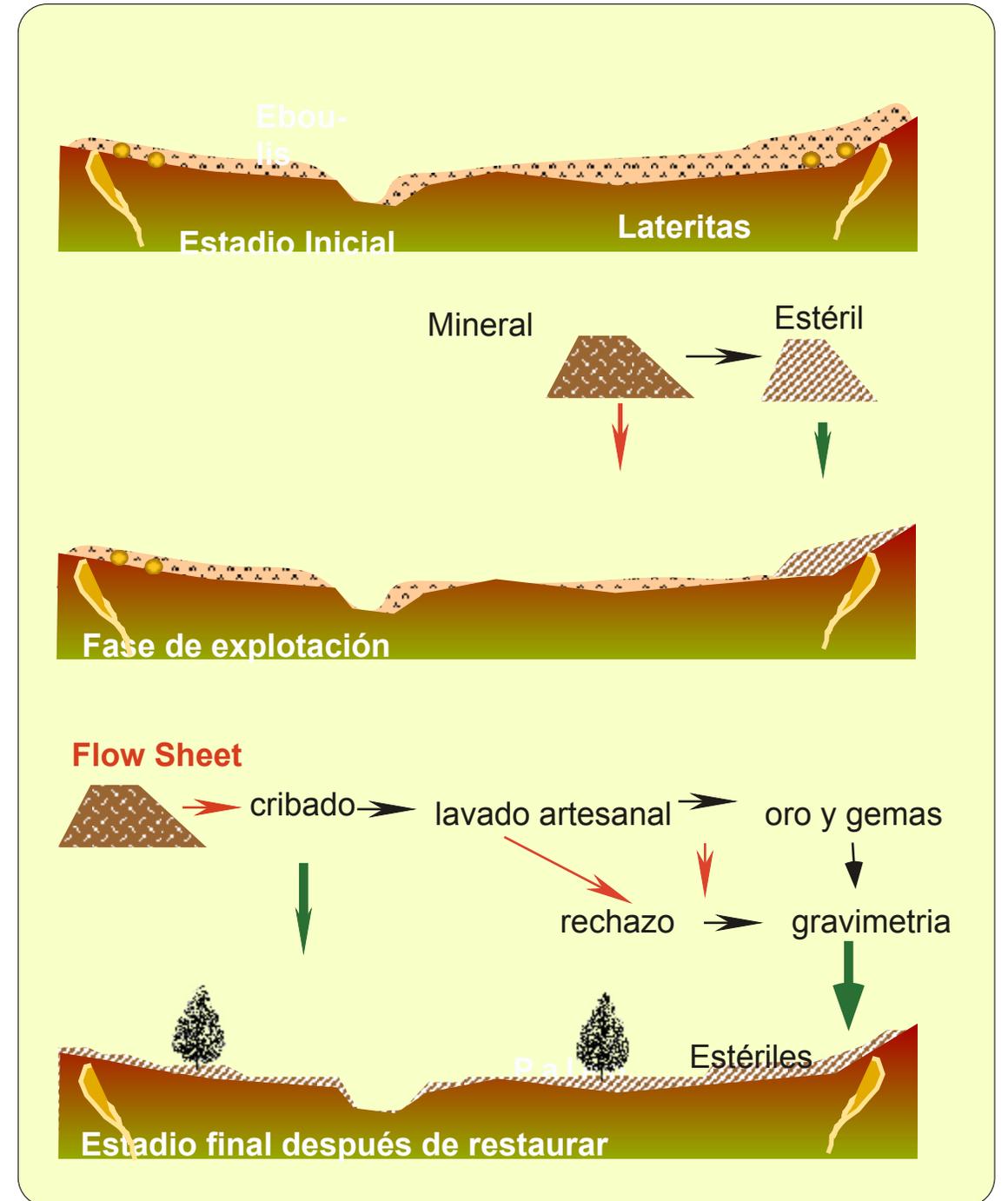


# ANÁLISIS DE UNA POSIBLE EXPLOTACION Y SU RESTAURACIÓN DE DEPÓSITOS DE TIPO PLACER DILUVIALES Y ELUVIALES EN UNA ZONA TIPO SAVANA

## EXPLORACIONES ELUVIALES Y DILUVIALES

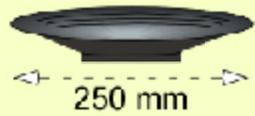
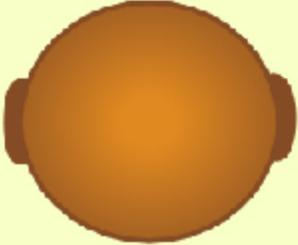
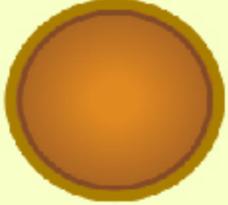


## EXPLORACIONES DILUVIALES Y ALUVIALES

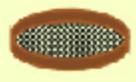
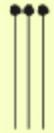




# LAS TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN: EL BATEO

	<b>Batea</b>	
<b>Hierro y Plástico</b>	<b>Pan Americano</b>	
		
	<b>Jagua ubana</b>	
<b>Madera de Cedro</b>		
	<b>Batea de los Andes</b>	
		
	<b>Batea del Golfo de Guinea</b>	
<b>Calabaza</b>		

## HERRAMIENTAS DE MUESTREO

<b>Cubos</b>	<b>Tamizes</b>	<b>Palas</b>
10 litros 0	luz: 4 mm 350 mm	
		<b>Picos</b>
	<b>Lupa</b>	
	x 10	<b>Agujas Emangadas</b>
	<b>Imán</b>	
		<b>Vial</b>
<b>Repelente para mosquitos</b>		
<b>Botas de goma</b>		<b>Mapas y Manuales</b>
	<b>Protección Solar</b>	
<b>Guantes de goma</b>		
		

**Material Plástico**



*Batea Suiza*

**Metálicas**



*Batea Checa aluminio*

**Madera**



*Batea de cedro Boliviana*



*Batea Americana*



*Batea acero inoxidable Peñarroya*



*Gritzly*



*Batea Francesa*



*Batea Americana de hierro*



*Jagua cubana*

**Fibra de Vidrio**



*Batea Sueca*

### HERRAMIENTAS DE MANO



Martillo Geólogo



Pata de Cabra



Martillo rompedor



Hacha



Pala de Jardin



Tamices de plástico

### OTRAS HERRAMIENTAS



Sensor electromagnético-electrostático



Sluice Box artesanal



Minidraga con sluice box

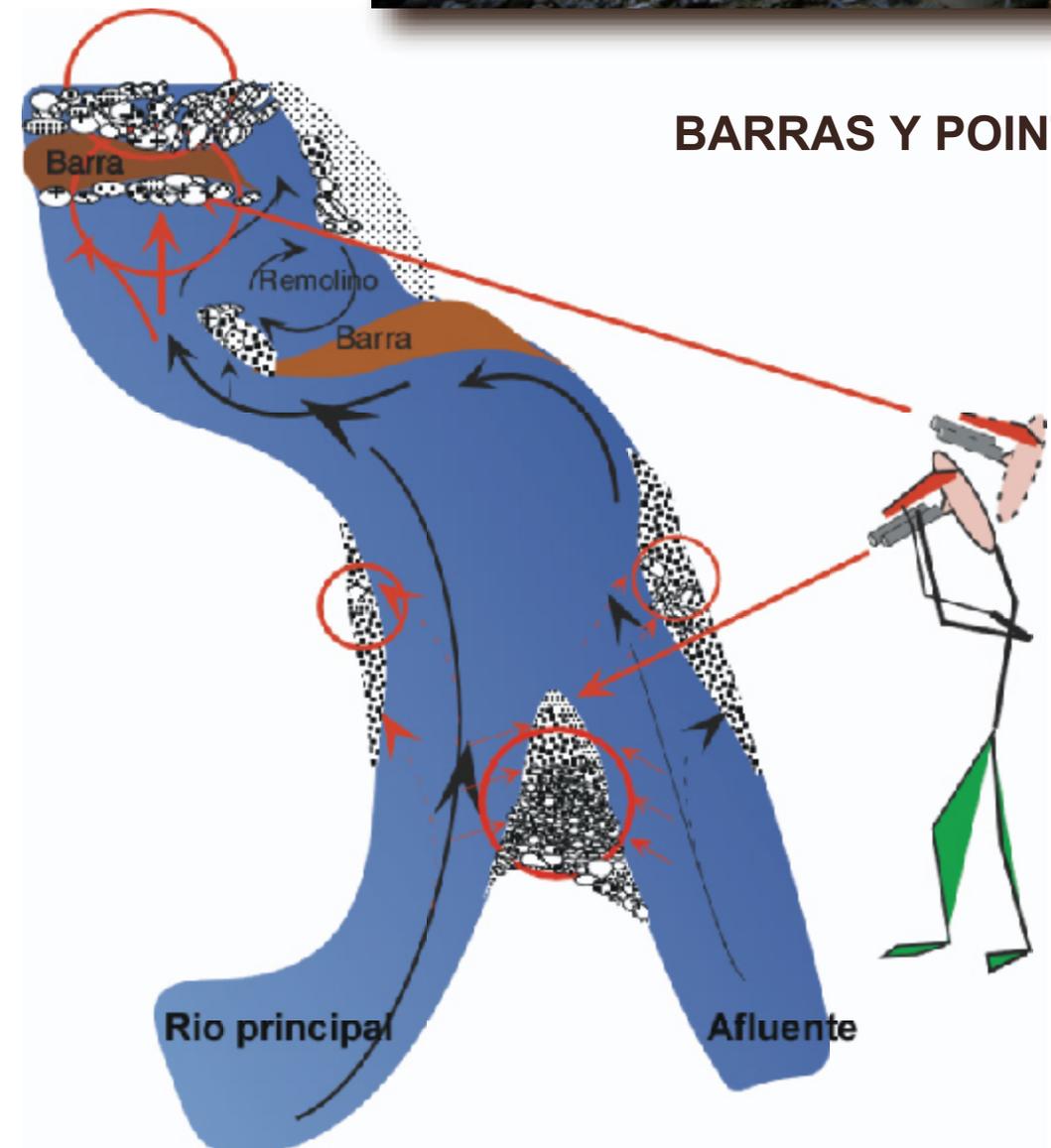
# ACCIDENTES MAYORES

## DISTRIBUCION DE LOS BANCOS DE GRAVAS A LO LARGO DE UN RIO.

Las zonas de gravas se reparten de forma simple en los ríos, y su investigación se guía por una regla simple: “el agua fluye según la línea más directa por lo cual erosiona las orillas cóncavas y aluvionar en las convexas”, como consecuencia, los bancos de gravas se depositan en las partes cóncavas del lecho, situándose los bloques mayores cerca de la corriente y la grava fina y arena en el lado opuesto (ver figuras mayores).

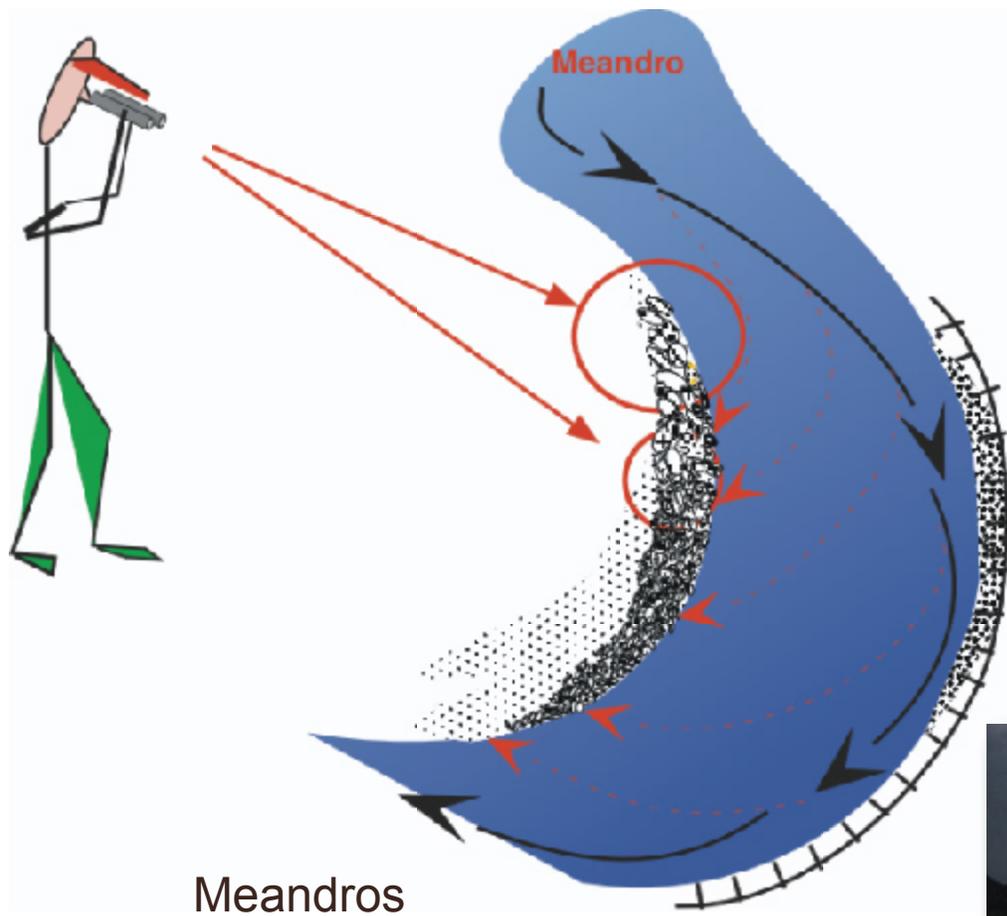
Independientemente de esta repartición lateral, existe otra en función de la pendiente, así en zonas accidentadas, el lecho del río no presenta siempre la misma inclinación, con lo que los remolinos, las barras rocosas o simplemente obstáculos como represas, etc., modifican la velocidad de las aguas en ciertos puntos, acumulándose los elementos más densos, facilitando el trabajo del prospector.

Las concentraciones se realizarán pues en las reducciones de pendientes, principalmente en la parte anterior de las barras (sluice) y de los obstáculos, no obstante en las partes posteriores en zonas de depresión (marmitas) también se pueden concentrar, siendo de todas ellas las que se encuentres más cerca del bed-rock.



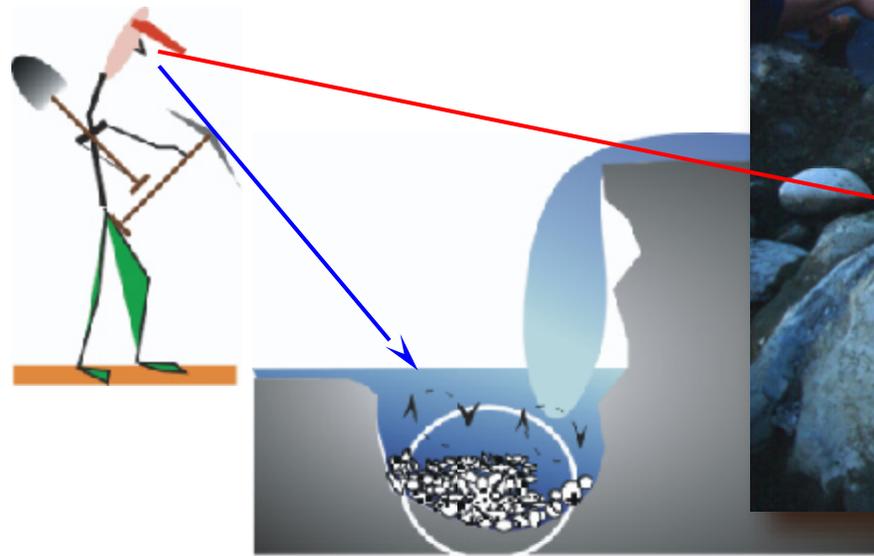
## BARRAS Y POINT-BARS

# ¿DÓNDE PROSPECTAR?



## ACCIDENTES MAYORES



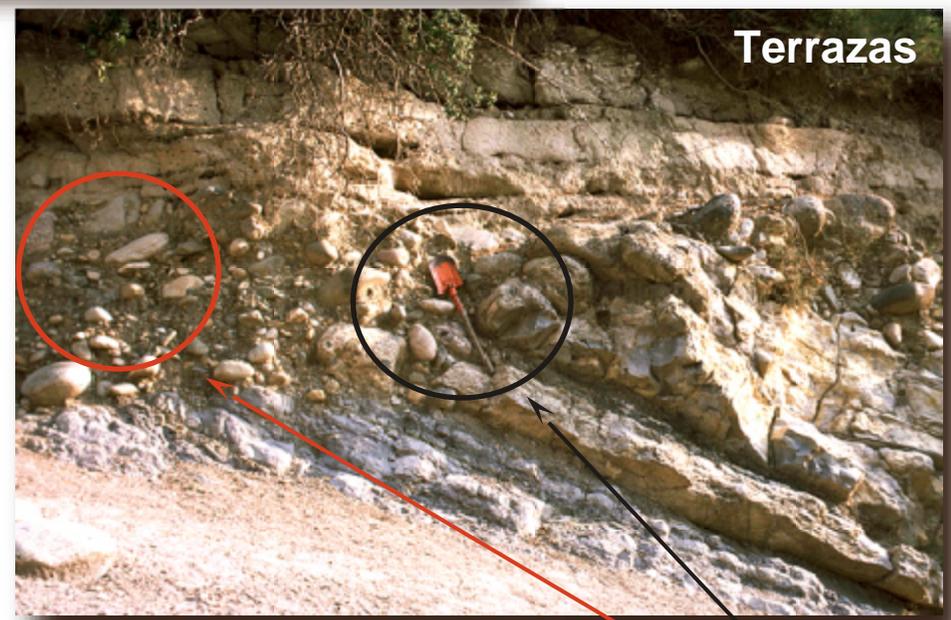


Pozas

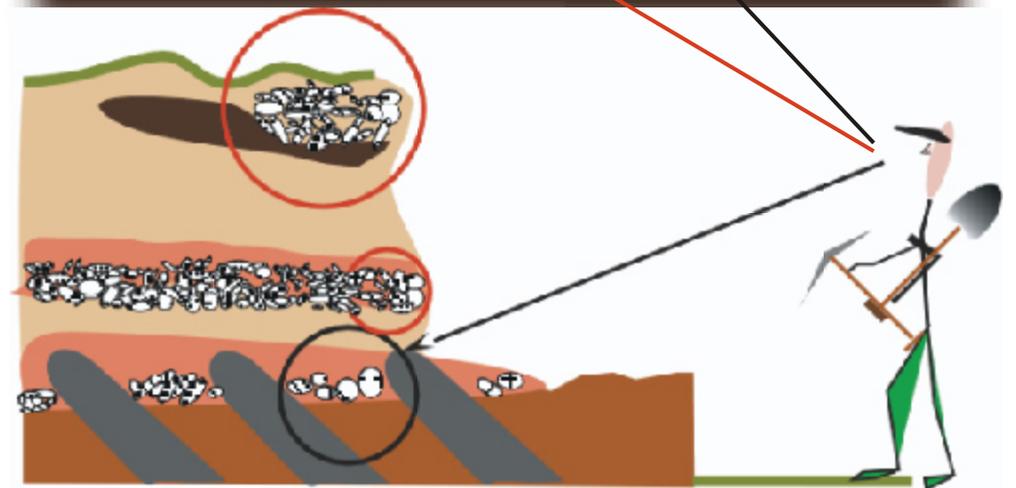
## ACCIDENTES MENORES



Obstáculos en el río



Terrazas



## MUESTREO

La concentración en una batea, según Sigov (1939), será para un experimentado bateador en función de la densidad o capacidad hidráulica de la muestra de:

DENSIDAD	CEOFICIENTE DE EXTRACCION %
5,2	90
4,4-5,1	83
3,9-4,2	76
3,6-3,8	60
2,8-3,3	15
2,8	1

La batea mas recomendable es el "Pan" de unos 8 litros con diámetros de 400 mm y ranuras que impiden la pérdida de minerales pesados durante el proceso, si bien para su mejor concentración y en etapas sucesivas se emplearán "pans" de diferentes diámetros o volúmenes tales como 350 y 250 mm. El material de que están formados, pueden ser de acero inoxidable, hierro de fundición, plástico y madera.(ver figura de bateas).

### **La concentración podrá comportar las fases siguientes:**

1. Tamizado a 3 mm en una batea de 400 mm de diámetro, dentro del agua con el fin de deslamar la grava de las arenas y ambas de las arcillas.
2. Lavado del material mediante un tamiz inferior a 3 mm y dentro del agua, con el fin de desalojar lodos y arcillas y evitar así una pulpa demasiado densa que pueda acarrear fuera los minerales pesados, así como mejorar la observación, en la batea o pan de 400 mm o recipiente adecuado. Se recomienda que el tamizado se realice mediante giros, junto con la batea, bien levógiros o dextrógiros, en función de las características del bateador, así como fuertes sacudidas de arriba a bajo con el fin que no tan solo haya circulación lateral sino también vertical. Cuando el agua de la batea o pan se halle completamente limpia se empezará una etapa de bateado. Nunca se llenará por completo la batea y se mantendrá su nivel por debajo de la ranura inferior. El rechazo superior a 3 mm se verterá en una zona plana de tal forma que los pesados superiores a este diámetro se sitúen a la base del tamiz, lo que favorecerá la observación de estos.

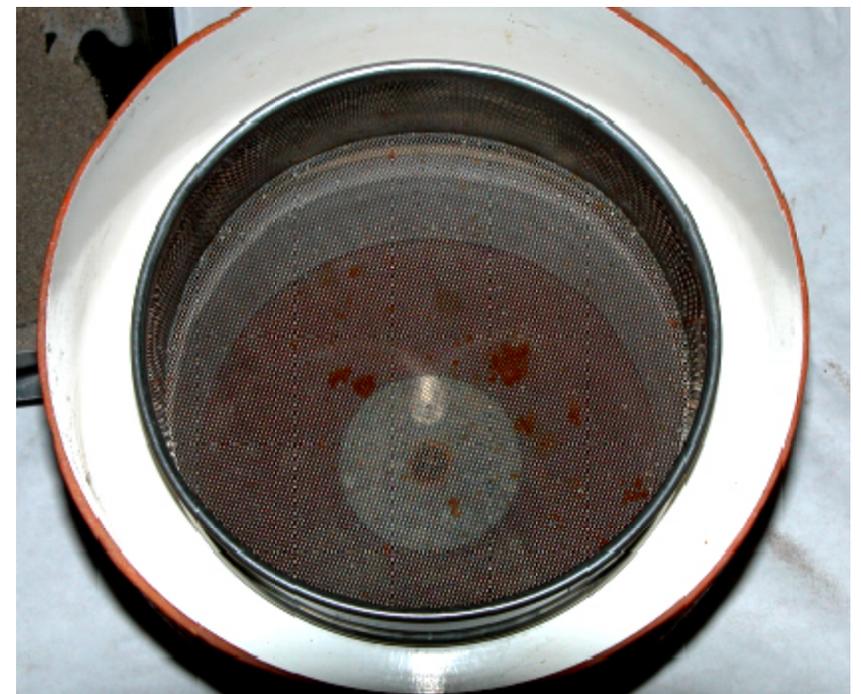
3. operación de concentrado o bateado, en ella mediante giros levógiros o dextrógiros fuera o dentro del agua pero con la batea llena de éste, se realizarán de tres o más giros y en el último de ellos se inclinará la batea hacia delante, en el sentido de la corriente, para que los ligeros desborden del pan, acto seguido se inclinará suavemente el pan contra la corriente con el fin de permitir la entrada de agua en el y se repetirá la operación tantas veces necesarias hasta que queden en el fondo de batea o pan una capa de un centímetro aproximadamente.

4. el concentrado se tamizará a 1 mm sobre un pan o batea de 300-250mm de diámetro realizando exactamente la misma operación de la fase 2 y 3.

5. finalmente el concentrado se verterá en una bolsa de plástico de tamaño mediano, mediante un embudo de unos 100-200 mm de diámetro, teniendo la precaución de que todo el concentrado pase a la bolsa a través de éste. Esta última operación es la más delicada y es mejor realizarla sobre otro recipiente (pan de 400 mm) con el fin de recoger las pérdidas si las hay.

La operación con el “Jig”, se efectúa de la siguiente manera:

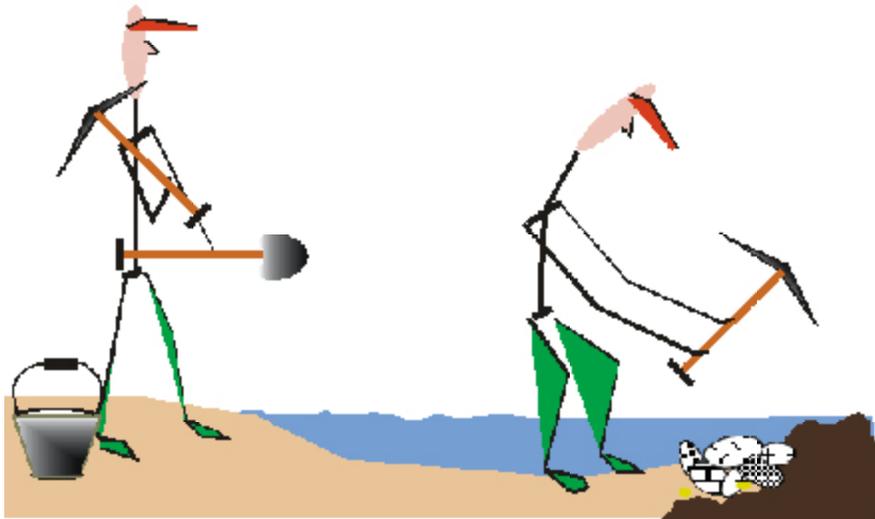
Bajo un pequeño nivel de agua, se dan una serie de pequeñas sacudidas verticales al “jig” imprimiendo posteriormente un movimiento descendiente rápido al mismo tiempo que se realiza un movimiento de rotación de unos 20°. Luego se levanta el jig sin sacarlo fuera del agua hasta su posición inicial. Esta operación se realiza un número determinado de veces hasta que los minerales pesados se sitúen al fondo formando una corona, hallándose los más pesados en el centro. Terminada la operación se vierte de golpe como si de una tortilla se tratase, sobre una superficie plana con lo que los minerales pesados quedarán en la parte superior de donde serán extraídos.



**Jig de campo(modelo BRGM)**

# Como muestrear

1. Don Pepito se dirige a la zona de interés



2. Don Pepito carga 10 litros de sedimento



## Como tamizar

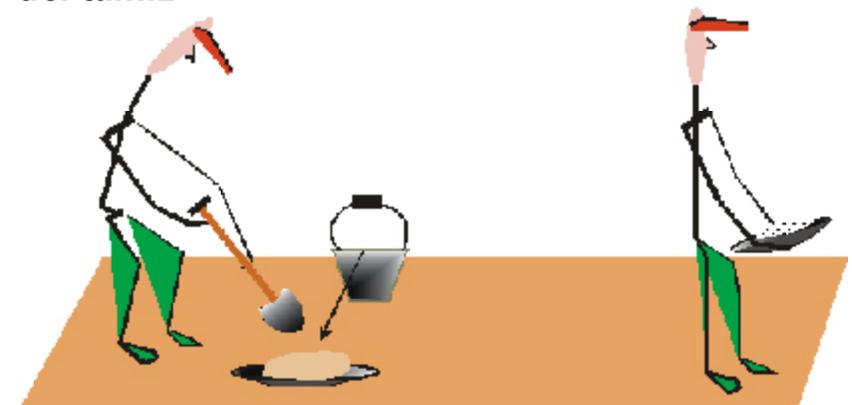
3. Don Pepito inicia el tamizado



Llenado del tamiz sobre la batea



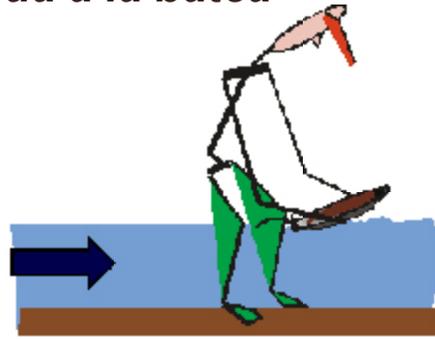
Movimiento del tamiz



Sin tamizado previo como la mayoría de los exploradores

**Don Pepito con la batea cargada hasta la mitad se dirige a la zona de lavado**

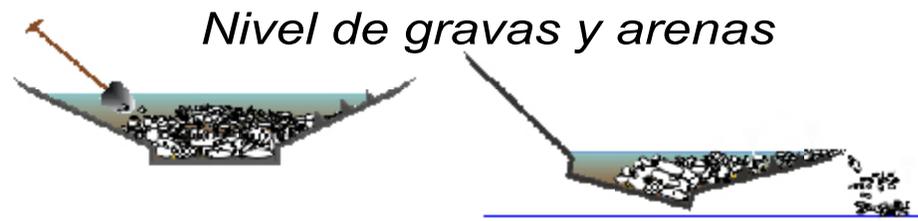
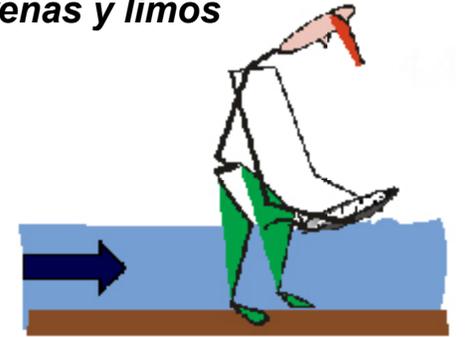
**1. Carga de agua a la batea**



Corriente del río

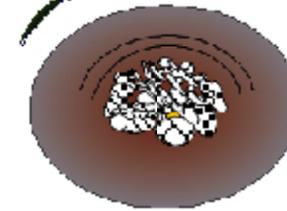
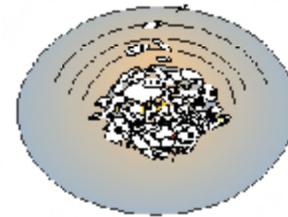
**3. Movimientos de expulsión de estériles.  
Sácudidas de la batea para eliminar arenas y limos**

Nivel del agua en la batea

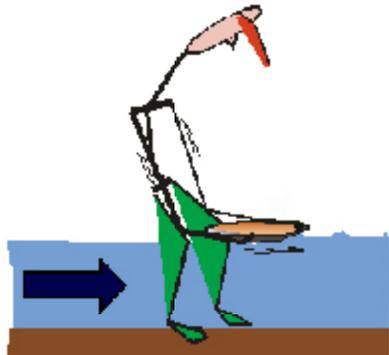


Nivel de gravas y arenas

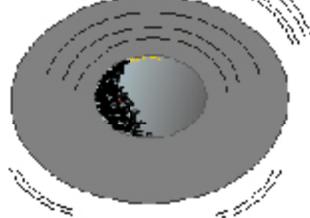
Sacudidas de la batea para eliminar finos y arenas



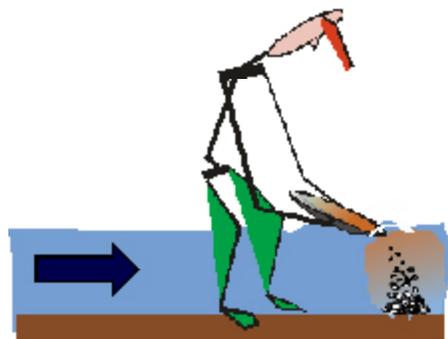
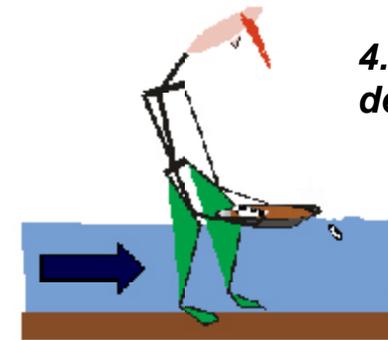
**2. Lavado: sacudidas de la batea para eliminar el barro**



Movimientos de expulsión y concentración de minerales pesados



**4. Estériles expulsados y minerales densos concentrados**



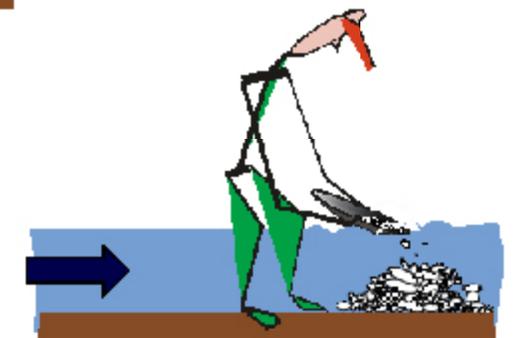
Barro eliminado



Lavado



Concentrado

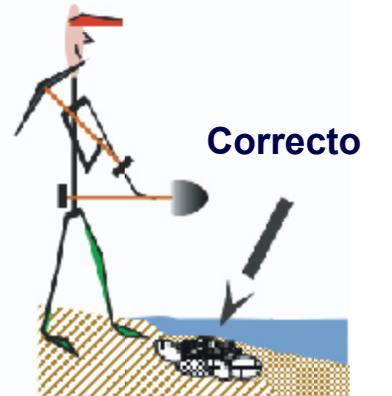
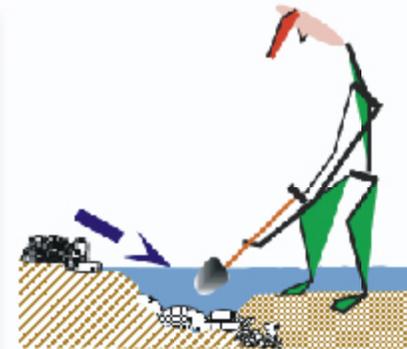


***Don Pepito y Doña Pepita observan con una lupa el concentrado de minerales densos para descubrir la presencia de oro u otros minerales de su interés. Con posterioridad rellenan el pozo realizado con el material estéril para evitar erosiones y deterioros en el medioambiente.***

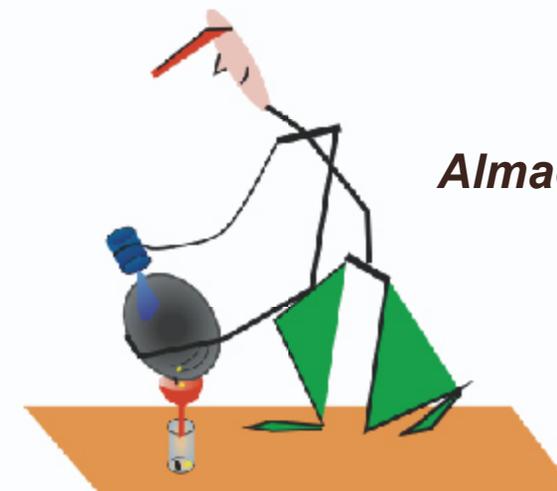
**Observación**



**Relleno de los pozos**



**Almacenar**



# MUESTREO DE UN PLACER MEDIANTE POZOS

El sector a investigar, se hallará restringido en función de la delimitación marcada en fases anteriores.

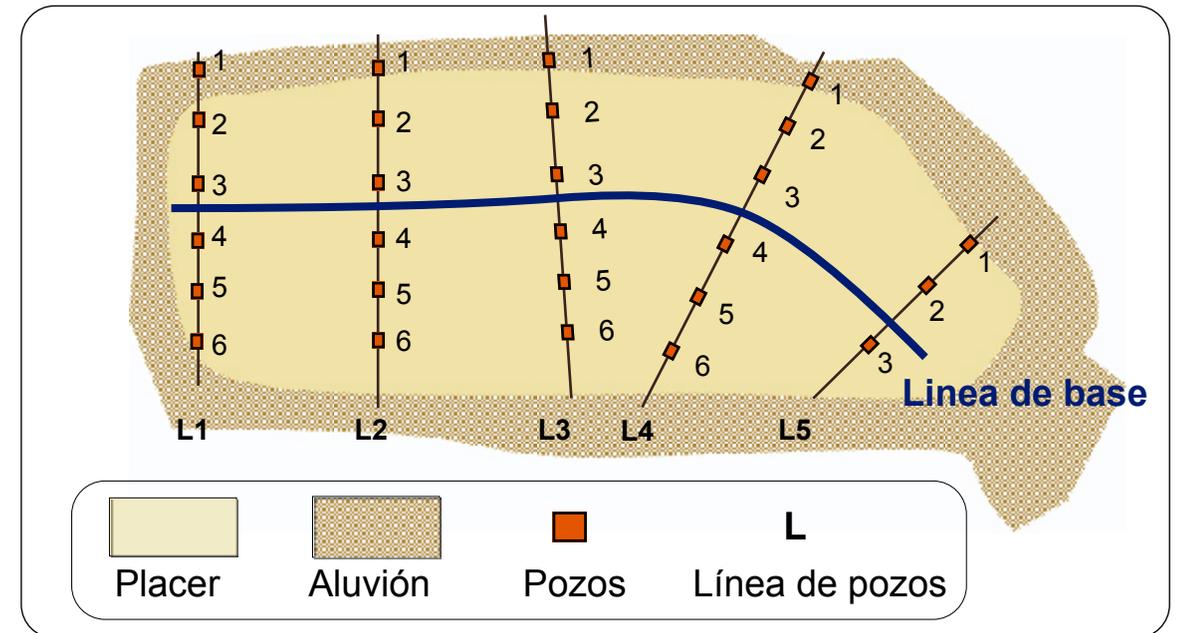
Se trazará inicialmente una línea de base (figura superior), que podrá seguir el eje del valle y más o menos paralela a las direcciones principales. Su situación será muy precisa y perpendicularmente a ella se trazarán las líneas de prospección en donde se situarán los diversos pozos.

Según la importancia del llano aluvial, la regularidad de los depósitos así como de la mineralización, se proponen un espaciado entre líneas de pozos que oscilarán entre 400, 200, 100, 50 ó 25 m. Entre pozos las distancias podrán ser de 20,10 ó 5 m.

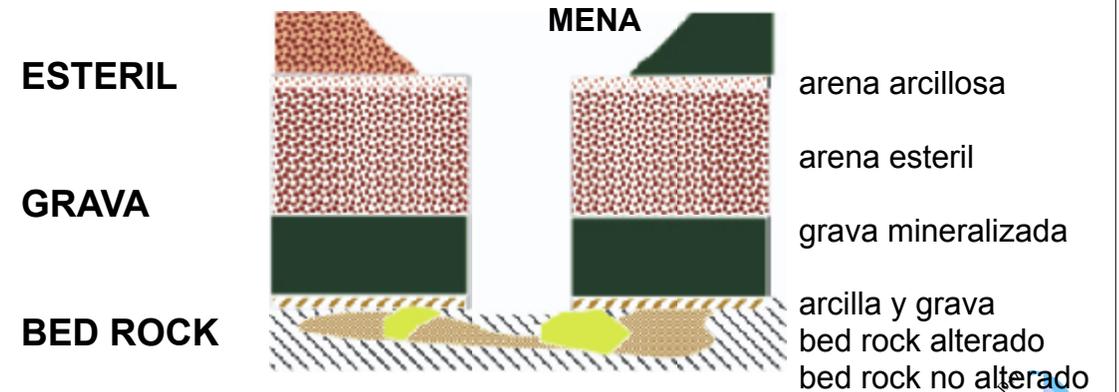
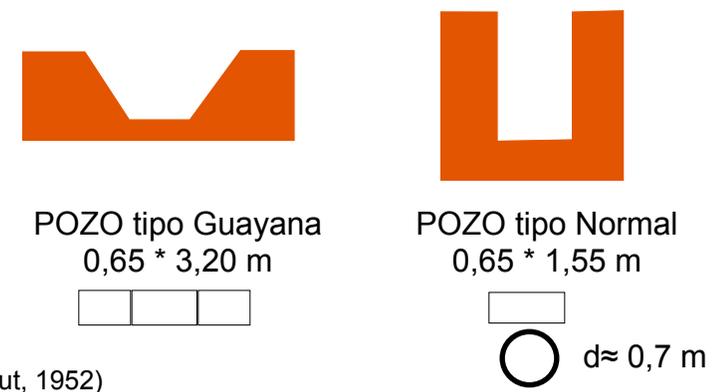
Este espaciado entre líneas se iniciará de 400 m y se mantendrá en las zonas estériles para pasar a 200 m en zonas de límite de explotabilidad para irse reduciendo sucesivamente. No obstante, cuanto más irregular sea la mineralización más cerrada deberá ser la malla.

En cuanto al volumen de muestra a determinar por pozo, (figuras inferiores) se propone 6 bateas (de 120 bateas m<sup>3</sup>), o aproximadamente 50 litros para la grava y 50 litros para el bed-rock en zonas de baja ley para pasar a 100 litros y todo el bed-rock en zonas de oro pepítico, en las zonas de leyes superiores al límite de explotación y en fin en las zonas de diferentes tipos de materiales así como por la presencia de "boulders".

## TRAZADO DE LA LINEA DE POZOS

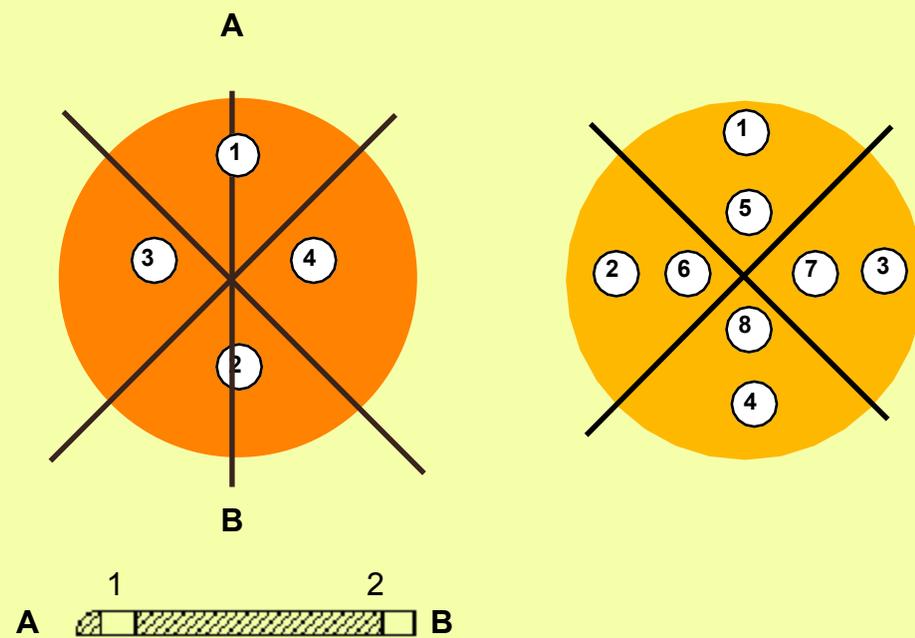
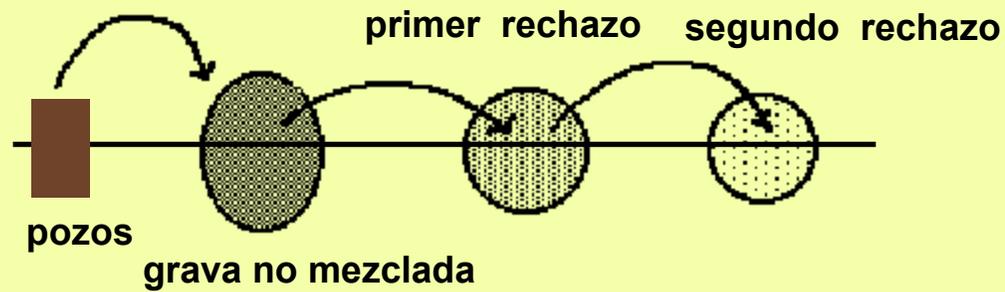


## TIPOS DE POZOS



Chaussier et Morer (1981)

**TOMA DE MUESTRAS SOBRE GRAVA EXTRAIDA Y MEZCLADA**



CHAUSSIER et MORER (1981)

Hay que resaltar que cuanto más pepítico sea el oro, menor precisión tendremos al determinar la ley. Chaussier et Morer, op. citada propone un sistema de muestreo que consiste en realizar hendiduras verticales cruzadas sobre todo el espesor del aluvión, sea sobre dos paramentos paralelos, sea sobre los cuatro paramentos de los pozos o bien tomando una muestra media sobre el montón de toda la grava extraída después de mezclada.

Los cantos mayores o bloques, se separarán a medida de la extracción y su volumen deberá ser medido y comparado al del aluvión sin ellos. Para este cálculo se establecerá un porcentaje de éstos que se considerarán posteriormente para el cálculo de leyes y de reservas.

La operación se realiza de la manera siguiente: se separa primero los “bloques” que contiene el acopio de grava dado y se forma otro acopio con el resto del aluvión. Se cortan dos cintas de la misma longitud del diámetro de este y se disponen en cruz a su lado. Posteriormente se traza en el suelo un círculo cuyo diámetro será el de las dos cintas indicadas y cruzadas, empezando a rellenar los cuadrantes del círculo con los bloques de tal manera que la altura de éstos sea constante.

Si  $H_1$  es la altura del acopio de grava,  $H_2$  la de los bloques y si estos últimos solo se sitúan en una fracción  $f$  del círculo, la proporción de bloques en el aluvión será:

$$P\% = 100 \cdot (H_2 \cdot f) / (H_1 + H_2 + f)$$

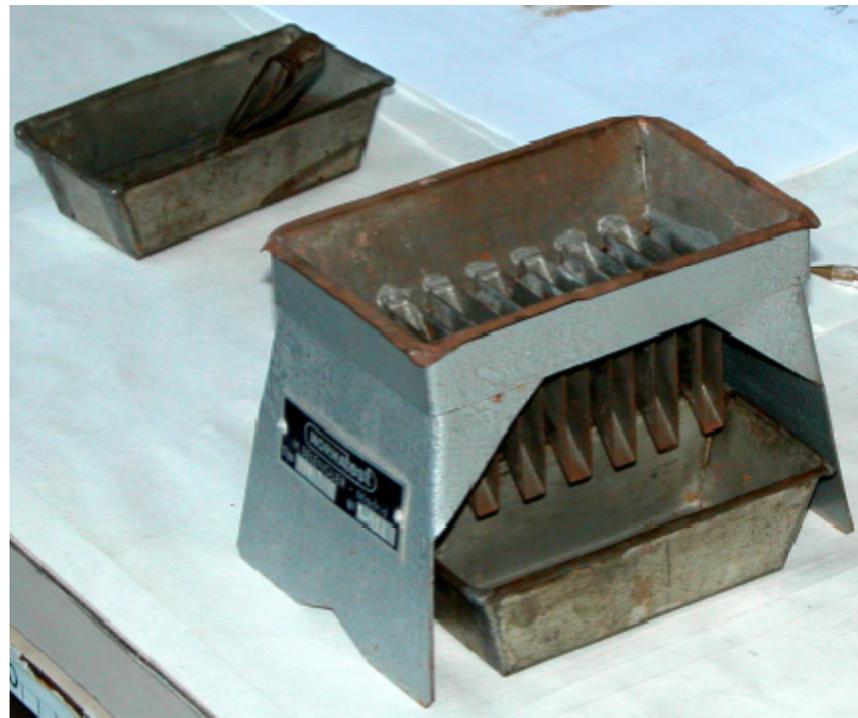
ejemplo:  $H_1 = 80$  cm;  $H_2 = 20$  cm;  $f = 1,25/4$  (un cuadrante y cuarto):

$$P\% = 100(20 \times 0,3125) / (80 + (20 \times 0,3125)) \approx 7\%$$

Finalmente, el aluvión se mezcla con una pala y se contrasta en acopios regulares, posteriormente se vuelve a mezclar otras dos veces sucesivas. La mezcla, es aconsejable que sea realizada por dos operadores trabajando sucesivamente como en los pilones de mezcla de cemento - arena. El segundo rechazo no puede iniciarse, si antes no se ha terminado de confeccionar el primero y el primero no se puede componer si antes no se ha terminado el pozo.

Durante la mezcla, hay que asegurarse que el aluvión no incorpore, ramas, hojas u otros detritus. Los acopios deberán ser bien planos y no sobrepasar los 50-60 cm de altura, no deberán además, ser compactados en su parte superior ni en sus bordes.

Después de la doble mezcla, se procede a la toma de la muestra: 4 bateas de 8-10 litros para espesores inferiores a los 2 metros y 8 para espesores superiores a los dos metros.



**Cuarteadores de laboratorio**





# EL CONCENTRADO MINERAL

## TRATAMIENTO

El concentrado obtenido durante la fase de muestreo, una vez etiquetado y pesado, se estudiará en el laboratorio mediante diferentes fases que podrán intercambiarse según el tipo de concentrado y fase de prospección.

La primera etapa de laboratorio, consistirá en transvasar con sumo cuidado el concentrado a un recipiente para su secado. La temperatura aconsejable es la de entre 40 y 60°C para evitar las pérdidas o formación de vapores de mercurio si en el concentrado existiesen amalgamas o mercurio. Durante el transvase se deberá tomar muchas precauciones ya que los pesados, concretamente el oro puede concentrarse en la base o en las paredes de las bolsas de plástico (adsorción electroestática) y perderse para su análisis. Se aconseja pues, utilizar recipientes de vidrio o de papel.

**.Separación Magnética:** Es la primera fase del tratamiento, y consiste en separar mediante un imán, usualmente de herradura, envuelto en papel para evitar contaminación entre muestras, la fracción magnética que consta de minerales tales como la magnetita, titanomagnetita, pirrotinas, cromita y limaduras de hierro, del resto del concentrado.

**Tamizado:** en esta segunda fase, se trata de subdividir el concentrado en diferentes fracciones de tamaño uniforme con el fin de simplificar la valoración cuantitativa y obtener además una valiosa información sobre el tamaño de su distribución.

Las aperturas mas usuales para nosotros son los N° 14, 40, 60, 80, 120 y 200. Cada una de las diferentes fracciones serán pesadas y etiquetadas para su análisis posterior.

## **CRIBADO DEL CONCENTRADO PRIMARIO. Ejemplo del Río Segre en el tramo medio.**

Fracción superior a 2,5 mm, para un tamizado primario con malla inferior a 5 mm, el volumen será de 20-25% y los materiales más representativos corresponderán a:

- Hematites, Oro, Gemas
- Elementos líticos

Aconsejamos para tratar estas fracciones un concentrador de espiral como el de la figura.



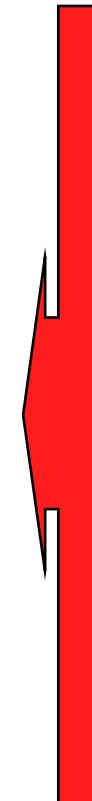
CONCENTRADOR espiral

Para una fracción entre 1 mm a 2 mm

- Hematites, Virutas de Hierro, Oro, Casiterita, Perdigones de plomo, Sulfuros (galena, cinabrio, pirita, arsenopirita).
- Elementos líticos , Silicatos alumínicos y gemas(zafiros)

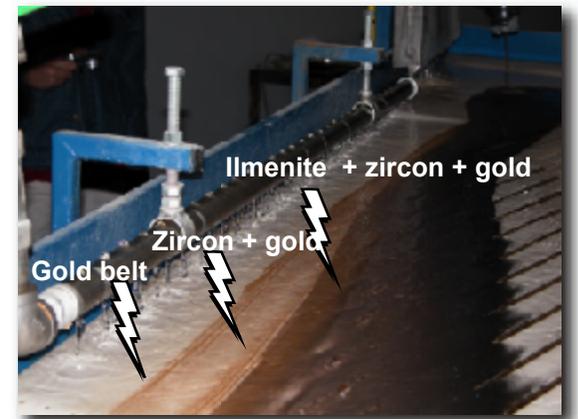
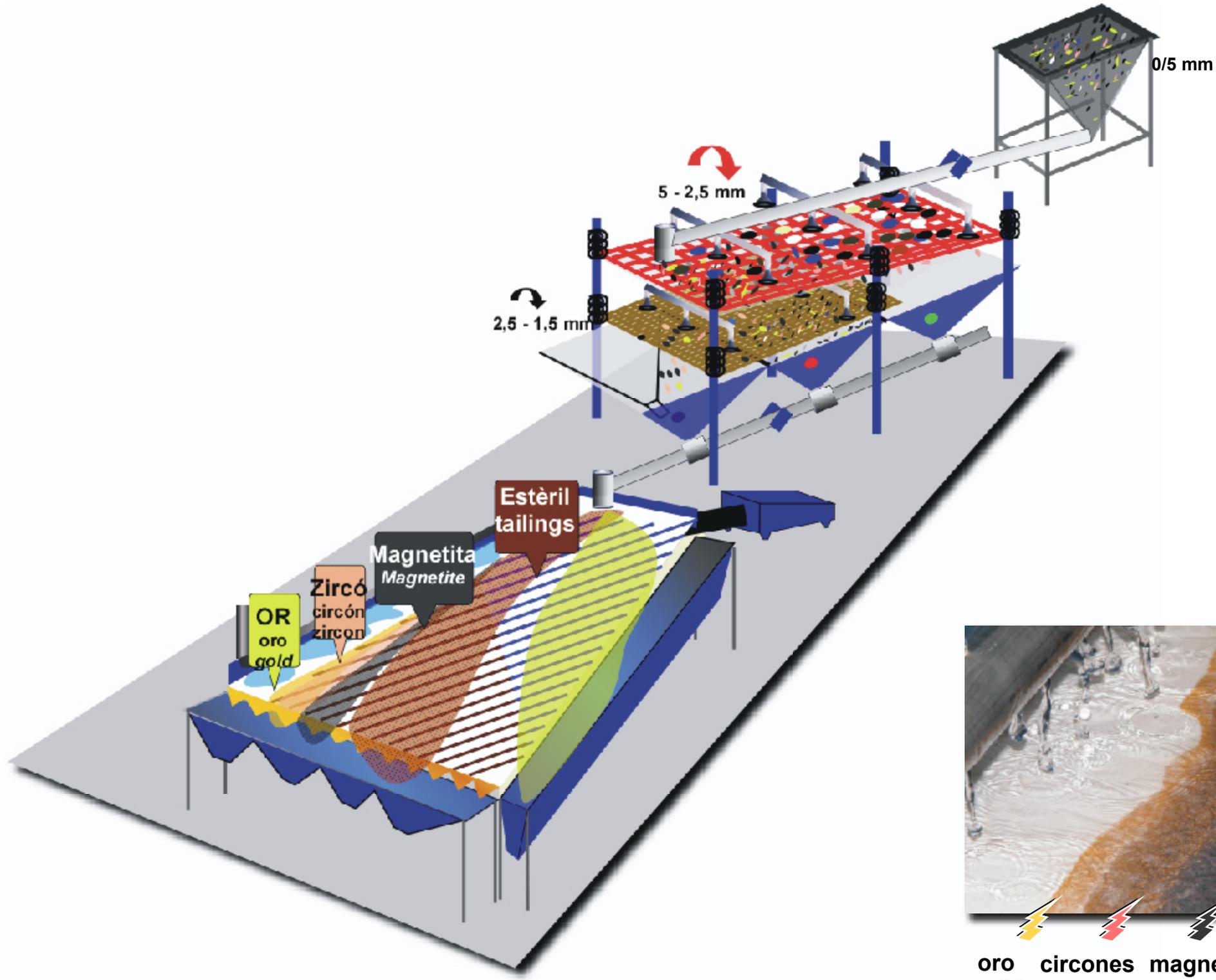
Fracción < 1 mm

- Minerales magnéticos y paramagnéticos (magnetita, ilmenita, hematites y silicatos alterados ferromagnesianos).
- Minerales diamagnéticos (zircones, monacitas, apatitos, leucoxeno, rutilo, scheelita, casiterita, oro y silicatos alumínicos)..

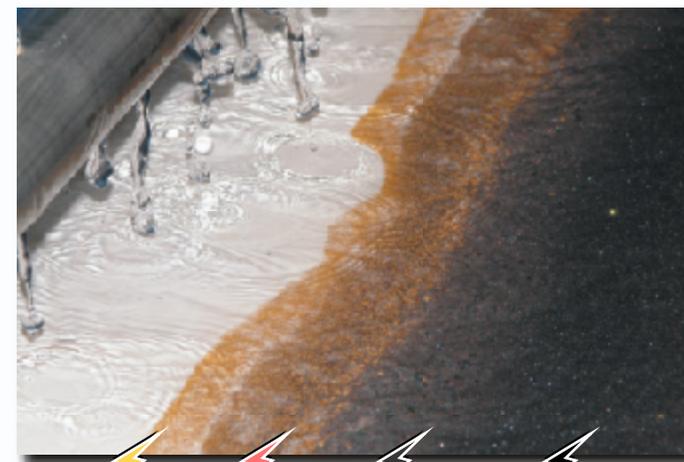


Mesa de sacudidas tipo Wilfley

# CONCENTRACIÓN MEDIANTE MESA DE SACUDIDAS



< 1 mm fracción



oro gold    circones zircon    magnetitas magnetite    ilmenitas ilmenite

**Tamizado y pesado**



**SEPARACIÓN SECUNDÁRIA:  
Fracción < 1 mm**

mesh ASTM	Abertura mm	mesh ASTM	Abertura mm
6	3,36	60	0,25
10	2,00	70	0,21
14	1,41	80	0,18
18	1,00	100	0,149
20	0,84	120	0,125
30	0,59	140	0,105
35	0,50	200	0,074
40	0,42	400	0,037
50	0,297		

**Fracciones Mesh ASTM:**

- Ø : 40
- Ø : 60
- Ø : 100
- Ø : 120
- Ø : 200

**Separación Magnética + pesada**



Minerales magnético

**Minerales magnéticos.**

Magnetita  
Pirrotina  
Cromita.

**Minerales paramagnéticos y diamagnéticos.**

**Separación electromagnética + pesada**

**Minerales paramagnéticos.**

**Minerales diamagnéticos.**



Separador Frantz Isodynamic

## SEPARACIÓN ELECTROMAGNÉTICA MEDIANTE UN FRANTZ ISODYNAMIC

Para una inclinación vertical dada de 15°, la separación en función de las distintas susceptibilidades se realizará mediante la ecuación siguiente:

$$X = \frac{20 \text{ Sen } \varnothing}{I^2} \times 10^{-6} \text{ C.G.S.}$$

en la que  $\varnothing$  es la inclinación lateral;  $I$ , la intensidad en amperios y  $X$  susceptibilidad magnética.

### Ejemplos:

1) a  $\varnothing = 15^\circ$ , el amperaje necesario para separar un mineral, como la "monacita" de susceptibilidad  $18,9 \times 10^{-6}$  C.G.S. (ver tabla), será de:

$$I = \sqrt{(20 \text{ Sen} 15^\circ \times 10^{-6} / 18,9 \times 10^{-6})} = 0,52 \text{ Amp.}$$

A partir de una inclinación dada y en función de este podremos separar en distintos lotes, diferentes minerales de susceptibilidad magnética similar. Así con una inclinación vertical y lateral de 15° e intensidad de 0,2 Amp. podremos separar desde  $\infty$  hasta  $125 \times 10^{-6}$  C.G.S., posteriormente de 0,2 a 0,5 Amp. y de 0,5 - 1 Amp. y superior a 1 Amp.

2) Minerales Magnéticos y Paramagnéticos del Río Segre (NE de España):

Minerales paramagnéticos

- < 0,15 Ámp: Magnetitas titaníferas, Ilmenitas, hematites virutas de hierro, esferulas magnéticas.
- 0,15 - 0,45 Ámp: Epidota, granates (grosularia, espesartina), turmalina, actinolita, otros ferromagnesianos

Minerales diamagnéticos > 0,45 Amp.

- Oro, circón, rutilo, casiterita, scheelita, apatito, anatasa, leucoxenos, silicatos aluminicos (andalucita, estauroлита, distena....)



*Fracción paramagnética*



*Fracción diamagnética*

## TABLA SOBRE LAS DISTINTAS SECEPTIBILIDADES MAGNÉTICAS ESPECÍFICAS.

MINERALES	S.M.E.	MINERALES	S.M.E.	MINERALES	S.M.E.
Grafito	-6,2	Calcopirita	0,4-7,0*	Fergusonita	16,0
Apatito	-2,64	Espinela	0,62	Monacita	18,9
Estibina	-1,9	Berilo	0,68	Horblenda	19-23
Blenda	-1,2	Cobalinita	0,82	Goetita	21-25
Yeso	-1,0	Dolomita	0,92	Piropo	21-50
Diamante	-0,49	Marcasita	1,0-4,0	Epidota	24(15-40)***
Cuarzo	-0,46	Elbaita(Turm)	1,0-9,0	Chorlo	25-31
Topacio	-0,42	Platino	1,02	Pirolusita	25-32
Aragonito	-0,41	Smithsonita	1,4-2,2	Piroxeno Fe	26-130
Bismutinita	-0,38	Rutilo	2,0-15,0***	Biotita	28-45
Calcita	-0,38	Mispiquel	3,3-8,0	Melanita	36
Galena	-0,38	Niquelina	3,8-12	Horblenda Fe	38-130
Ortosa	-0,376	Flogopita	5,0-8,0	Olivino Fe	45-80***
Corindón	-0,34	Paladio	5,53	Andradita	51-93
Celestina	-0,34	Bornita	8,0-14	Almandino	51-120
Estroncianita	-0,316	Molibdenita	8,5	Espinela Cr.	53-125***
Baritina	-0,31	Malaquita	8,5-15	Siderita	56-64*
Fluorita	-0,28	Lepidolita	8,9-46	Wolframita Fe	66-95
Plata	-0,21	Piropo Fe	10-20***	Aegirina	85
Covellina	-0,20	Grosularia	10-20***	Ilmenita	113-271***
Calcosina	-0,18	Turmalina Fe	10-22	Hematites	172-290
Oro	-0,14	Esfena	10-22***	Pirrotina	1.500-6.100
Oropimente	-0,10	Platino	10-25***	Ferroplatino	2.000-7.000
Casiterita	-0,08**	Pleonasto	10-25***	Magnetita	20.000-80.000
Osmio	0,0	Blenda Fe	10-25	Maghemita	1.000.000
Distena	0,01	Azurita	10,5-19*		
Circón	0,13	Grosularia Fe	13-47		
Cinabrio	0,2-1,9*	Hedembergita	15-25***		
Pirita	0,21	Actinolita	15-25***		
Iridio	0,22	Olivino	15-35***		

**S.M.E.: Susceptibilidad magnética específica  $10^{-6}$  C.G.S.E.M. (\*) Valor que parece demasiado elevado;(\*\*) Probablemente hay valores más elevados; (\*\*\*) Límites más probables de las variaciones. Los valores negativos corresponden a los minerales diamagnéticos.**

**Según Vaquero, (1974) modificado,**

## FLUORESCENCIA DE DISTINTOS MINERALES

R. Ultravioletas de onda corta (S.W: 2.500 Å) y larga (L.W). Caussier et Morer (1981). modificada

<i>MINERAL</i>	<i>U.V.</i>	<i>S.W.</i>	<i>U.V.</i>	<i>L.W.</i>
Autunita	amarilla verdosa		amarilla verdosa	
Anglesita	amarilla, rosa, blanca		amarilla, roja	
Anquerita	anaranjada		roja	
Apatito	amarillo,rosa, azul		rosa, amarillo, azul	
Axinita	azul clara, azul, roja		azul clara, azul, amarillo verdosa	
Baritina (P)	blanca		rosa, blanca	
Blenda (P)	amarilla		amarilla	
Calamina	amarillo pálido, azul		blanco, azul claro,amarillo claro	
Calcita ( P)	rosa,roja,roja anarnjada		rosa, roja	
Celestina (P)	amarilla,blanca,blanca azulada		blanca, amarilla, rosa	
Cerusita	amarillo, blanca		amarillo, blanca	
Corindón	rojo, azul claro, amarillo pardo		roja, azul claro, azul	
Diamante	azul claro, verde, amarillo		azul claro,verde, amarillo	
Distena	rojiza		rojiza	
Dolomía (P)	roja, blanca, azul claro		rosa, roja,blanca	
Espinela	roja		roja	
Espodumena	rosa, azul, azul claro		roja, rosa, azul	
Estroncian(P)	blanca, roja, azul, rosa		blanco, amarillo, verde	
Fluorita (P)	azul		azul	
Grosularia	rojo anaranjada		amarillo verdosa, roja	
Hidrocincita	blanca azulada			
Opalo	verdoso			
Powellita	amarillo		débilmente azul claro	
Piromorfita	amarilla			
Scheelita	blanco,azulada,azul, amarilla		anarnjado,naranja, amarilla	
Smithsonita	azul claro, blanco, rosa		azul claro, blanco, rosa-rojiza	
Torita			debilmente verde	
Topacio	amarillo, verde', roja		verde claro, rojo-rosácea	
Tremolita	amarillenta, rosa anarnjada, roja		amarillenta	
Willemita (P)	verde vivo		verde vivo	
Witherita	amarillo,blanco, rosa		rosa, amarillo anarnjada	
Wollastonita	débilmente amarillo rosácea		débilmente amarillo rosácea	
Zircón	amarillo, amarillo anaranjado		amarillo,amarillo,anarnjado, rosa	

P= Fosforescentes

## SEPARACIÓN MINERAL MEDIANTE LICORES DENSOS

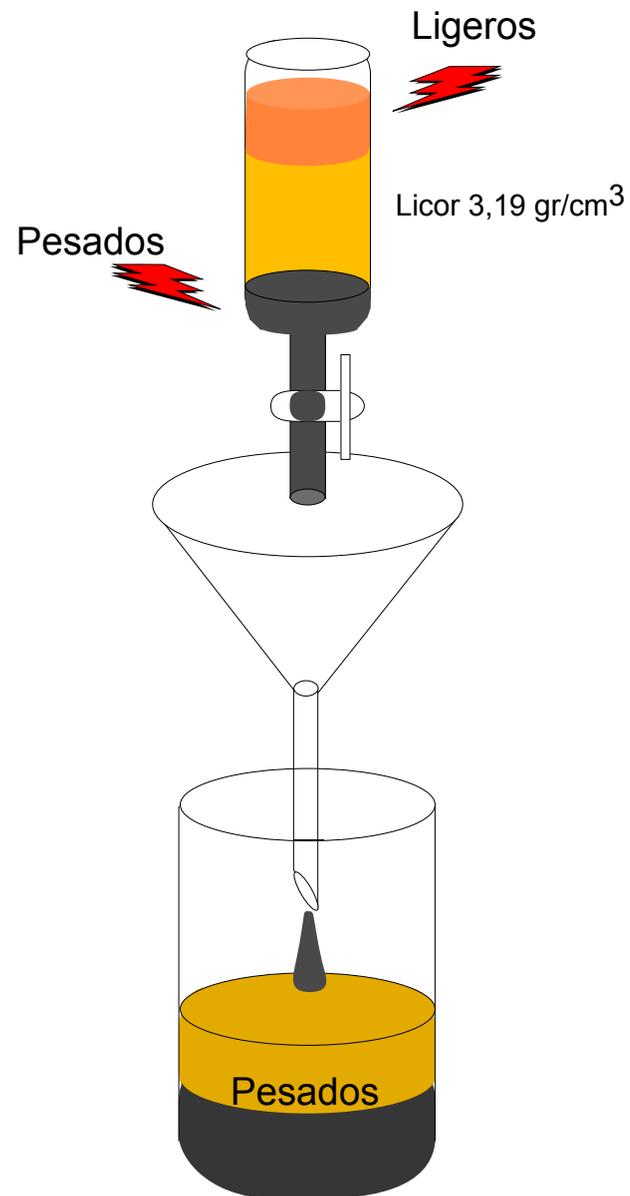
- *Bromoformo*:  $\text{CHBr}_3$  de densidad 2,9 que se diluye con éter sulfúrico o acetona. Vapores venenosos.
- *Tetrabromuro de acetileno/Tetrabromuro etano*:  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$  de densidad 2,95 - 2,96. Se diluye con toluol o xylol.
- *Ioduro de metileno*:  $\text{CH}_2\text{I}_2$  de densidad 3,3. Se diluye con benzol.
- *Licor de Thoulet*: solución de una mezcla equimolecular de  $\text{IK}$  y  $\text{I}_2\text{Hg}$  de densidad máxima de 3,19. Se diluye con agua destilada y para conservarla clara, se le añaden una o dos gotas de mercurio.
- *Licor de Rohrbach*: solución de una mezcla equimolecular de  $\text{I}_2\text{Hg}$  y  $\text{I}_2\text{Ba}$  de densidad máxima de 3,5. Se diluye con agua destilada, no obstante se altera y se enturbia muy rápidamente.
- *Licor de Klein*: solución de borotungstato de Cd, de densidad máxima de 3,28. Se diluye con agua destilada.
- *Licor de Clérici*: solución de una mezcla equimolecular de maleonato y de formiato de talio de densidad máxima en frío de 4,2 y de 5 en caliente. Se diluye en agua destilada.

De manera general, el empleo de soluciones de sales minerales presenta la ventaja de poderse diluir con agua destilada y de esta manera poderse recuperar más fácilmente y además, mojan mejor que los compuestos orgánicos. Para éstos hay que utilizar disolventes orgánicos que por su volatilidad son muy inflamables y venenosos.

Para conocer la densidad de los diferentes licores, se pueden utilizar métodos físicos tradicionales o minerales como testigos, tales como:

<b><i>Ortosa (2,53-2,58);</i></b>	<b><i>Calcita (2,7-2,8);</i></b>	<b><i>Dolomita (2,8-3);</i></b>	<b><i>Aragonito (2,93-2,94);</i></b>	<b><i>Fluorita (3-3,19);</i></b>
<b><i>Idocrasa (3,35-3,46);</i></b>	<b><i>Topacio (3,52-3,56);</i></b>	<b><i>Corindón (3,93-4,08);</i></b>	<b><i>Blenda (4,06);</i></b>	<b><i>Rutilo (4,15-4,45);</i></b>
<b><i>Monacita (4,90-5,30);</i></b>	<b><i>Magnetita (4,9-5,2).</i></b>			

## Densidad de distintas especies de minerales y elementos liticos en g/cm<sup>3</sup>



### MINERALES

Alunita	2,7	Anhidrita	2,9	Anglesita	6,3	Anquerita	3
Argentita	7,3	Arsenopirita	6	Azurita	3,8	Azufre	2,1
Baritina	4,5	Bauxita	2,6	Berilo	2,7	Bornita	4,9
Calaverita	9	Calcita	2,7	Casiterita	7	Cerargirita	5,6
Cerusita	6,5	Calcedonia	2,6	Calcosina	5,7	Calcopirita	4,3
Cromita	4,5	Crisocola	2,1	Cinabrio	8,1	Conalita	6,2
Columbita	6,2	Cobre	8,8	Covellina	4,6	Cuarzo	2,7
Cuprita	6,0	Dolomita	2,9	Enargita	4,5	Esfalerita	4,1
Espodumena	3,2	Estibina	4,6	Feldespato	2,6-2,8	Fluorita	3,1
Galena	7,6	Garnierita	2,3-2,8	Goetita	4,2	Grafito	2,2
Halita	2,2	Hematites	5,2	Ilmenita	4,8	Magnesita	3
Magnetita	5,2	Malaquita	4	Manganita	4,3	Molibdenita	4,8
Monacita	5,1	Moscovita	2,9	Nicolita	7,5	Oro	17,5
Oropimente	3,5	Pentlandita	4,8	Platino	19	Plata	3,9
Proustita	5,6	Psilomelana	4,2	Pirargirita	5,8	Pirita	5
Pirocloro	4,3	Pirolusita	4,8	Piroxeno	3,3	Pirrotina	4,7
Rodocrosita	3,5	Rodonita	3,6	Rutilo	4,2	Scheelita	6
Sericita	2,6	Siderita	3,9	Silvanita	8,1	Silvita	2
Tenantita	4,5	Tetahedrita	4,8	Titanita	3,5	Torita	4,6
Tumalina	3,1	Turquesa	2,7	Wolframita	7,4	Zircón	4,5
Yeso	2,3	Esmitsonita	4,4				

### Elementos Liticos

Andesita	2,4-2,8	Arcilla	2,2-2,6	Arena	1,7-2,0
Arenisca	2,0-3,2	Basalto	2,7-3,2	Caliza	2,7-2,8
Diabasa	2,8-3,1	Diorita	2,7-2,9	Dolomita	2,7-2,8
Esquisto	2,6-3,0	Filita	1,6-2,9	Gabro	2,9-3,1
Gneis	2,7-2,8	Granito	2,6-2,7	Grava	1,6-2,0
Marmol	2,6-2,9	Peridotita	3,2-3,4	Pizarra	2,8-2,9
Riolita	2,2-2,7	Sienita	2,6-3,9	Traquita	2,5-2,8

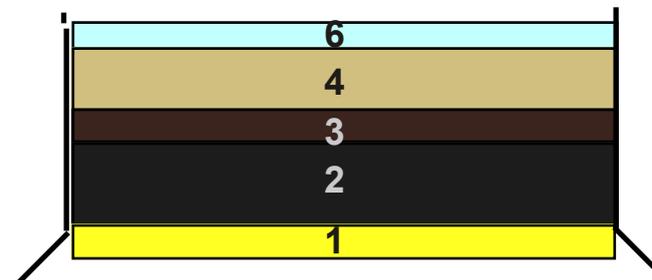
**La separación de minerales o fracciones de densidad superior a 4, se pueden realizar de dos maneras:**

Mediante la utilización del Licor de Clerici o mediante la utilización de cribas, siempre que los granos a separar sean superiores a 0,125 mm o malla de 120 mesh ASTM y de densidad próxima 3,3 g/cm<sup>3</sup>.

En efecto: la porción de pesados del concentrado se clasifica en diversos lotes mediante mallas de 30,40,60,90 y 120 mesh ASTM, añadiendo a cada lote una elevada proporción de granos del mismo calibre de un mineral auxiliar magnético (magnetita) o paramagnético, pero siempre de permeabilidad magnética muy superior al de los minerales a separar así como con una densidad intermedia a estos. El volumen de cada mezcla preparada deberá ser sensiblemente igual a la mitad del volumen de la criba.

Seguidamente se efectúa la operación de cribado o “jigado” de tal manera que se puedan separar uno de los minerales de los auxiliares.

**SEPARACION MINERALOMETRICA DE MINERALES DE DENSIDAD SUPERIOR A 4 g/cm<sup>3</sup>**



A partir de esta operación, el mineral más pesado (1) caerá sobre la tela, formándose una capa con mineral pesado mezclado con el auxiliar (2), seguido de otra capa (3) con mineral auxiliar, otra (4) de mezcla de mineral auxiliar y ligero y finalmente (6) con tan solo ligeros. La operación consistirá pues en separar las capas 6 y 4, hasta la 3, extraer el concentrado de las capas 1, 2 y 3 y separarlas mediante un electroimán o un imán en función de la naturaleza de sus compuestos. Mediante esta operación podremos separar la monacita (5,1) de la epidota (3,4) utilizando como auxiliar, la cromita (4,4). Podemos separar con precisión la casiterita (7), la monacita (5,1) y el circón (4,7), utilizando magnetita (5,2). Se elimina en las capas superiores todo el circón y casi toda la monacita quedando en la criba un poco de monacita, magnetita y casiterita, la magnetita se separará mediante el imán, la monacita con un potente electroimán y quedará la casiterita. Sucesivamente se podrán hacer numerosas combinaciones para separar la volframita (7,3) de la columbotantalita o columbita (5,7), utilizando scheelita (6,0).

## Ensayos microquímicos y Técnicas Analíticas

- La Casiterita, mediante una mezcla del mineral a identificar con limaduras de cinc, se atacan con HCl, y se desprende hidrógeno que reduce al  $\text{SnO}_2$  en Sn metal de color metálico característico.
- La Baritina presenta pátinas amarillentas de  $\text{BaCrO}_4$ , al hervir ésta con una mezcla de  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  y  $\text{Cr}_2\text{O}_4\text{K}$ .
- La Wolframita se diferencia de los otros opacos, al formar pátinas de color verde amarillento al hervir CIH diluido junto a pequeñas cantidades de  $\text{NO}_3\text{H}$  y  $\text{WO}_3$ . También se puede diferenciar al ser atacada por  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  y dar lugar a scheelita que puede determinarse por la lámpara U.V.S.W..
- El color de la Scheelita se halla en función de su contenido en Mo que da colores amarillentos cuando éste elemento se halla en cantidades superiores al 0,5%, si se le añade CIH y pequeñas cantidades de  $\text{Cl}_2\text{Sn}$ , recuperará su color azul brillante.
- La Cromita, podrá diferenciarse de la magnetita e ilmenita al hacerla hervir con CIH.
- La presencia de Manganeso se detectará mediante su solubilización con  $\text{H}_2\text{O}_2$ .
- El reconocimiento de minerales secundarios de Pb tales como: anglesita, cerusita y piromorfita, se determinará siguiendo la misma técnica de reducción por el hidrógeno ya mencionada por la casiterita.

Las técnicas analíticas más utilizadas para el análisis de los minerales pesados en general y oro en particular son:

a) técnicas no destructivas: Fluorescencia de Rayos X (Sagon et al. Op. Citada); Activación Neutrónica (Hoffman & Brooker, 1982) y amalgamación mediante mercurio (para el oro).

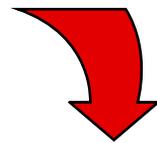
b) técnicas destructivas que se basan principalmente en el ataque mediante agua regia y análisis posterior utilizando técnicas de Espectrofotometría de Absorción Atómica (llama convencional y cámara de grafito) y Plasma convencional o MS (Espectrógrafo de masas). Estas técnicas analíticas pueden también utilizarse, principalmente la EAA después de una cianuración de la muestra (Fletcher & Horsky, 1988). Para los platinoides utilizaremos la copelación.

## OTROS METODOS DE SEPARACION

Separadores gravimétricos con agua.



*Separador gravimetrico KC MD3*



Concentrado de Oro



*Separador de sacudidas y aire*



Separacion manual (lupa binocular)

# Lixiviación de la fracción diamagnética para recuperar el oro fino

Ataque mediante agua Regia:  
 $4 H_2O + 1 HNO_3 + 4 HCl$



3 Partes de Agua Destilada



1 Parte de Acido Nítrico



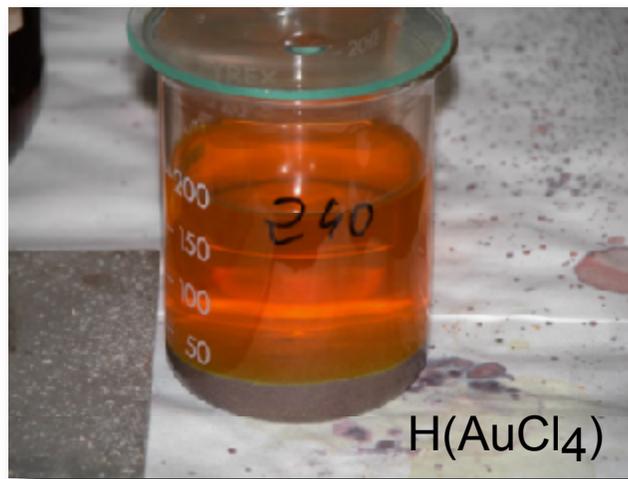
4 Partes de Acido Clorhídrico

**FILTRADO**

Residuo de minerales pesados y cloruro de plata

Oro en solución

Filtrado



Ataque finalizado  
(el oro en forma de complejo)



Oro en solución



Fracción diamagnética sin oro

Reducción del oro

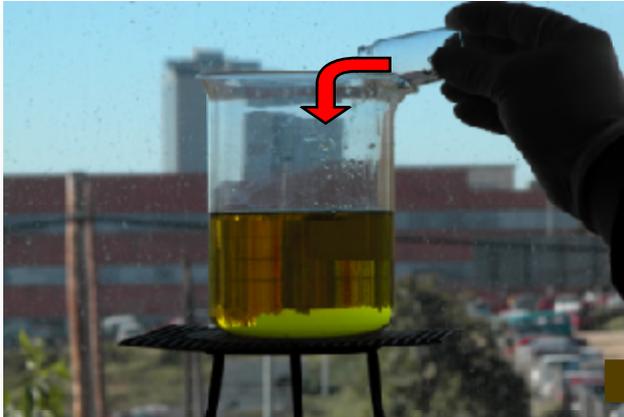
# REDUCCIÓN DEL COMPLEJO CLORURADO A ORO FINO

Reduccion mediante: Hidracina o Cloruro ferroso o Ácido sulfuroso

A. Complejo clorurado de oro



B. Adición del Reductor



C. Inicio de la Precipitación del oro



D. Precipitación del oro

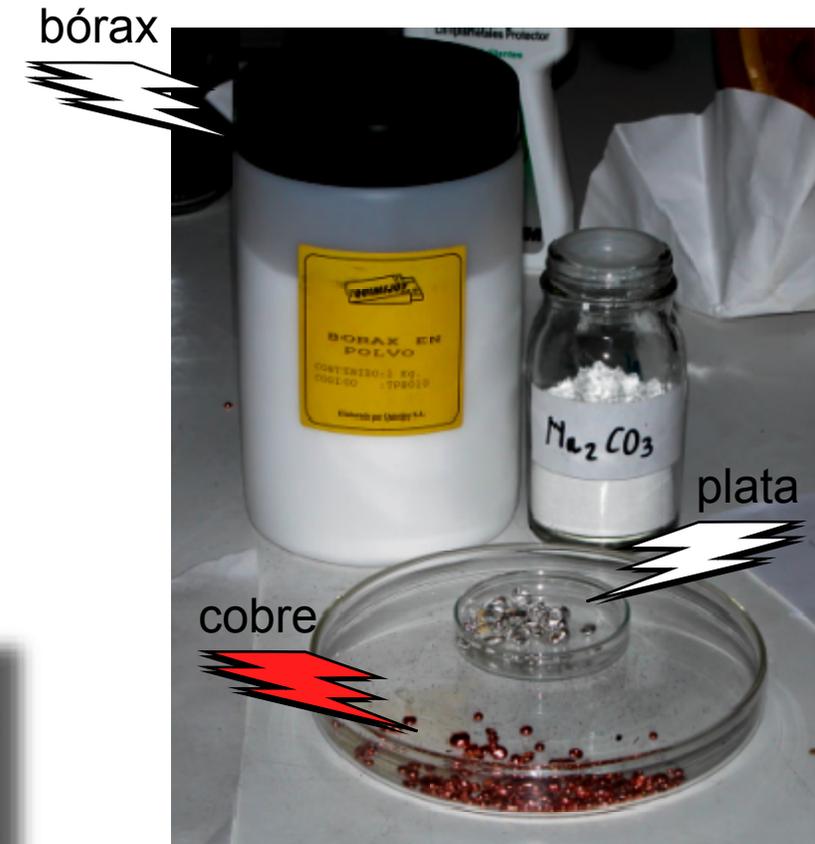


E. Oro precipitado



# ELEMENTOS PARA LA FUSIÓN - COPELACION

- Energía: lanza térmica a gas propano
- Crisoles
- Fundentes: Bórax y Carbonato de sodio
- Aleantes: plata y cobre



Lanza térmica



HORNO



Crisoles

Suelo y aluvios algo ricos

Nivel pobre < 0,03 g/m<sup>3</sup>

Nivel rico > 0,8 g/m<sup>3</sup>

Veneros > 2,3 g/m<sup>3</sup>

Marmita rica

Substrato < 0,003 g/t



## UNIDADES DE LEY O DE MEDIDA DE METALES PRECIOSOS Y GEMAS

### El Quilate Milésimas

- El nombre quilate tiene su origen en una antigua moneda arábica que equivalía a la veinticuatroava parte de una onza. Esto quiere indicar una unidad de medida de oro de una pieza o ley.

- La milésima es una unidad moderna de medida.

#### Ejemplos:

- una pieza de oro de veintidós quilates contiene un 91,6666% de oro y el resto otros metales o bien 916,6666 milésimas.

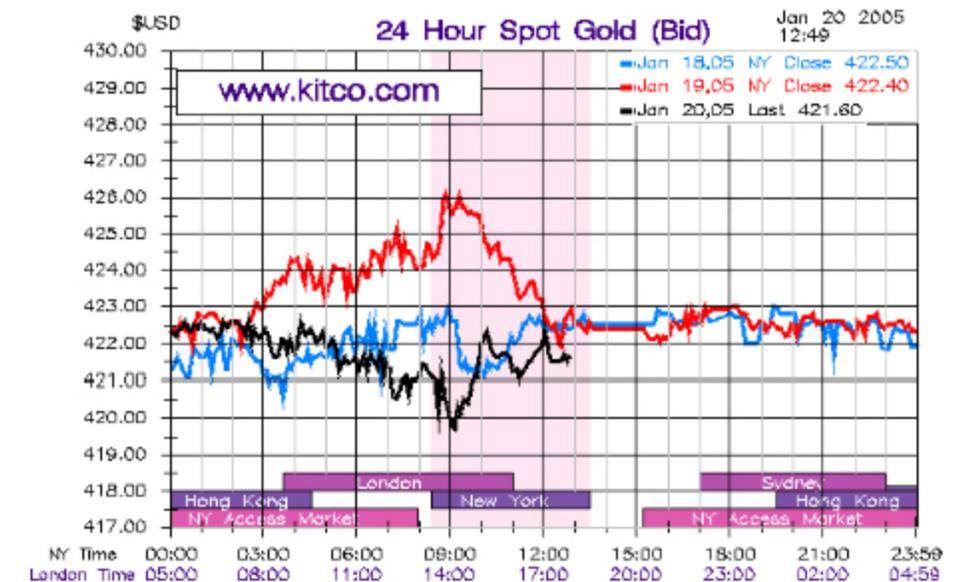
- una pieza de oro de 18 quilates contiene el 75% de oro y el resto otros metales como cobre, plata, platino, etc. o también puede denominarse una pieza de 750 milésimas.

### La onza troy El gramo El quilate métrico

## UNIDADES DE LEY DE MEDIDA

- La onza Troy es una unidad de peso que equivale a 31,10348 gramos y es la unidad utilizada a nivel internacional para determinar el valor del oro. El mercado de Londres fija el valor cada día en US\$ onzas Troy y se trata siempre de oro de 999,99 milésimas.

- El Quilate métrico (CM) es una unidad de peso para las gemas o piedras preciosas y esta unidad equivale a 0,2 gramos.



Cotizaciones bolsa de londres

## ESTIMACIONES y CÁLCULO DE LEYES

Los placeres de oro, por su efecto “pepita” o efecto errático de las partículas son difíciles de estimar, principalmente cuando aparece oro pepítico en poca cantidad pero suficiente para dar una ley de corte o ley explotable s.s.

Lo más práctico es analizar enteramente los concentrados de batea, aproximadamente de 50 a 100 g. Clifton et al (1969 ) y Harris (1981), nos indica que un aluvial con 20 partículas si su concentración es de 1 g/t, se necesitan 25 g; si la concentración es de 250 mg/t, se necesitarán 100 g y si esta es de 60 mg/t, necesitaremos 200 g.

En cuanto a técnicas, la de mayor precisión, es la separación física del oro y su pesada posterior, si esto no es posible, podemos actuar mediante el método. para el oro y el cinabrio, de Chaussier et Morer op. cit.. Este propone un método empírico que permite cifrar las trazas teniendo en cuenta el diámetro medio de los granos. Para ello cada partícula se mide mediante la lupa binocular o microscopio metalográfico, estimándose el diámetro medio en décimas de milímetro y sumando los distintos diámetros de los diferentes granos. La equivalencia es aproximadamente la siguiente para los granos inferiores a 0,5 mm y con un diámetro medio de 0,3 mm:

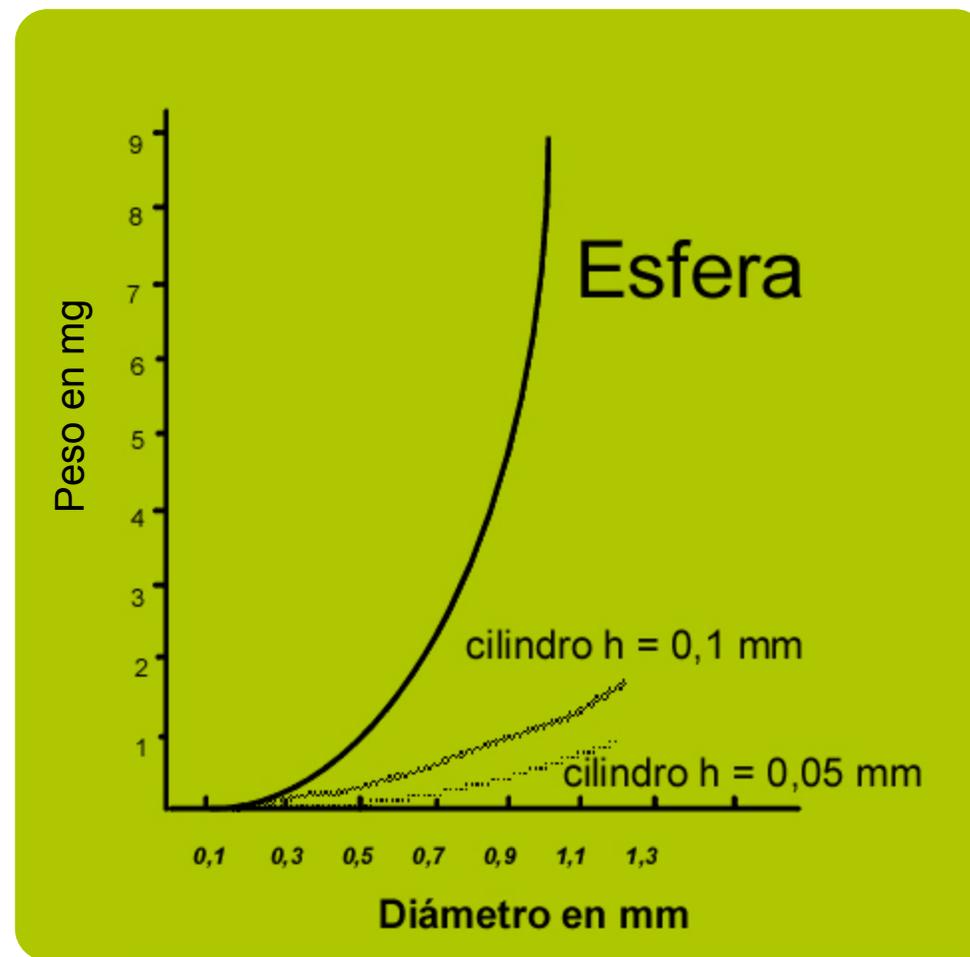
**oro: 550 décimas de mm equivalen a 0,1 g**

**cinabrio: 900 décimas de mm equivalen también a 0,1 g.**

este tamaño de partículas es el que hemos denominan polvo de oro y son inferiores a la malla de 40 mesh ASTM con pesos inferiores al mg.

Este método en décimas de milímetro, parece presentar buenos resultados ya que para 10 litros de arenas lavadas obtenemos una adición de 5,5 mm de oro, la ley recuperable mediante batea será de 1 g/m<sup>3</sup>.

Otro similar es el que propone Clifton et al. Op. citada en la que relaciona el tamaño de partícula en función de su diámetro, teniendo en cuenta que este es 10 veces superior al espesor de la partícula o lámina. Así por ejemplo tenemos que una partícula esférica de 0,016 mm  $\approx$  0,031 mm de una lámina y su peso en un 1Kg de muestra se situaría entre 0,00025 - 0,001 ppm. (ver gráfico).



*Relación entre el peso y el diámetro para unas esferas y unas partículas cilíndricas. Sagon et al (1985).*

Sagon et al (1985), proponen un método con ciertas modificaciones a lo ya indicado en el apartado anterior ya que consideran que los resultados observados tan solo son válidos para partículas en forma de esferas, ya que cuando las partículas son cilíndricas, la mayoría de los casos, estas proporciones no se mantienen.

### **CALCULO DE LEYES (Thiebaut, 1954)**

Según el autor, la ley de un aluvión corresponde a:  $ley = (I_a * h_a + I_b * h_b) / (h_a + h_b)$  en la que  $I_a$  es la ley del aluvión;  $h_a$  la potencia en metros del aluvión;  $I_b$ : es la ley del bed-rock;  $h_b$  la potencia del bed rock.

Si en el aluvión hay “boulders o bloques” tendremos que:  $ley = (I_a * h_a * (1-R) + I_b * h_b) / (h_a + h_b)$  en la que R es la proporción de “boulders”. En este caso es aconsejable hacer un cálculo a parte del bed-rock.

## Cálculo de leyes (Chaussier et Morer) : $ley = p * N/n; I = p * V * k/v$

$I \approx$  ley en gramos o quilates por metro cúbico

$p \approx$  peso en gramos o quilates recogidos en la muestra lavada

$n \approx$  número de bateas lavadas

$N \approx$  número de bateas por  $m^3$  (150 bateas de 8 litros)

$v \approx$  litros lavados

$V \approx$  volumen de referencia (1.000 litros)

$K \approx$  coeficiente de volumen o número de litros de aluvión que corresponderían a un litro de éste in situ.

Para determina el volumen de aluvión en un pozo, siendo éste arenoso y el pozo regular, se calculará a través de la fórmula de un tronco de pirámide:

$$V = X * (S_s + S_i + \sqrt{(S_s * S_i)})/3$$

en la que  $x \approx$  espesor del aluvión;  $S_s \approx$  superficie de la parte superior y  $S_i \approx$  superficie de la parte inferior.

La ley límite de explotabilidad se hallará en función de: **gastos generales de dirección; gastos de ocupación: expropiación o indemnización, construcción de pistas, edificaciones, conducciones de agua, electricidad, obra civil en general etc.; gastos de extracción, transporte y tratamiento; gastos de amortización; ratio de descubierta o relación estéril-mena.**

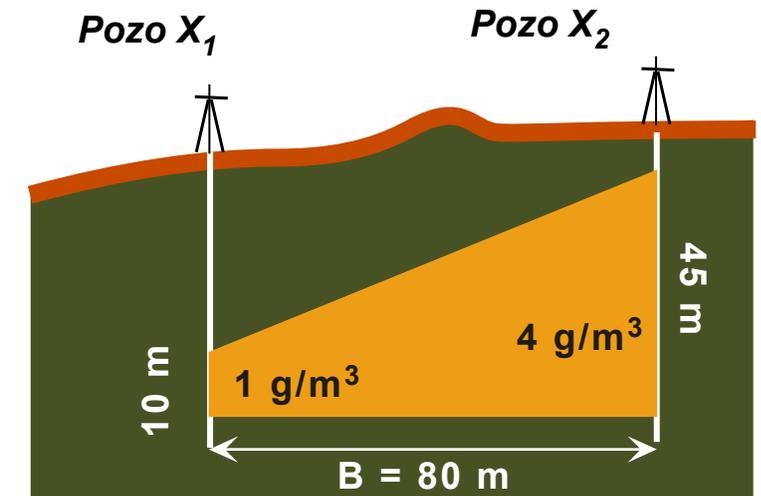
La ley deberá ser tanto mayor cuanto mayor sea la relación  $h_s/h_a$  en donde  $h_s$  es la potencia del estéril y  $h_a$  la potencia del aluvión rico, por tanto podemos establecer la ley de explotabilidad:

$$ley = h_a * I/(h_a + 1/3(h_s)).$$

## Cálculo de leyes (Reedman, 1979)

La ley media de un placer, puede determinarse mediante la media ponderada. Si consideramos del ejemplo de la figura, la sección vertical a través de dos sondeos ( $x_1$  y  $x_2$ ), y queremos conocer la superficie mineralizada en Cu entre ambos sondeos, así como asignarle una ley media.

La superficie simple será:  $S = 1/2(x_1+x_2)*B = 2.200 \text{ m}^2$



La ley se determinará tomando la media de las dos intersecciones:  $(1 \text{ g/m}^3 + 4\%)/2 = 2,5 \text{ g/m}^3$ . No obstante en este caso esta media es falsa ya que la intersección  $x_2$  contribuye mucho más a la ley de bloque que  $x_1$ .

Un camino más apropiado para determinar la ley media, es el denominado "metro%", en donde la ley media viene determinada por:  $\text{ley} = \frac{\sum P.T}{\sum T}$  en donde P, es la ley de una intersección, y T, el espesor real de esta. En el ejemplo de la figura, tendríamos:

$$\text{ley} = \frac{(10*1)+(45*4)}{(45+10)} = 3,45 \text{ g/m}^3$$

Otro método para determinar la ley media, es el denominado "Porcentajes" en donde:  $\text{ley} = \frac{(\sum P.T/T + \sum P)}{3}$  siendo en este caso de =  $2,82 \text{ g/m}^3$

En este ejemplo hemos observado también, una correlación positiva entre ley y potencia ( $x_2$  es la más potente y presenta la ley más elevada). Si cambiamos las leyes de las intersecciones  $x_1$  y  $x_2$  ( a la inversa), obtendremos una correlación negativa con una media simple de también 2,5%. Para el método del "metro %", la media sería de  $1,55 \text{ g/m}^3$  y para el método del "porcentaje", de  $2,18 \text{ g/m}^3$ .

A través de lo observado, la media simple no se utilizará casi nunca ya que da dos valores iguales tanto si la correlación es positiva como negativa. No obstante, si bien el método "metro %" es el más extensamente usado ya que nos muestra medias altas para correlaciones positivas y bajas en las negativas, es preferible el método de los "porcentajes".

Antes de evaluar las reservas de un placer por los métodos que enumeraremos, es imprescindible definir la ley mínima que deberá de ser incluida. Esta, generalmente vendrá dada en gramos o quilates por un volumen (metro cúbico).

Esta ley es conocida como “ley de Corte” o “Cut-off Grade” y el valor que para ella se elije es por lo general algo mas bajo que la ley mínima económica.

Es obvio que pequeñas variaciones en esta ley, pueden aumentar o disminuir las toneladas u onzas troy. de metal de un yacimiento y en consecuencia sus posibilidades económicas. Podría ser más atractivo una ley baja pero con elevado tonelaje metal que una ley elevada pero con tonelaje metal bajo. Un caso que estamos desarrollando son los minerales densos que se recuperan como subproducto de las graveras o plantas de áridos. Una gravera con leyes de oro medianas o altas pode no ser rentable a causa del bajo volumen de producción de su elemento principal, los áridos y viceversa.

Para ello se ensayarán diversas leyes de corte para poder sacar un mejor rendimiento del yacimiento.

Varios ejemplos de placeres en el que se observan diferentes reservas, tonelajes y leyes en función de la ley de corte. La tabla nos ayudarán a comprender el problema.

RESERVAS (000) t	Ley g/tonelada de oro	Ley de Corte	Toneladas
957	0,70	0,1	6.699,0
749	0,84	0,3	6.291,6
435	1,14	0,6	4.959,0

## FACTOR TONELAJE

Para pasar de un volumen mineralizado al toneladas, es necesario multiplicar el primero, por un factor que se denomina **Factor Tonelaje**.

En m<sup>3</sup> el factor tonelaje es simplemente la densidad. Esta densidad deberá ser determinada experimentalmente en el laboratorio mediante una balanza, teniendo en cuenta :

$$\frac{\text{Peso en el aire}}{\text{Peso en el aire} - \text{Peso en el agua}}$$

Pueden existir grandes diferencias en el factor tonelaje en diversos tipos de placeres. Estas son debidas a las gangas de minerales como magnetitas, baritinas, ilmenitas y principalmente de minerales calcosilicatados y ligeros.

El factor tonelaje, también varía con la ley y es importante poder seleccionarlo con la ley media de los depósitos. Por lo tanto durante los trabajos de ensayo se deberá tomar la densidad de cada muestra junto a la ley de forma correcta. Sobre estos factores situados en un diagrama, se podrán trazar la recta de regresión siempre que la correlación sea buena. Los coeficientes de correlación de la línea de regresión vendrán determinados por la fórmula clásica de:

$$y = bx + a$$

Para depósitos eluviales y aluviales el factor tonelaje es aún más complejo de determinar debido a la variabilidad de cada depósito, grado de compactación, tamaño de grano, contenido en agua, etc.

Por dicha razón la mayoría de las veces en los placeres las reservas se determinan por volumen: g/m<sup>3</sup>; quilate/m<sup>3</sup>; Kg/m<sup>3</sup> etc. y por mineral: oro, casiterita, monacita, ilmenita, circón, diamante o gemas en general, etc.

## a) Método Sobre el Plano

## b) Método Transversal

### METODO SOBRE EL PLANO

Este método se basa sobre la asignación de un área de influencia alrededor de cada sondeo. Así por ejemplo los más conocidos son :

**a). Bloques regulares.** Estos se obtienen subdividiendo al cuerpo mineralizado en bloques rectangulares. Si los sondeos se hallan regularmente espaciados, las figuras serán cuadrados cuyos centros serán los sondeos y los lados la equidistancia entre estos.

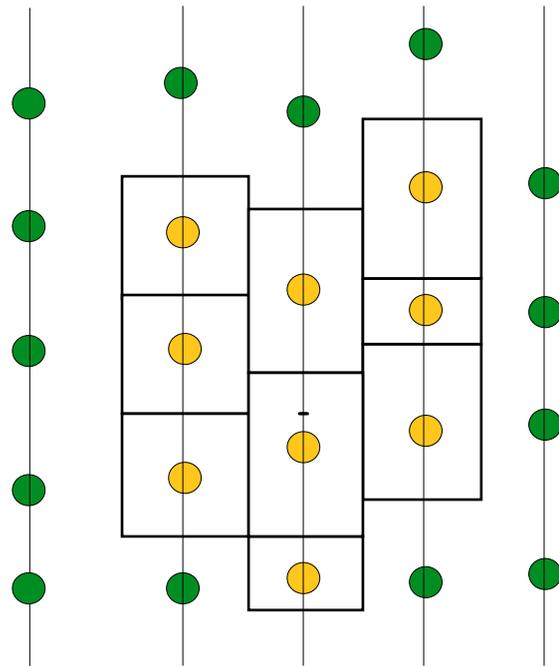
Si los sondeos se hallan espaciados de forma irregular, el tamaño de los rectángulos y cuadrados, se harán de forma arbitraria.

**b). Método Poligonal.** En éste, el tamaño/s del polígono de influencia de los sondeos se obtendrá mediante la unión de los puntos de intersección de las bisectrices de los ángulos.

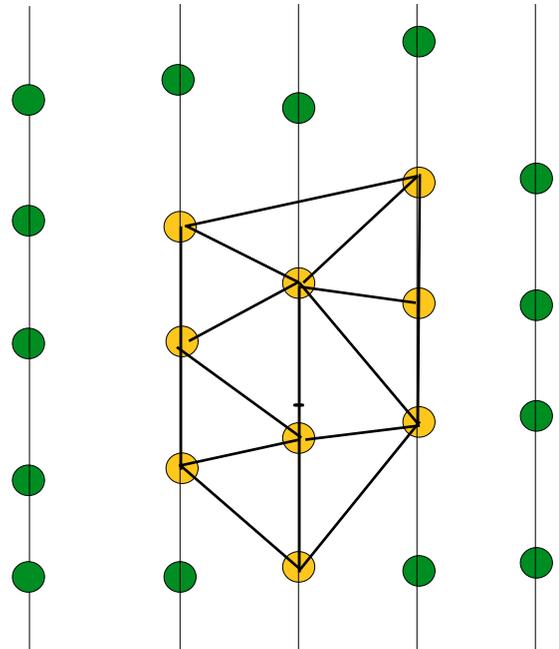
Otro método poligonal, se obtiene uniendo los puntos de interferencia de las perpendiculares de las líneas de unión de los sondeos o pozos.

En ambos métodos poligonales, la potencia y la ley del aluvión , se determina por el sondeo o pozo central.

El área de influencia determinada por ambos sub - métodos sobrevalora al conjunto si la correlación es positiva y lo infravalora en el caso contrario. Este problema se puede solventar utilizando el método triangular.



a) BLOQUES REGULARES

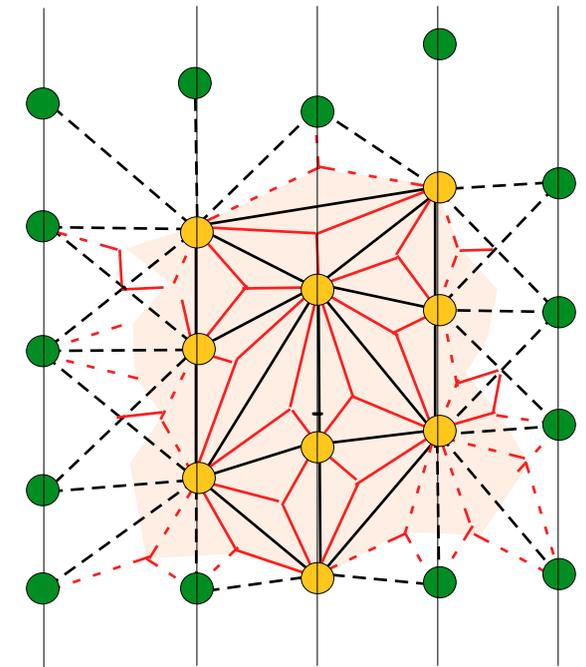


d) METODO TRIANGULAR (Bisectriz)

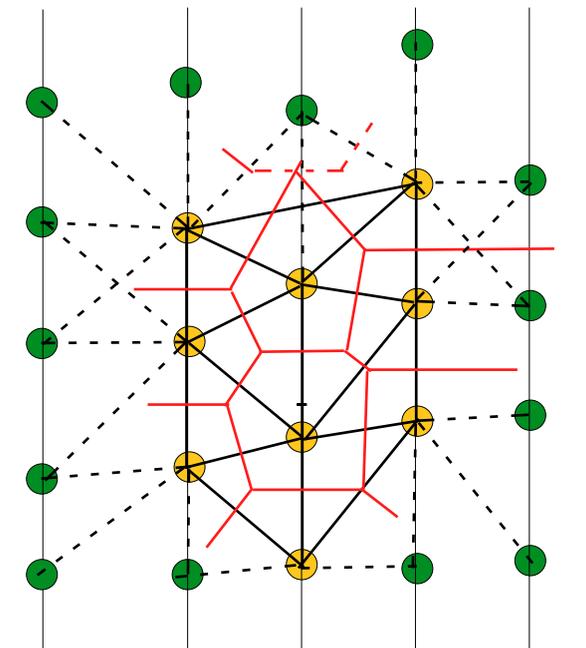
LÍNEA DE POZOS



- POZO POR DEBAJO LA LEY DE CORTE
- POZO POR ENCIMA LA LEY DE CORTE

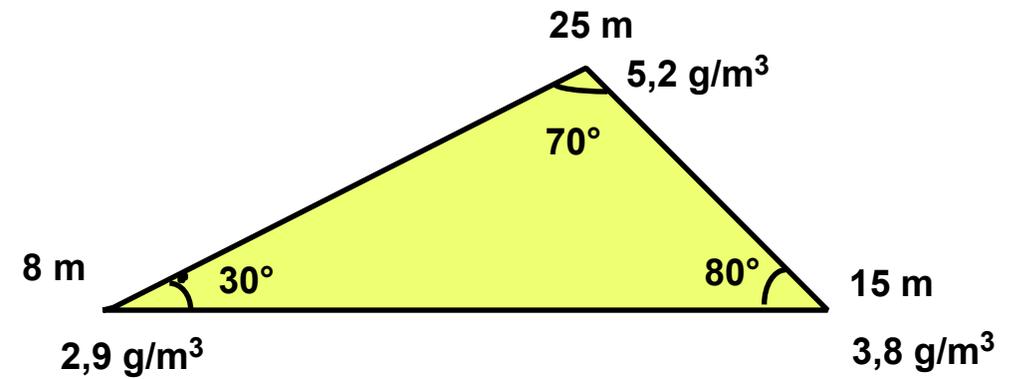


b) METODO POLIGONAL (Bisectriz)



c) METODO POLIGONAL (Mediatriz)

### c) Método Triangular. Reedman, 1979



En este método, el área se subdivide en triángulos mediante la unión de tres sondeos o pozos y la ley puede determinarse por el "metro %" o por el del "porcentaje".

La fórmula para tres dimensiones sería:  $ley = (\sum P.T / \sum T + \sum P) / 4$

el espesor medio, puede determinarse como media simple de los tres sondeos. En el ejemplo de la figura tenemos que la ley mediante el "metro %" sería:

$$8 \cdot 2,9 + 25 \cdot 5,2 + 15 \cdot 3,8 / (8 + 25 + 15) = 4,38 \text{ g/m}^3$$

mientras que la potencia sería de:  $(8 + 25 + 15) / 3 = 16 \text{ m}$

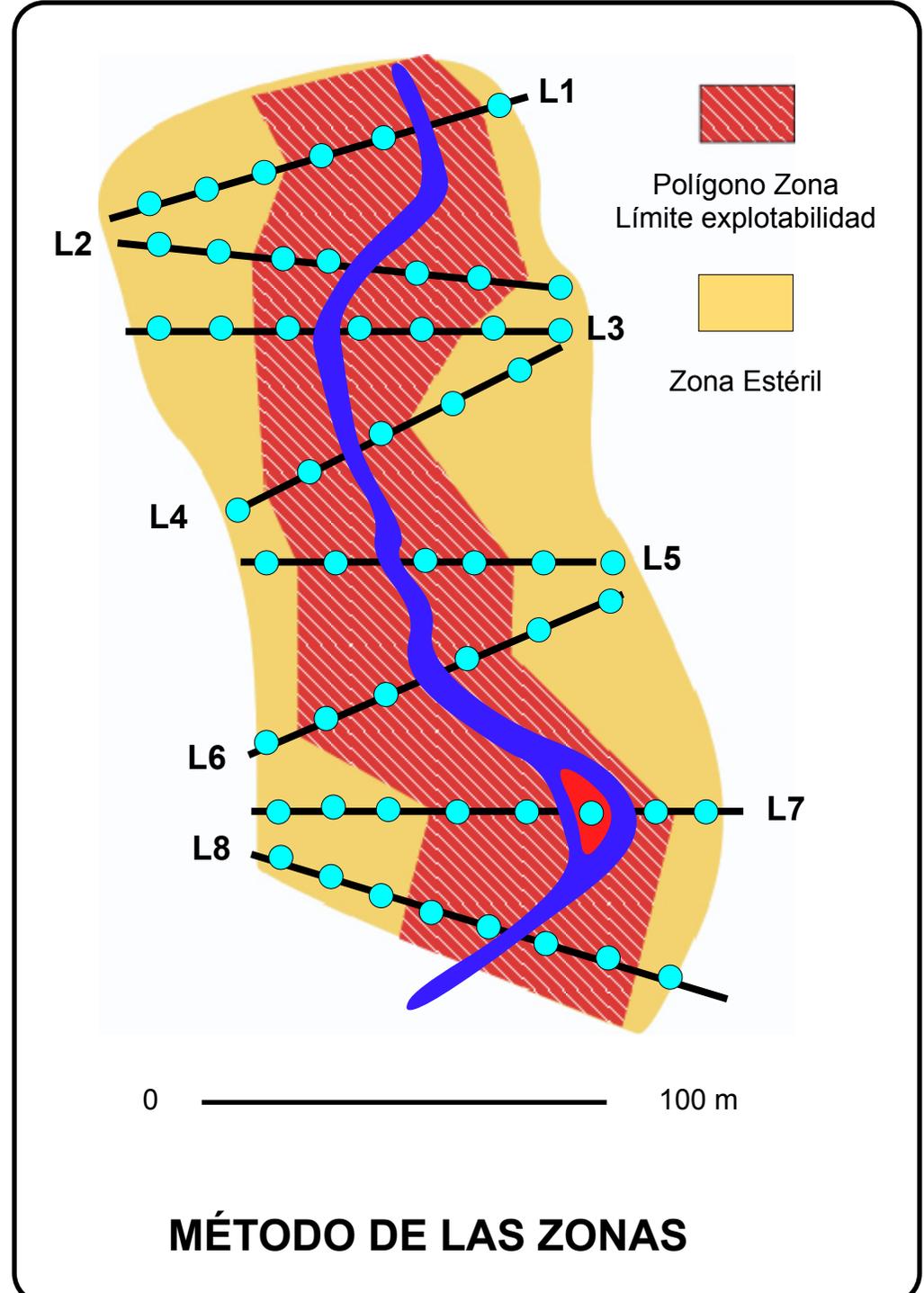
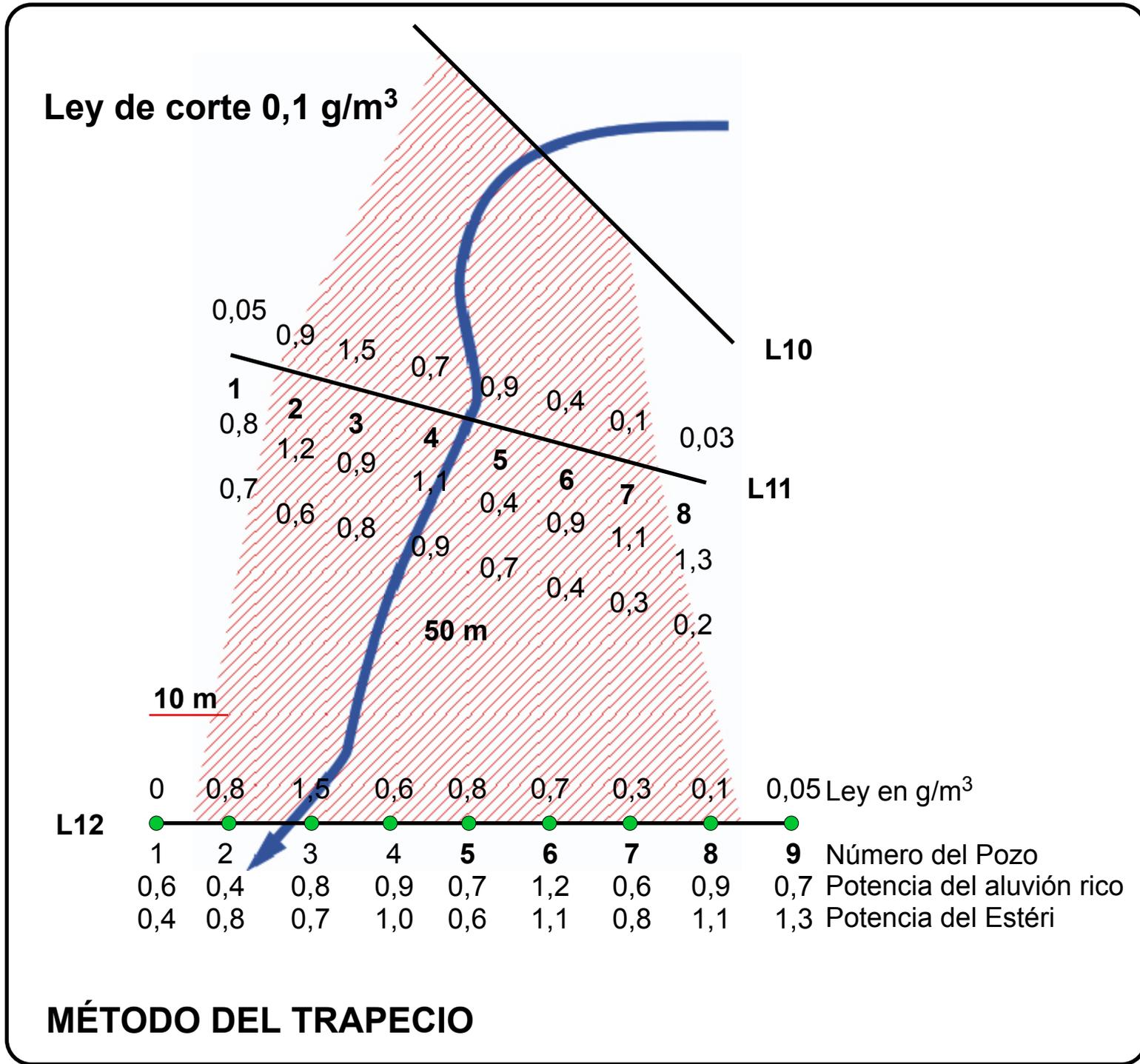
Por el método del "porcentaje" sería:  $(8 \cdot 2,9 + 25 \cdot 5,2 + 15 \cdot 3,8) / (98 + 25 + 15) + (2,9 + 5,2 + 3,8) / 4 = 4,07 \text{ g/m}^3$

Este método puede mejorarse, ponderando los valores de cada punto de sondeo o pozo al tamaño de su ángulo. Este factor ponderal viene determinado por:  $(8 \cdot 30 / 60 + 15 \cdot 80 / 60 + 25 \cdot 70 / 60) / 3 = 17,72 \text{ m}$

la ley será entonces de  $4,5 \text{ g/m}^3$  para el "metro %" y de  $4,2 \text{ g/m}^3$  para el de "porcentajes".

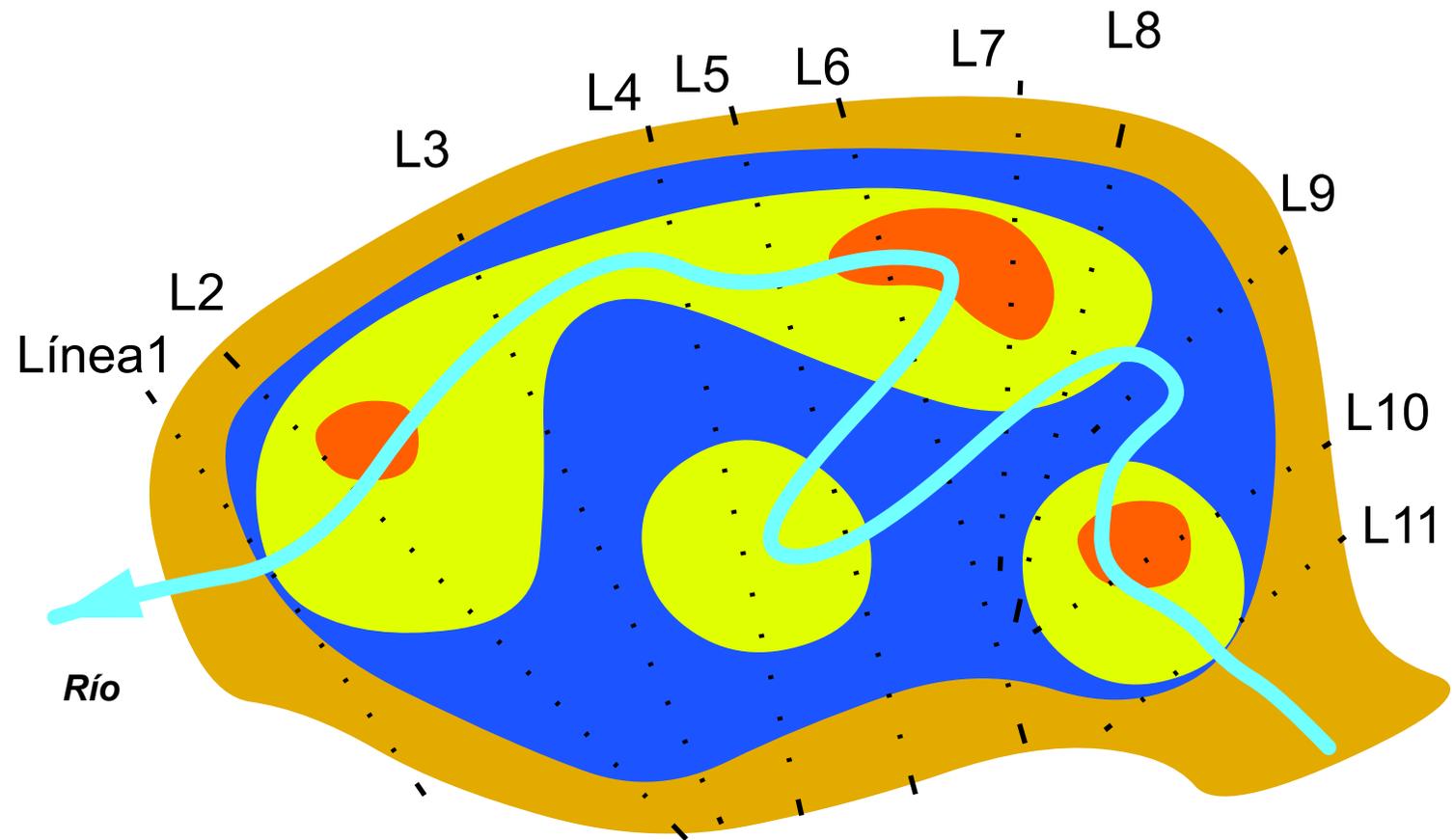
El método triangular es mejor que el de áreas de influencia siempre y cuando exista correlación entre ley y potencia. Para la ley media es también mejor el de "porcentajes" si existe correlación. En el caso contrario, se aplicará el del "metro %".

# EVALUACIÓN DE PLACERES



En función de la ley de corte, se puede realizar una valoración mediante estructuras de tipo trapezoidal o por zonas, tal como se observa en las figuras adjuntas

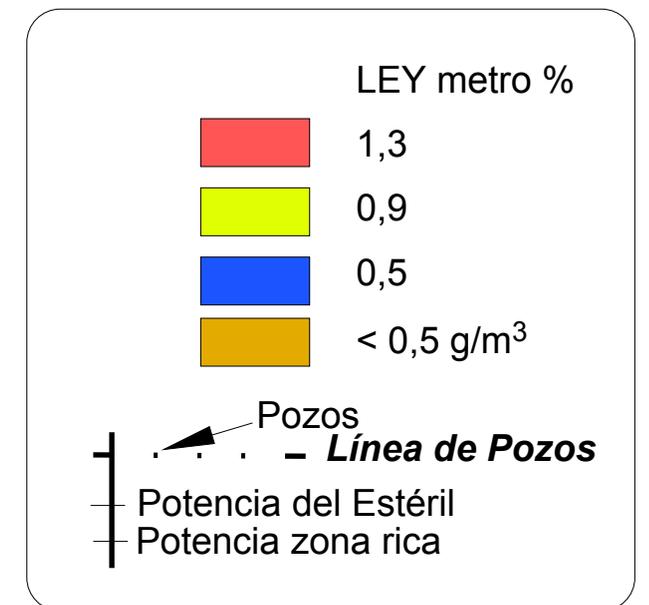
**MÉTODO DE ISOCONTENIDOS:  
método Planar o de GILMOUR (1964).**

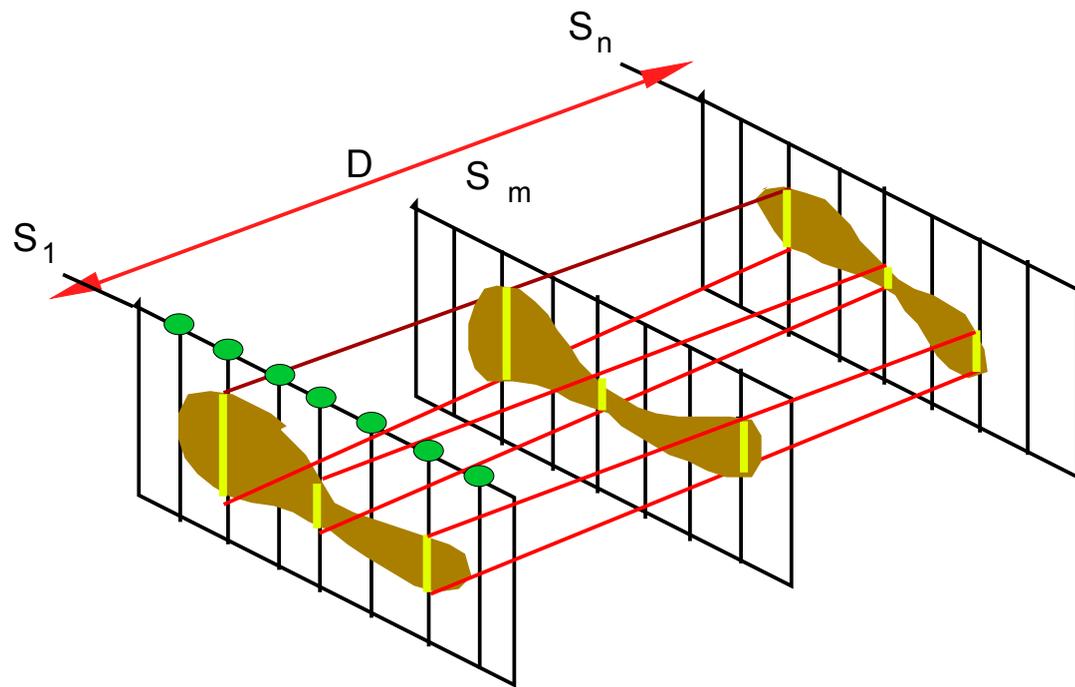


Este método también denominado de contornos, es simple y da buenos resultados. En este método se dibujan sobre el plano dos contornos, uno mostrando la potencia y su variación (isopacas) y en otro el del “metro %”.

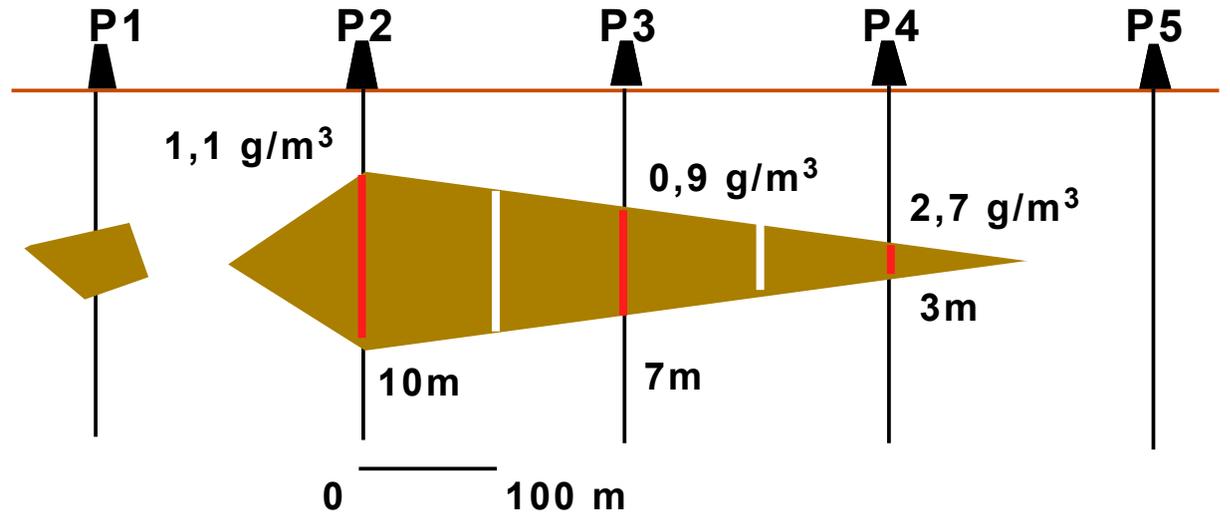
El cálculo de las reservas de las áreas entre contornos en el plano de isopacas, se determinará mediante un planímetro. Cada área se multiplicará por la media respectiva de la potencia de los contornos. La suma de los valores así obtenidos dará el volumen total de los cuerpos mineralizados y si se multiplican por el factor tonelaje correcto, nos dará las reservas del cuerpo.

Para calcular la ley media, el mapa resultante de “metro %”, se tratará de la misma manera que el mapa de isopacas. El valor obtenido dividido por el volumen total, nos dará el valor medio de la ley.

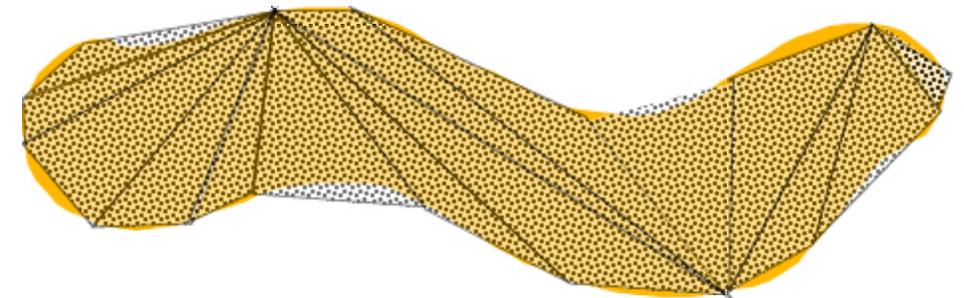




a) CONTADOR DE CUADRADOS "Couting Squares"



b) DAR y TOMAR "Give and Take"



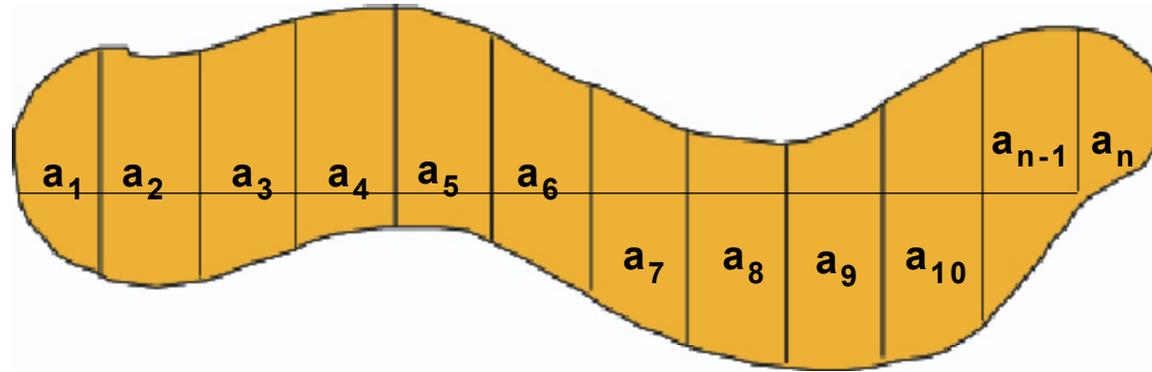
Redman (1979) modificado

c) REGLA TRAPEZOIZAL Y DE SIMPSON

De los distintos tipos el utilizados en evaluación de placeres la regla Trapezoidal y la de Simpson parecen presentar el mayor interés. En efecto si tenemos la figura A que la subdividimos en un número de compartimentos iguales a través de una línea longitudinal. La superficie total será de:

Trapezoidal  $ST = d * ((a_1 + a_n) / 2 + a_2 + a_3 + \dots + a_{n-1})$  en la que  $d$  es la anchura y  $a_1.. a_n$  la longitud.

Simpson  $= d * (a_1 + a_{n+2} (a_3 + a_5 + \dots + a_{n-2}) + 4(a_2 + a_4 + \dots + a_{n-1})) / 3$



La primera vía es la de determinar el área de cada sección transversal y multiplicarla por la distancia media de cada sección o intervalo entre secciones. Se tomarán además, unas distancias arbitrarias de 1/4 ó 1/3 de la distancia media o intervalo, fuera de los límites del área no mineralizada. La suma de los volúmenes individuales, nos dará el volumen total.

Para calcular volúmenes tenemos:

$$V = D * (s_1 + s_n/2 + s_2 + s_3 + \dots + s_{n-1})$$

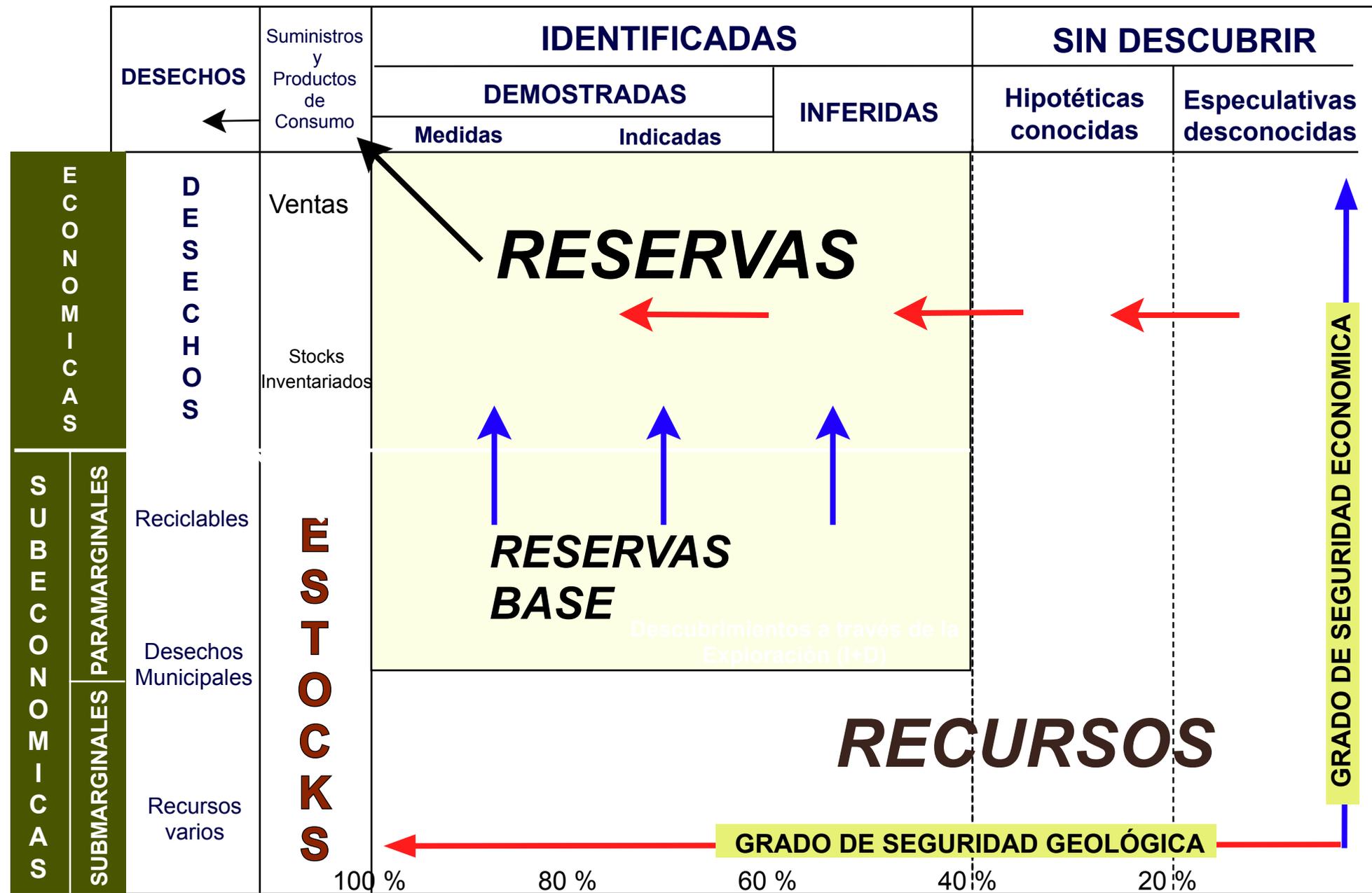
Si  $S_1$  y  $S_n$  no son las áreas terminales de la zona mineralizada, se añadirá un volumen arbitrario a cada parte. Si las secciones no son equidistantes:

$$V = 1/2(d_1(S_1+S_2) + d_2(S_2+S_3) + d_3(S_3+S_4) + \dots + d_{n-1}(S_{n-1}+S_n))$$

La regla de Simpson para volúmenes solo es aplicable si las secciones son a igual distancia y si solo hay un número impar de secciones.

$$V = D/3(s_1 + s_n + 2(s_3 + s_5 + \dots + s_{n-2}) + 4(s_2 + s_4 + \dots + s_{n-1}))$$

al igual que en el caso anterior, el volumen tiene que ser modificado en las secciones extremas.



MacKelvey 1976, modificado

En el momento de utilizar los términos “reservas” y “recursos”, es necesario fijar claramente que sentido se dan a los mismos, ya que a pesar de muchos intentos, no existe todavía una auténtica definición aceptada por todos los países.

Las Reservas de un mineral, constituye una concentración natural que se encuentra dentro o encima de la corteza terrestre, de manera que es posible su extracción económica en el momento actual o en un futuro previsible. Los Recursos, son materiales que tienen un valor presente o futuro, y comprenden no tan solo los productos perfectamente identificados o conocidos sino también aquellos otros que en base a evidencias geológicas sea presumible su existencia. Los recursos se clasifican en base a dos factores : la seguridad geológica y la seguridad económica.

# LOS PLACERES ARTIFICIALES



*El Corb (Balaguer, Lleida). Planta de lavado y cribado y concentrador gravimétrico.*

Ejemplo de un proceso de enriquecimiento en oro y otros minerales densos como el circón, ilmenita, monacita, casiterita, scheelita y rutilo, entre otros, en una planta de áridos aluviales de Sorigué S.A en Balaguer (Lleida).

Las plantas de áridos aluviales, son industrias extractivas que operan en las terrazas y ocasionalmente en los lechos de los ríos. El objeto de estas plantas o graveras, es la producción de unos materiales o áridos naturales procedentes de un cribado y lavado de las arenas y gravas y/o de un árido artificial a partir del machaqueo de los bloques y gravas. En ambos casos los productos obtenidos son utilizados por la industria de la construcción y obra pública, para aglomerados asfálticos, sub-bases y hormigones.

En el caso de la gravera del Corb de Sorigué S.A., ubicada en el término municipal de Balaguer (Lleida), se explota una terraza pleistocena del Río Segre (T4) con una anchura de unos 1.000 metros, una extensión de unos siete kilómetros y una potencia que oscila entre los 3 y 25 metros .

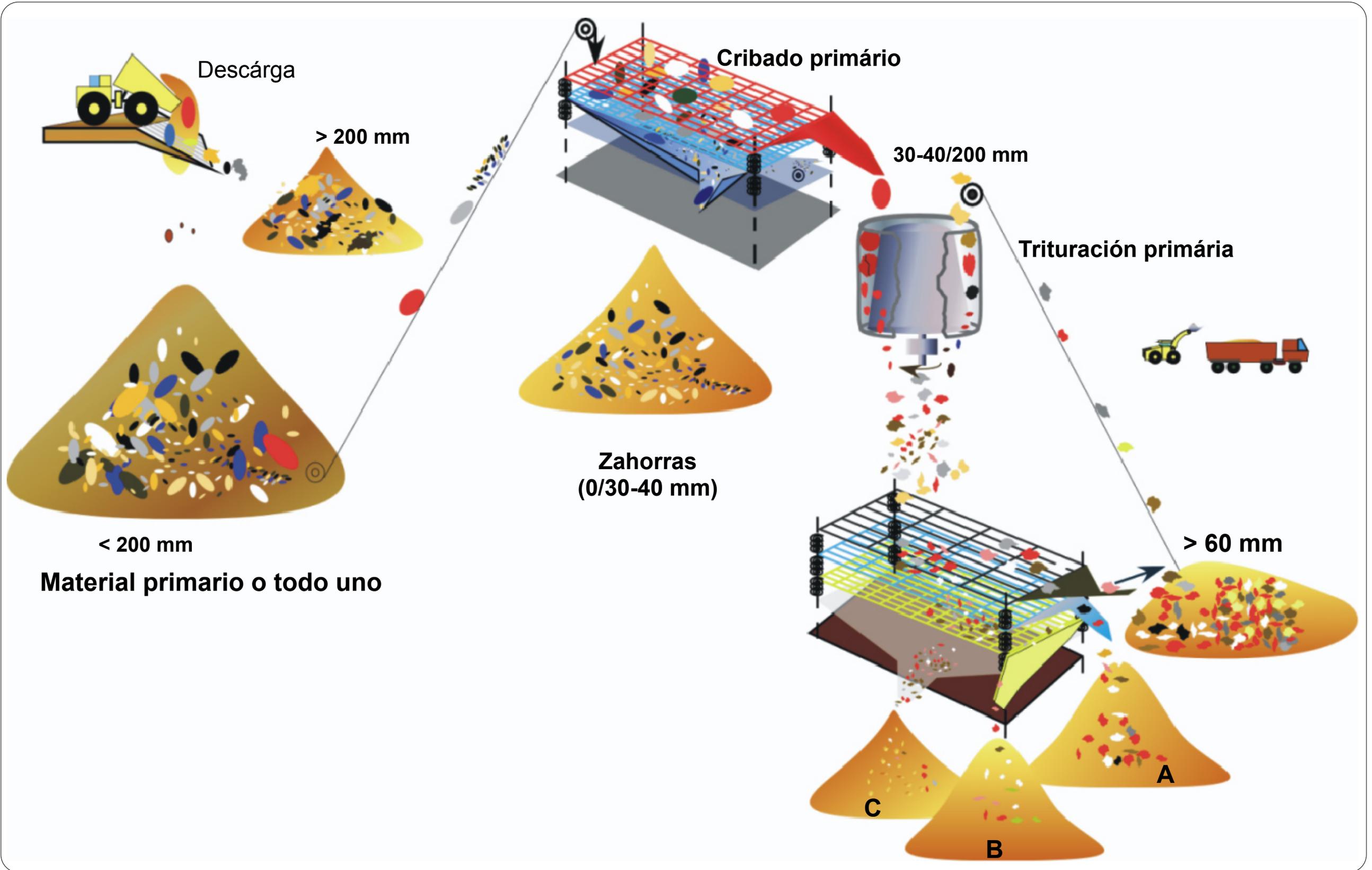
Las leyes en oro y minerales pesados aumentan con la profundidad de la terraza y en el contacto con el substrato como en la mayoría de los depósitos de tipo placer. Estas leyes oscilan entre los 8 mg/t en el nivel mas pobre a los 91 mg/t en el contacto con el substrato. Por supuesto que estas leyes, salvo zonas enriquecidas o “veneros” no son económicas, pero durante el proceso de cribado y de lavado sufren, de manera progresiva y artificial, un enriquecimiento de sus leyes o contenidos en minerales densos. En efecto:

En una concentración primaria, mediante un cribado en seco, se obtienen dos fracciones: una superior a 30 ó 40 mm y otra inferior a estas. La primera oscila, según el nivel de la terraza entre el 55 y 60% lo que da lugar a un enriquecimiento en minerales pesados entre el 150 y 250% de la fracción inferior a 40 mm. Esta fracción pasa directamente a machaqueo para obtener áridos artificiales y está prácticamente exenta de oro y minerales densos.

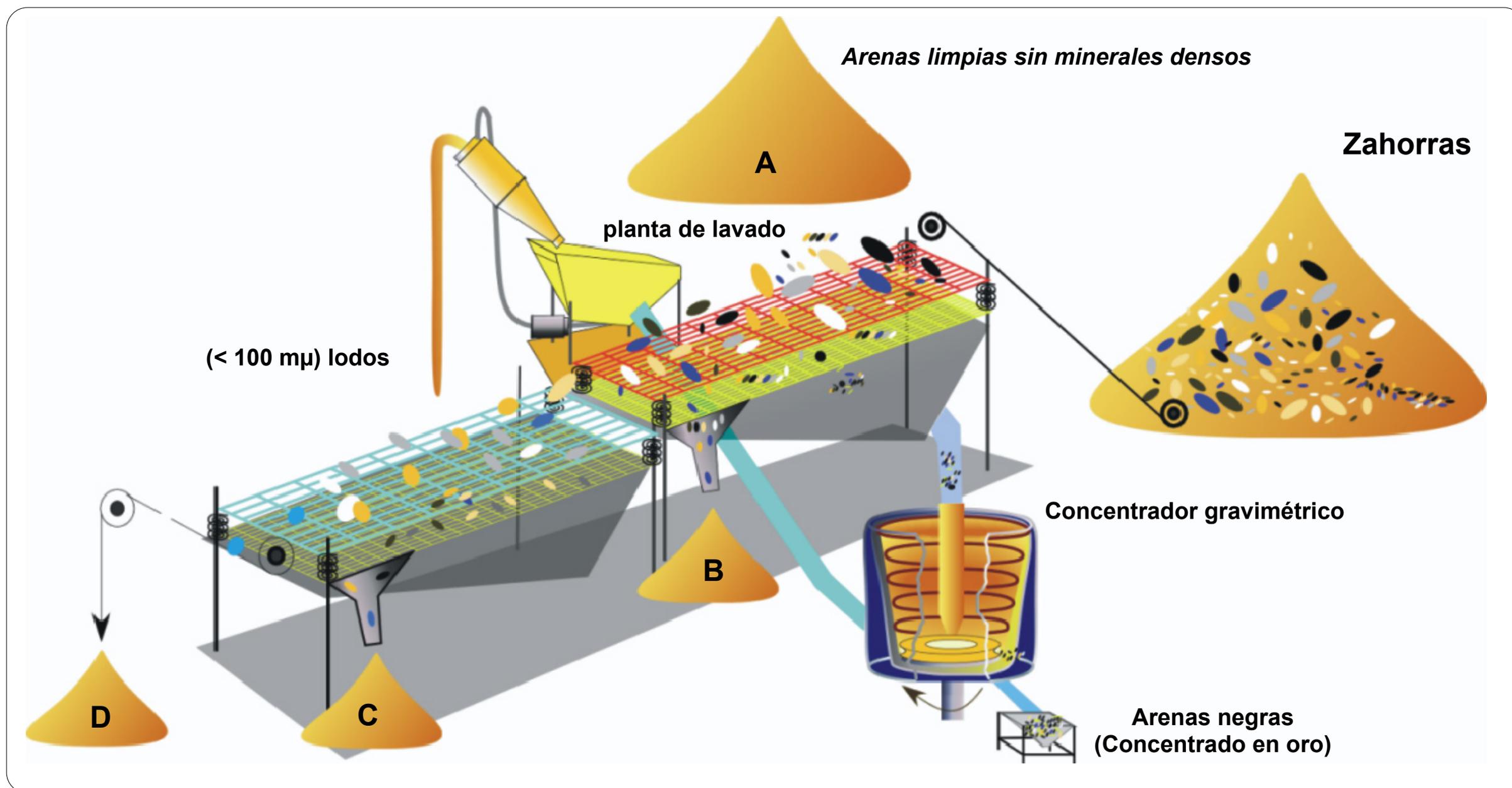
La fracción inferior a los 40 mm, denominada zahorras naturales, sufre a su vez un proceso de cribado y en este caso de lavado para obtener una serie de fracciones que oscilan entre los 0 - 5 mm hasta los 22 - 40 mm. El enriquecimiento en oro y minerales pesados que sufre la fracción 0 - 5 mm durante este proceso, puede oscilar entre el 250 al 350%.

En definitiva, el proceso de enriquecimiento en minerales pesados en la última fracción de arenas inferior a los 5 mm, puede oscilar entre el 400% y el 600%, con un factor promedio de cinco.

# CLASIFICACIÓN PRIMARIA



# CLASIFICACIÓN SECUNDÁRIA CRIBADO Y LAVADO DE LAS ZAHORRAS



# PROCESO DE ENRIQUECIMIENTO ARTIFICIAL EN ORO Y MINERALES DENSOS

## CONCENTRACIÓN PRIMARIA MEDIANTE CRIBADO EN SECO

0/30-40 mm fracción:

150 al 200% para los niveles de techo de la terraza  
200 al 250% para los niveles de explotación próximos al substrato

## CONCENTRACIÓN SECUNDARIA MEDIANTE TRATAMIENTO DE CRIBADO Y LAVADO DE LA FRACCIÓN DE 0/5-7 mm

300 al 350% para los niveles de explotación de techo  
250 al 300% para los niveles de explotación próximos al substrato

## FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO

5

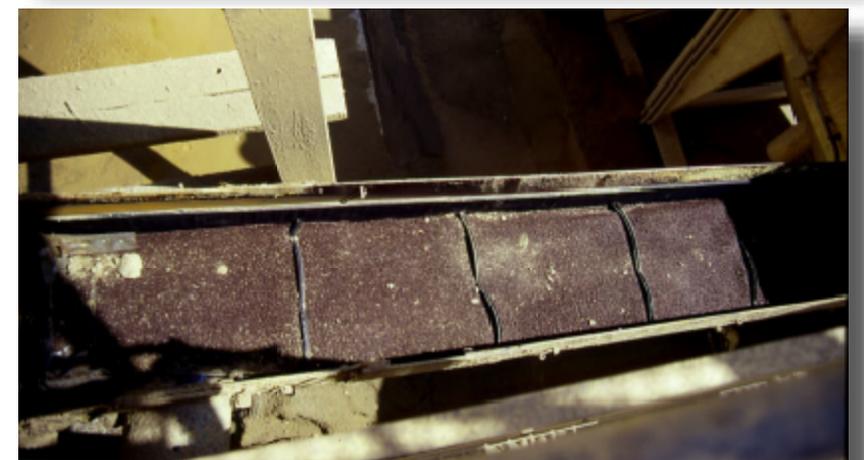
Esta fracción, que oscila entre cero a cinco o a siete milímetros, según la gravera, y que presenta un enriquecimiento en minerales pesados la podemos denominar como placer artificial en minerales pesados.

Finalmente, esta fracción en un proceso normal, es ciclonada y escurrida mediante ciclones, escurridores o simplemente mediante norias. Durante este proceso la fracción limo y arcilla ( $<100 \mu$ ), incluyendo un parte del oro y de los minerales pesados pueden perderse en las balsas de lodos, mientras que la fracción superior a  $100 \mu$  o árido lavado natural ir directamente a los hormigones y materiales varios, para la obra pública y construcción.

### ***Beneficio del oro y minerales densos.***

Es durante el proceso de lavado y cribado que da lugar a la fracción inferior a 5 mm, dónde se realiza el proceso de beneficio del oro o de los distintos minerales pesados. Hasta este punto del proceso, los costos de extracción, transporte a la planta, y concentración de los minerales pesados, corren a cargo de los áridos ya que no se efectúa ninguna modificación que pueda ser imputada económicamente a la ley en oro y de los respectivos minerales pesados.

El método mas antiguo de beneficiar dichos minerales y que ha sido también empleado en El Corb, es la utilización de moquetas de plástico y de goma con rifles, que a modo de “velloncillo de oro”, son situados en la base de la tolva de recepción de la fracción inferior a 5 mm, así como en los canales que van desde el fondo de la criba al ciclón o a la noria. Este método no tan solo has sido empleado en El Corb si no que es utilizado en otras graveras del Río Segre, Ter, Tordera, afluentes del Duero y del Tajo (España y Portugal), en los ríos Pirenaicos hispano-franceses, Alpes marítimos, Alpes italianos y Alpes suizos.



***Moquetas en la base de la criba y en un canal de desagüe de la planta de Sorigué S.A (El Corb, Balaguer)***

Los análisis de los contenidos en oro realizados en El Corb y en otras graveras con moquetas o moderno vellón, en los ríos Segre, Ter y Tordera en Catalunya: Alagón (Extremadura y Castilla León) y Tormes y Duero (las Omañas) también en Castilla - León, así como por comunicaciones orales de industriales franceses, italianos y suizos, muestran que la tasa de recuperación del oro, mediante este método, oscila entre el 10% y 15%. En efecto: sobre un total 42 muestras entre arena escurrida, lodos del ciclón, zahorras y concentrado de las moquetas, realizados de manera sistemática durante 8 meses en la planta del Corb, utilizando un concentrador gravimétrico de laboratorio, no tan solo confirmó la baja recuperación indicada, si no que se pudo determinar la elevada tasa de recuperación en oro por dichos concentradores.

Tasa que en estudios posteriores hemos podido cifrar alrededor del 85% para el oro y minerales de densidad similar y del 55% para otros minerales pesados de menor densidad. Por esta razón, se situó un concentrador gravimétrico de alta capacidad (130 t/h), entre la base de la criba y el ciclón. Este concentrador gravimétrico primario, consta de una centrífuga y de un lecho de fluidificación que permite expulsar la fracción ligera manteniendo la pesada, principalmente el oro, y un tasa de recuperación próxima a la anteriormente mencionada.

Los concentrados de minerales pesados en forma de arenas negras obtenidos, son posteriormente transportados a una planta construida al efecto que consta de una criba y una mesa de sacudidas con capacidad de 150 Kg/h. El oro es separado del resto de los minerales pesados, en sucesivas pasadas por la mesa de sacudidas, utilizando también y según el caso, concentradores gravimétrico de campo y laboratorio o simplemente mediante bateas, para posteriormente ser lixiviados con agua regia y del producto previamente reducido ser fundido en un pequeño horno.(ver la parte de recuperación)

El análisis de rentabilidad del proceso que incluye amortización del concentrador primario, concentradores secundarios costos de explotación y mantenimiento muestra sus posibilidades a partir de una ley de 45 mg/tonelada en la fracción inferior a 5 mm y una producción de dicha fracción de unas 250.000 t/año. Para explotaciones mas modestas la viabilidad se obtiene a partir de leyes próximas en las fracciones inferiores a 7 mm de los 90 mg/t.

El análisis realizado sobre las distintas potencialidades de diversas áreas tanto en la comunidad catalana, en la Península Ibérica y en la Unión Europea de los 25 nos muestran unos recursos potenciales de más de tres mil toneladas y unas pérdidas en la UE (25) el año 2002 de 4,5 toneladas de oro.

# LA MINERIA ARTESANAL



*Placer de casiterita (estaño) retrabajado por familias Quechuas en el Altiplano de Bolivia (1989)*

## LA MINERIA ARTESANAL

Las explotaciones artesanales, definidas como explotaciones intensivas, no mecanizadas y artesanales, emplean a alrededor de trece millones de personas en el mundo (Jennings,1999). De estos trece millones a su vez depende para sus sustento, más de 100 millones de personas lo que representa el 2% de la población mundial. La práctica totalidad de esta minería se sitúa en los países en vías de desarrollo y dentro de estos países en las zonas más deprimidas. Estimaciones realizadas a mediados de la década de los noventa se reflejan en la tabla ( Nostaller, 1996 modificada).

Pais	Estimaciones	Autor	Fecha
China	3.000.000	Jennings	1993
Brasil	1.000.000	Davidson	1990
India	500.000	Chakravorty	1989
Zaire	500.000	Jennings	1994
Indonesia	465.000	ILO	1990
Filipinas	250.000	Muyco	1993
Tanzania	100.000	Noetstaller	1994
Mali	100.000	World Bank	1992
Sierra Leona	100.000	World Bank	1992
Bolivia	70.000	Priester	1996
Burkina Faso	60.000	World Bank	1992
Guinea	60.000	World Bank	1992
Ghana	30.000	World Bank	1992
Senegal	30.000	Viladevall	2001
Angola	30.000	World Bank	1992
Zambia	30.000	World Bank	1992
Zimbabwe	30.000	World Bank	1992
Peru	20.000	ILO	1990
Total Mundo	6.375.000	Jennings	1993
Ecuador (oro)	60.000	F.Sandoval	2000
Peru (oro)	60.385	J.Kuramoto	1998
Indonesia (oro)	80,000	C. Aspinall	2001



**Moliendo cuarzo aurífero.  
Senegal, 2001**

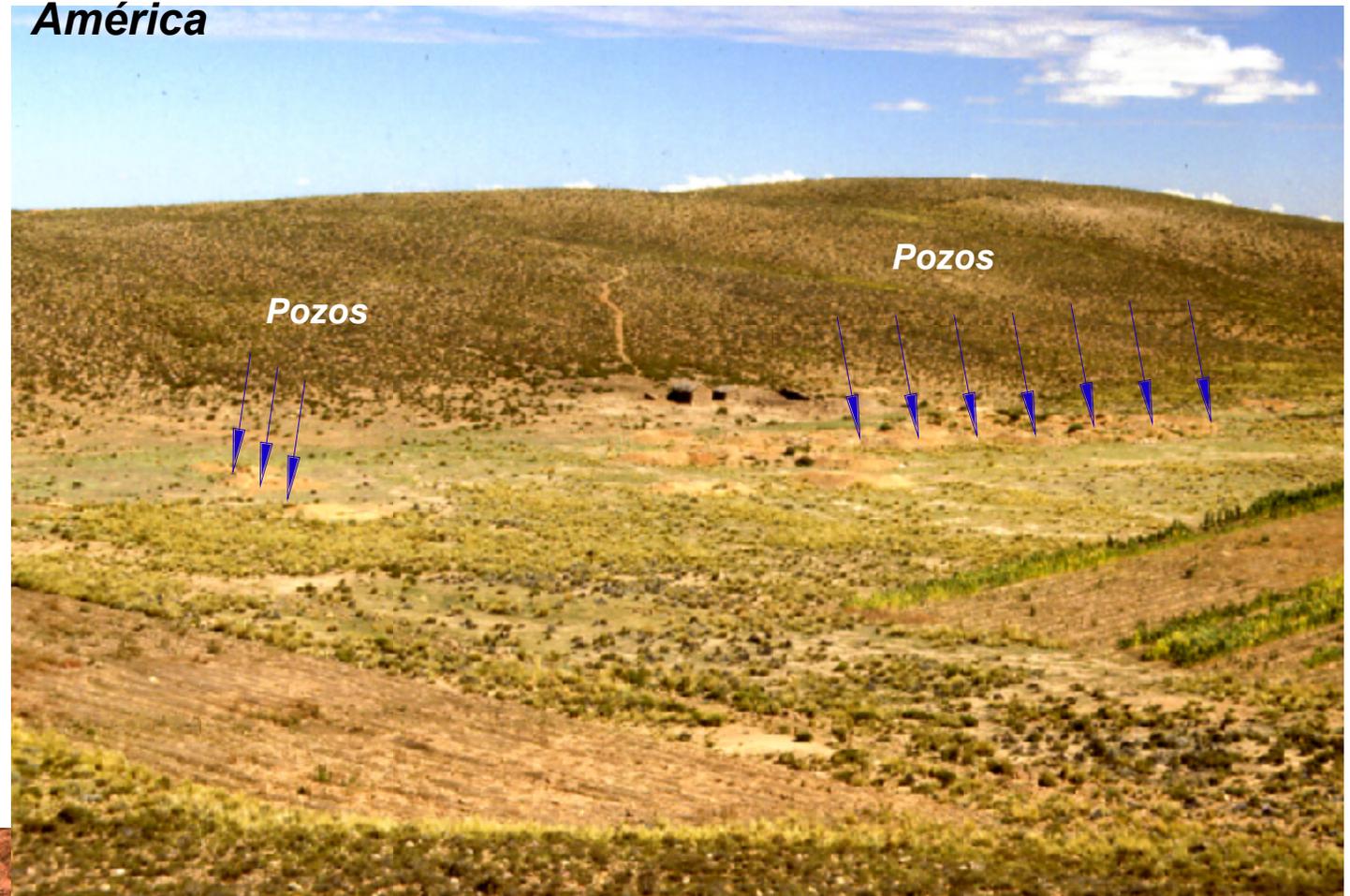
En un informe del Comité de recursos Naturales de la ONU (E/C.7/1996/9) nos indica que un claro ejemplo lo tenemos en Bolivia. Este país con 7 millones de habitantes, un 8% de la población depende directamente de esta minería y un 10% mas de forma indirecta (comercio, infraestructuras, etc). La producción de oro por parte de las grandes explotaciones mineras bolivianas se situaba en 1997 alrededor de 10,7 toneladas, mientras que los pequeños mineros o minería artesanal producía unas 8 toneladas.

**Africa**



**Rio Falema (Malí - Senegal- Guinea C.)**

**América**



**Coperativas de barranquilleros en Bolivia en 1989. Lago Soledad.**



**Pozo de explotación en Mali (2001)**



# LA BATEA Y LAS ACTIVIDADES LÚDICO-DEPORTIVAS

LOS CAPEONATOS DE BATEO

LOS PARQUES DE BATEO



## II CAMPEONATO DE BATEO DE ESPAÑA 1999 EN BALAGUER (LLEIDA)



Ismael Sanfiz de Navelgas (Asturias)



RÍO SEGRE

## WORLD GOLDPANNING ASSOCIATION FÉDÉRATION FRANÇAISE d'ORPAILLAGE EUR'OR 2002 SAINT-YRIEIX-LA-PERCHE (FRANCE)



## CAMPEONA DE EUROPA INFANTIL 2002



Anna Viladevall Corominas (1991)

**Zona de bateo**



**Señal de inicio (máximo 20 minutos)**



**Cubo con 10 litros de arenas y gravas**



**Lavado**



**Concentrado**



**Recuperación de las partículas**



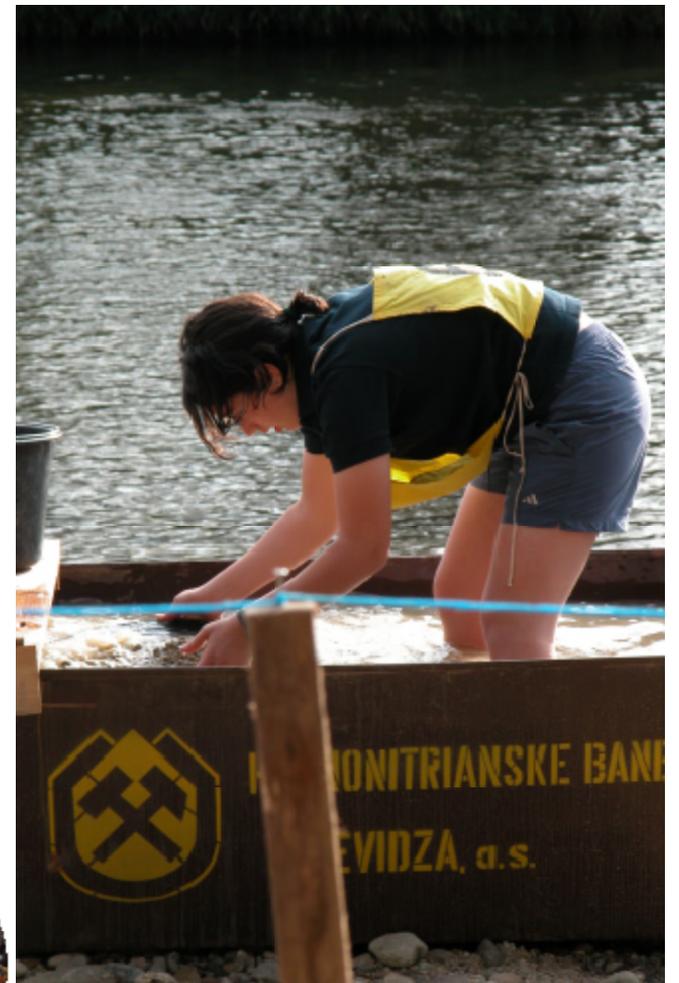
**Presentación al Jurado**



# Campeonato del Mundo del 2004 en ESLOVAQUIA



Pescando oro.



Lavando arenas y gravas



Sudáfrica 2005



De pesca aurífera en el Río Horn



4ª del Mundo Juvenil

## Balaguer. Río Segre



*Los medios de comunicación con el bateo*



*Alumnos geólogos practicando el bateo*

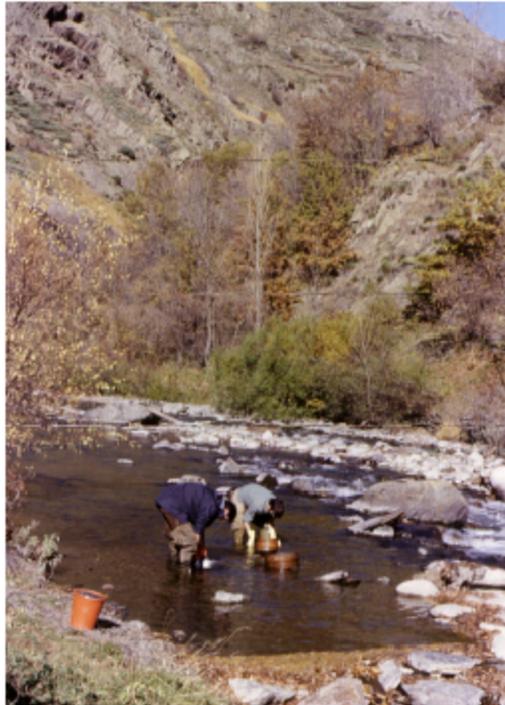


*Socios y amigos del Club de bateadores de Madrid, disfrutando del Río Segre después de haber recorrido mas 500 Km para practicar su deporte favorito.*

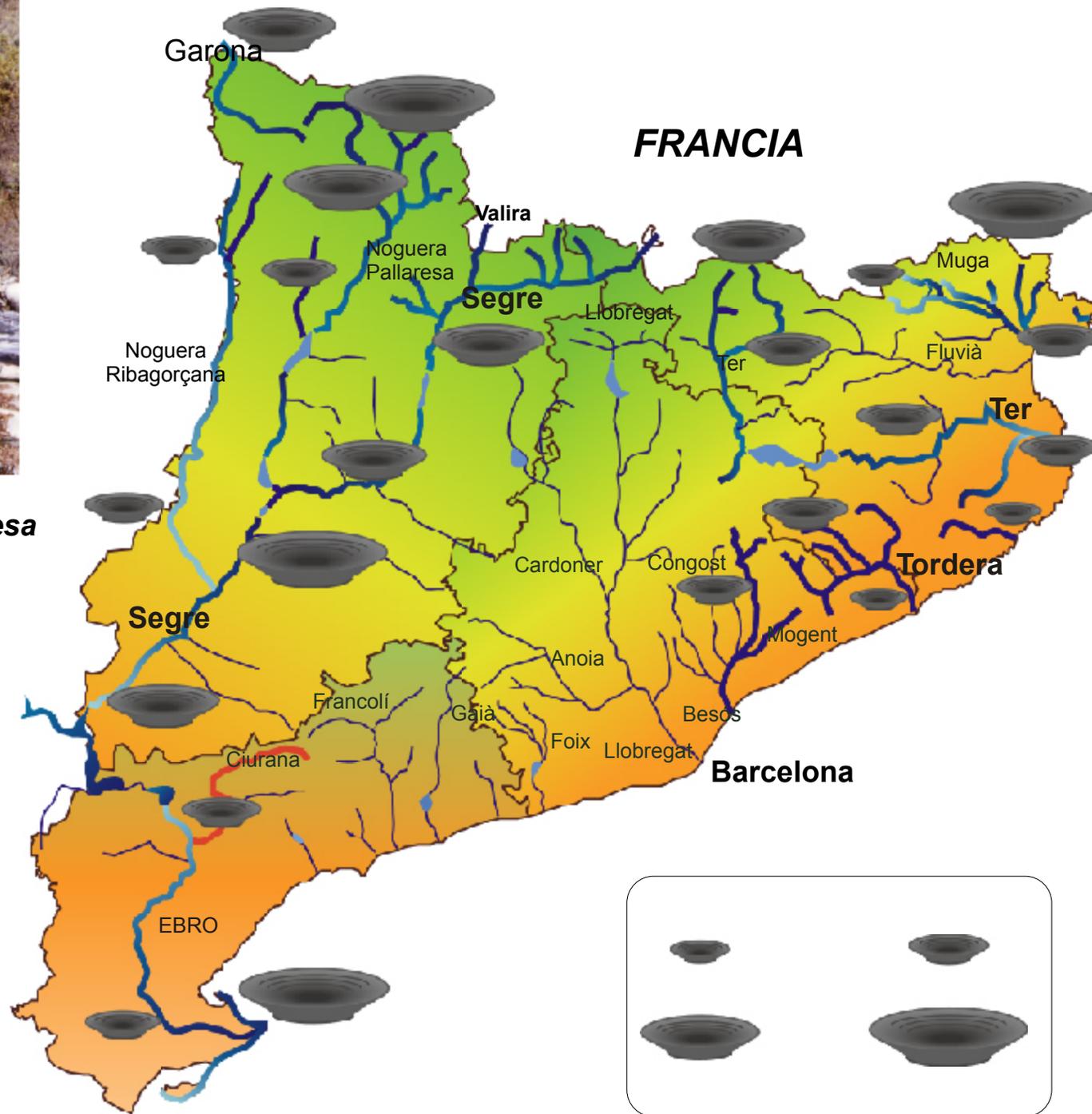


*Práctica de bateo para niños en Willisau (SUIZA)*

# ZONAS Y GRADO DE INTERÉS PARA LA PRÁCTICA DEL BATEO EN CATALUNYA



*Bateo en el Noguera Pallaresa*

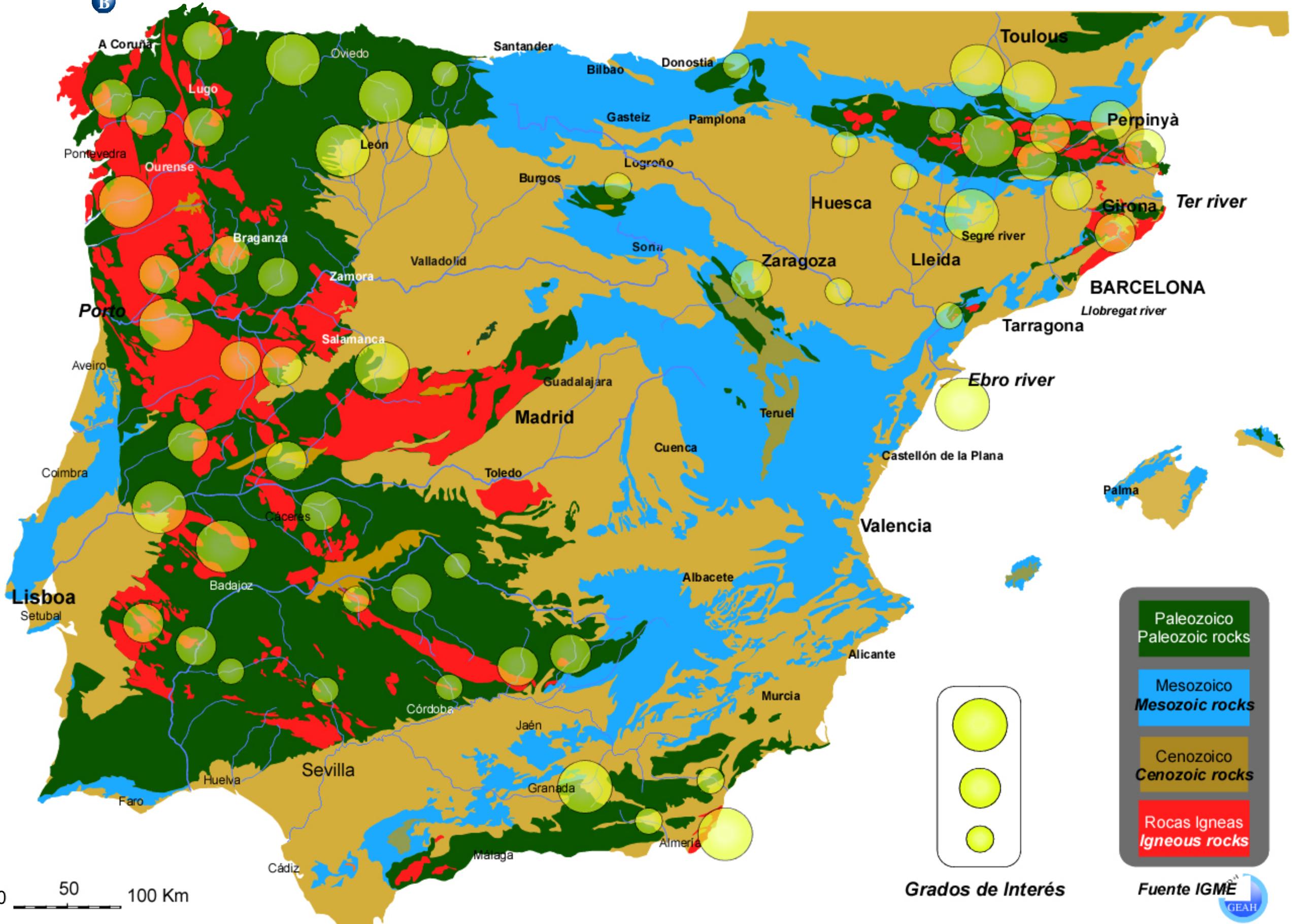


**GRADO DE INTERÉS**



*Arenas negras del delta del Ebro*

# ZONAS DE INTERÉS PARA BATEO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA



En Europa, Australia y los EUA hay numerosos lugares en donde se practica el bateo junto con otras actividades lúdico deportivas. entre ellas tenemos:

## EUROPA

- **Finlandia. Gold Panning in Finnish Lapland: Gold Prospector Museum; 99695 Tankavaara, Finland Tel. +358-(0)16-626171 Fax. +358-(0)16-626271 e-mail: info@kultamuseo.fi**
- **Gold Panning Courses In Scotland's Highest. THE MUSEUM OF SCOTTISH LEAD MINING Call 01659 74387 email: info@goldpan.co.uk. www.leadminingmuseum.co.uk**
- **Francia. Orpillage- Loisir. contactar: yvan.pujol@libertysurf.fr; <http://www.camping-chercheur-dor.fr/>**

## EUA - CANADA

- **Eureka Gold Panning Adventures P.O. Box 33072, Whitehorse, Yk Canada Y1A 5Y5. Telephone / Fax: (867) 633-6519 <http://eurekagoldpanning.com>**
- **GoldProspecting.net ( Formally Research & Associates ) 227 Altwein. Blanco TX 78606 USA .Tel: 830-833-9961**
- **California Vacations Travel. Gold Panning & Gold Country Vacations .Beaches, Tahoe & Yosemite. <http://2getgold.com/>**

## ASIA - OCEANIA

- **Australian guided tours to historic gold mining sites- "Gippsland Gold Country" Pino Deriu Gemstone Collection-Old Maf.**
- **Isla de Sado, Japón se encuentra a 300 Km al NW de Tokio en el Mar del Japón y es conocida por sus tambores de los festivales de verano y su teatro Noh.  
Tourist facility at the Nishimikawa gold panning area, the oldest on Sado. Visitors can learn about gold, and try their luck at gold panning. Sadonishimikawa Gorudopaku \*Admission:600 yen \*Hours:8:00 A.M.- 5:30 P.M.\*Open every day tel:0259-58-2021**

## BIBLIOGRAFIA ..... PLACERES

BAKOS, F. et al. 2004. Gold in Slovakia. ISBN. 80-89136-21-4. 298 p

BALL, S. 1931. Historical notes on gem mining. Economic geology Vol. XXVI, nº 7. pp 681-738

CLARK W.B. 1970. Gold Districts of California. Calif. Div. Mines and Geol., Bull 193. p.186.

CLIFTON H.E., et al. 1969. Sample size and meaningful gold analysis. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 625-C. 17 p.

COBB E.H. 1973. Placer Deposits of Alaska. U.S. Geological Survey Bull 1374. p. 213.

DOMERGUE, C. 1989. Minería y metalúrgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas. Coloquio Internacional Asociado. dos tomos.

DOMERGUE, C et HERAIL, G. 1978. Mines d'or romaines d'Espagne. Le district de la Valduerna (León). Université de Toulouse. CNRS. Serie B Tome IV. 303 p

ESPI, J.A. 2001 El libro de la minería del oro en Iberoamérica. CYTED. Madrid 398 p.

EULÈRE 1987. Les Celtes.

FEDCHUCK V.Ya., et al. 1983 .Sources of gold placers from one region in the USSR. Internat. Geology Rev., v.25, nº2. pp.173-177.

FLETCHER K & HORSKY S 1988. Determination of gold by cyanidation and graphite furnace atomic absorption spectroscopy. Journ of Geochem. Exploration. 30, pp.29-34.

GUILBERT J.M. & PARK Jr. CH.F. 1986. Deposits related to clastic sedimentation pp.742-773 in Ore Deposits. Freeman & Co. New York. p.985.

GUIOLLARD, P.CH. 1988. Mines d'Or. Petite histoire des grandes mines d'or françaises. ISBN. 2 9502503-0-0p.232

GOSENS P.J., 1997. Or de l'antiquité à nos jours. Mines et Carrieres..118 p.

GUNN C.B. 1968. Origin of the bedrock values of placer deposits. Econom. Geol. vol. 63.pp. 86.

HAILS J.R. 1976. Placer Deposits, pp. 213-244 in K.H.Wolf, Ed., Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits, vol.3. New York: Elsevier.

HERAIL G. 1984 "Géomorphologie et gîtologie de l'or détritique" Edit. CNRS. 456 p.

JOHNSON M.G. 1972. Placer Gold Deposits of New Mexico. U.S. Geological Survey Bull. 1348. p.46.

JOHNSON M.G. 1973. Placer Gold Deposits of Nevada. U.S. Geological Survey Bull. 1356. p.118.

JOHNSON M.G. 1973. Placer Gold Deposits of Utha. U.S. Geological Survey Bull. 1357. p.26.

MACDONALD, E. 1983. Aluvial Mining. The geology, technology and economic of placers. Chapman and Hall. London. 508 p

MERTIE Jr. J.B. 1954. The gold pan: a neglected geological tool. Econom. Geol.. vol 5., pp. 639-651.

PARDEE J.T. 1951 Gold placer deposits of the pioneer district Montana. US. Geolog. Survey Bull 978-C, p. 69-99. SANCHEZ-PALENCIA ET AL. 1999. La zona arqueológica de las médulas. Junta de Castilla y león. 147 p.

SAGON J.P., et al. 1985. L'or alluvionaire du Massif armoricain et du Limousin (France): sources et processus de concentration. Chron. rech.min., n°479. pp. 35-50.

SEDILLOT R. 1975. Historia del Oro. Ed. Brugera. Barcelona. 349 p

SESTINI G. 1973. Sedimentology of paleoplacer: the gold-bearing Tarkwaian of Ghana, pp.275-305 in G.C.Amstutz and A.J. Bernard, Eds., Ores in Sediments. New York: Springer, 350 p.

TOTAL. 1987. L'or. Total information. n° 106.

VILADEVALL, M et al. 1991. Los Placeres Auríferos de la Llanura aluvial del Río Segre y Delta del Río Ebro (NE de la Península Ibérica). in Gisements Alluviaux d'or (ORSTOM Editions, Colloques et Séminaires). La Paz. pp. 187 - 215.

VILADEVALL, M. 1998. La geoquímica del oro como herramienta de prospección de menas auríferas. Boletín Geológico y Minero de España Volumen: 109 Número: 5-6; pp 521- 534

VILADEVALL, M. et al. 2003. : Gold recovery at a sand and gravel plant in the Segre River area (Balaguer, Spain) North Atlantic Minerals Symposium (NAMS) pp: 126-128 Dublin (IRLANDA)

VILADEVALL, M et al. 2004 .Las plantas de arenas y gravas (áridos aluviales) como un nuevo tipo de placer artificial de minerales pesados. El ejemplo de la gravera del Corb en el Río Segre (Balaguer, NE de la Península Ibérica). Geotemas, Volumen: 6 Número: 4 pp: 141 - 143.

VILADEVALL, M, i SERRA, J. 2001. Els placers litorals del delta de l'Ebre. El Delta de l'Ebre: estudi multidisciplinar. Institut d'Estudis Catalans. pp 23-26

VAQUERO, C. 1977. Prospección y estudio mineralométrico de yacimientos detríticos, aplicación al método en el Batolito de los Pedroches. ENADIMSA Madrid. 212 p.

WARREN H.Y. 1982 " The significance of a discovery of gold crystals in overburden" in Levison A.A. " Precious metals in the northern cordillera". Assoc. of Explorat. Geochem. 214 pp

WOJCIK R.J. 1984. Geologic factors described for large global gold placer deposits. Mining Engineering, vol.36.,11, pp.1528-1539.

YEEND W.E. 1974. Gold-bearing gravel of the ancestral Yuba River, Sierra Nevada, California . US Geolog. Survey prof. paper 772, pp.41

US.ENVIRONMENTAL AGENCY (EPA). 1994. Gold Placers. Technical Resource Data. Vol 6; 78 p

## PROSPECCION ALUVIONAR

AGRICOLAE, G. 1561. De Re metallica Libri XII. Círculo Científico.Mdrid 2004. 707 p.

ALCALDE, C.; FONT, X.; VILADEVALL, M. 1990. Prospección geoquímica a la batea y estudio de las mineralizaciones del área de Guijuelo-Cespedosa (S. de Salamanca). Boletín Geológico y Minero de España. Volumen: 101 Número: 1, pp: 106 - 114 .

ADAMS J; ZIMPFER G.L. & McLANE 1978. Basin Dynamics, Channel Processes, and Placer Formations: A Model Study. Econom. Geol. vol.73, pp. 416-426.

BARBA; A.A. 1640. Arte de los metales en que se enseña el verdadero beneficio de los de oro, y plata por açogue.UERT.S.A. 1977. 228 p.

BASQUE, G. 1999. Methods of Placer Mining.Heritage House P.C. 85 p.

BERKMAN, D.A, 1989. Filed Geologists' Manueal. The Australasian Institute of Mining and metallurgy. 382 p.

BOYLE, R.W. 1979. The geochemistry of gold and its deposits . Geol. Surv. Can. Bull. 280, p. 584.

CHAUSSIER J.B et MORER J. 1981. Manuel du Prospecteur Minier. Manuels & Methodes 2. BRGM. Orleans.273 p.

CHENEY E.S & PATTON T.C. 1967. Origin of the bedrock values of placer deposits. Econom. Geol. vol.62, pp. 852-853.

DERRUAU M. 1966. Geomorfología. Barcelona: Ed.Ariel S.A.. 442 p.

DEVISMES, P. 1986. Détermination rapide des minéraux lourds des alluvions et des roches: utilisation pour l'inventaire minéralogique et la recherche minière. Documents BRGM 106. 82 p.

HUTTON J. 1951. Studies of heavy detrital minerals. Bull. Geol. Soc. Amer.,vol.6. pp.636-707.

JEZEQUEL P.1990- Méthodes actuelles de séparation de phases minérales en laboratoire. manuel & méthodes. BRGM. 135 p.

KARTASHOV I.P. 1971 Geological features of alluvial placers. Econom. Geol., v. 66, pp. 879-885.

KROOK I. 1968. Origen of bedrock values of placer deposits. *Econom. Geol.* vol.63 pp 844-846.

KUZVART, M. and BÖHMER. 1986. *Prospecting and exploration of mineral deposits.* Academia. Prhaja. 508 p.

LEVINSON, A.A. 1980. *Introduction to Exploration geochemistry.* Applied Publishing Ltd. 924 p.

REEDMAN, J.H. 1979. *Techniques in Mineral Exploration.* Applied Science Publishers. London. 553 p

SCHUMM S.A. 1977. *The fluvial System.* Jhon Wiley & Sons. p. 338.

SMIRNOV V.I. 1982 *Geología de yacimientos minerales.* Edit. Mir. Moscú. 654 p.

SMITH N.D. & BEUKES N.J. 1983. Bar to bank floe convergence zones: A contribution to the origin of alluvial placers. *Econom. Geol.*, vol. 78., pp.1342-1349.

STOW S.H. 1968 p The heavy minerals of the Bone Valley formation and their potential value. *Econom. Geol.*, vol. 63, pp. 73-75.

SUTHERLAND D.G. 1982. The transport and sorting of diamonds by fluvial and marine processes. *Econom. Geol.* vol.77., pp. 1613-1620.

THIEBAUT L. 1952. *Recherche et étude économique des gîtes métallifères .* Librairie Polytechnique Ch. Béranger. Paris-Liège. 726 p.

TOURTELOT H.A. 1968. Hydraulic equivalence of grains of quartz and heavier minerals, and implications for the study of placers. *U.S. Geol. Surevey Proff. Paper 594*, 13 p.

THEOBALD Jr. P.K. 1954. The gold pan as a quantitative geologic tool. *U.S. Geol. Survey Bull.* 1071A., p. 54.

TUCK R. 1968. Origin of the bedrock values of placer deposits . *Econom. Geol.* vol. 63. pp. 191-193.

VILADEVALL, M.; et al. 1998. Un nuevo recurso para la industria del ocio en las comarcas del Río Segre: prospección de oro a la Batea. *Primer Simposio latino Sobre geología, Medio Ambiente y Sociedad.* V: 1, pp: 1-1. Camarasa (LLeida) (ESPAÑA).

WILHELM E. et ARTIGNAN D. 1988. L'analyse des minéraux lourd en exploration minière: revue critique et propositions . *Chron. Rech. Min.*,n°490. pp. 47-54.

YANNOPOULOS J.C.1991. *The extractive metallurgy of Gold.* Van Nostrand Reinhold. New York. 281 p.

## WEBS INTERESANTES

### **PLACERES**

<http://www.minelinks.com/alluvial/deposits.html>

[http://esa.www5.50megs.com/mindep/depfile/gem\\_dep.htm](http://esa.www5.50megs.com/mindep/depfile/gem_dep.htm)

[http://www.minelinks.com/tools/conrad\\_motor.html](http://www.minelinks.com/tools/conrad_motor.html)

[http://www.e-goldprospecting.com/html/gold\\_prospecting\\_methods\\_pla.html](http://www.e-goldprospecting.com/html/gold_prospecting_methods_pla.html)

<http://www.miningequipment.net/>

<http://www.goldmagic.com/>

### **Mineria Artesanal**

<http://www.casmsite.org/>

<http://www.natural-resources.org/minerals/smscalemining/>

[http://www.itdg.org/html/small\\_scale\\_miners/small\\_scale\\_miners.htm](http://www.itdg.org/html/small_scale_miners/small_scale_miners.htm)

[http://www.iied.org/mmsd/activities/small\\_scale\\_mining.html](http://www.iied.org/mmsd/activities/small_scale_mining.html)

### **Lúdico**

[http://www.tuonome.it/search\\_popup.htm](http://www.tuonome.it/search_popup.htm)

<http://www.goldprospectors.org/>

<http://imcg.wr.usgs.gov/panning/>

<http://www.cgu.cz/>

<http://www.goldprospecting.com/>

<http://www.cebalaguer.org>

### **Asociaciones**

[http://www.bocamina.com/esp/gmm\\_ceba.htm](http://www.bocamina.com/esp/gmm_ceba.htm)

<http://www.uca.es/huesped/asanbaor/>

<http://www.wga.bbk.pl/australia/>

<http://www.wga.bbk.pl/austria/>

<http://www.wga.bbk.pl/belgium/>

<http://www.wga.bbk.pl/canada/>

<http://www.wga.bbk.pl/czechy/>

<http://www.wga.bbk.pl/finland/>

<http://www.wga.bbk.pl/france/>

<http://www.wga.bbk.pl/germany/>

<http://www.wga.bbk.pl/germany/>

<http://www.wga.bbk.pl/england/>

<http://www.wga.bbk.pl/italy/>

<http://www.wga.bbk.pl/japan/>

<http://www.wga.bbk.pl/holland/>

[http://www.wga.bbk.pl/new\\_zeland/](http://www.wga.bbk.pl/new_zeland/)

<http://www.wga.bbk.pl/polska/>

<http://www.wga.bbk.pl/slovakia/>

<http://www.wga.bbk.pl/rpa/>

<http://www.wga.bbk.pl/spain/>

<http://www.wga.bbk.pl/sweden/>

<http://www.wga.bbk.pl/switzerland/>

<http://www.wga.bbk.pl/usa/>

# ANEXOS

## - HIDRÁULICA



*La llanura aluvial del Río Segre: Zona de Deposición.*

## EQUIVALENCIA HIDRAULICA DE CAIDA DE LAS PARTICULAS. SU CLASIFICACION.

La equivalencia hidráulica de sedimentación no es una ley simplista, en la acepción de que al hallarse juntos en un mismo depósito, minerales de diferentes tamaños, formas y densidades, significaba que poseían una misma velocidad de deposición. En la ley de Stokes, la velocidad de caída para partículas esféricas inferiores a 0,1 mm de diámetro según Rubey, 1933 in Tourtelot 1968, sería:

$$w^o = g / 18 * ((\rho_p - \rho_f) D^2 / \mu) \quad (6)$$

en donde  $w^o$  : corresponde a la velocidad terminal de caída;  $g$  gravedad;  $\rho_p$  densidad de la partícula;  $\rho_f$  densidad del fluido;  $\mu$  viscosidad en poises y  $D$  diámetro del mineral o partícula en en cm o mediante una corrección en mm.

Los diámetros equivalentes de cuarzo (q) y magnetita (m) se pueden calcular a partir de (6) eliminando constantes:

$$(2,65-1,00) Dq^2 = (5,18-1,00) Dm^2$$

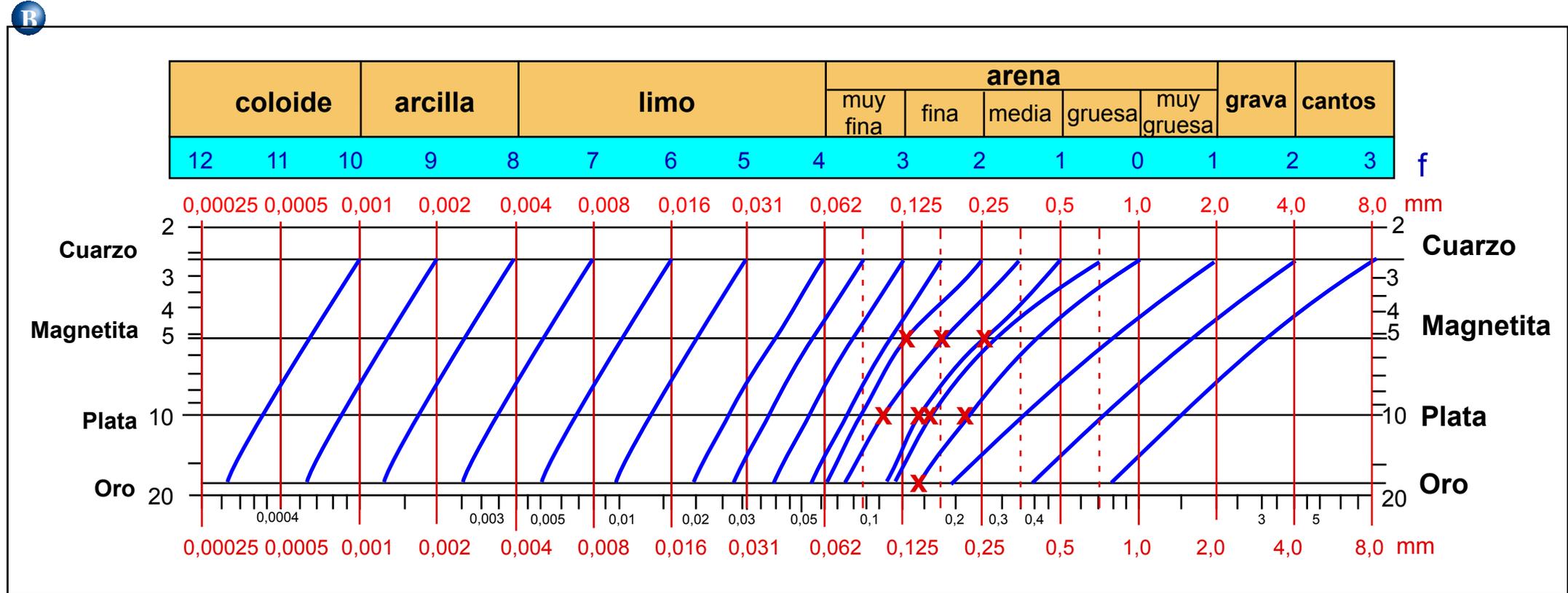
$$dm = \sqrt{(1,65/4,18) \times dq} = 0,628 dq$$

Si las partículas tienen un diámetro superior a 0,25 mm, según Rubey , la velocidad de caída sería:

$$w. = \sqrt{(2/3 \times g (r_p - r_f Dq) / r_f)} \quad (7)$$

El cálculo de los diámetros equivalentes sería:  $(2,65-1,00) Dq = (5,18-1,00) Dm$

$$\text{donde: } Dm = (1,65/4,18) Dq = 0,395 Dq$$



Equivalencia hidráulica entre tamaños de partículas de cuarzo, magnetita, plata y oro. (X), valores promedio a partir de la ley de Stokes y la raíz cuadrada de esta ley. Tourtelot (1968) modificado.

Singerland and Smith (1986) op. citada, determinan la velocidad de caída, siempre y cuando la concentración de partículas sea reducida y las aguas tranquilas, a partir del coeficiente de resistencia ( $C_d$ ).

$$F_d = C_d ( \rho U^2 /2) A ; C_d = F. D/(\rho U^2/2)A = f ( \rho U D/\mu) \tag{8}$$

en donde  $F_d$  es la fuerza de resistencia,  $U$  la velocidad media de la corriente en una sección  $Q$  (caudal)/ $A$ , y  $A$  la sección. (Middleton, 1984). La velocidad terminal de caída  $w^o$  se define por:

$$w^o = ((4/3*(g*D(r_p - \rho_f ))/\rho_f *C_d))^{1/2} \tag{9}$$

para partículas inferiores a 0,1 mm ( $Re$  inferior a 0,5) se utiliza directamente la ley de Stokes, tal como ya hemos indicado anteriormente para  $C_d = 24/ R_e$  nos remite a los trabajos de Graf 1971.

Para paliar el efecto de forma de las partículas ( planas, discoidales, cilíndricas, etc.) con respecto a las esféricas, Tourtelot 1968, introduce la constante de forma **K** , desarrollada por Heywood (1933) y el factor de de forma de Corey: **SFC**. (ver mas adelante)

El primer factor o constante,

$$K = \text{volumen} / d^3$$

y el segundo,

$$SFC = c / \sqrt{a * b} ,$$

en donde **a** es el eje mayor; **b** el eje intermedio y **c** el eje menor.

Las velocidades de caída de las láminas de oro, por ejemplo, con **K** = 0,08 pueden alcanzar el valor de 0,23 con respecto a una partícula esférica del mismo diámetro. Las velocidades de caída de esferas de oro y cuarzo y las equivalentes en láminas de oro, se representan en la fig.3.5. En esta figura podemos observar que una esfera de cuarzo de 0,1 mm cae a la misma velocidad de 8 mm/s que una esfera de oro de 0,031 mm o que una lámina circular de oro con un diámetro de 0,062 mm y un ratio entre el diámetro y el espesor de 10. Wadell 1932, concluye que una partícula plana en forma de disco presenta una velocidad de caída de un 64% con respecto a otra esférica del mismo tamaño.

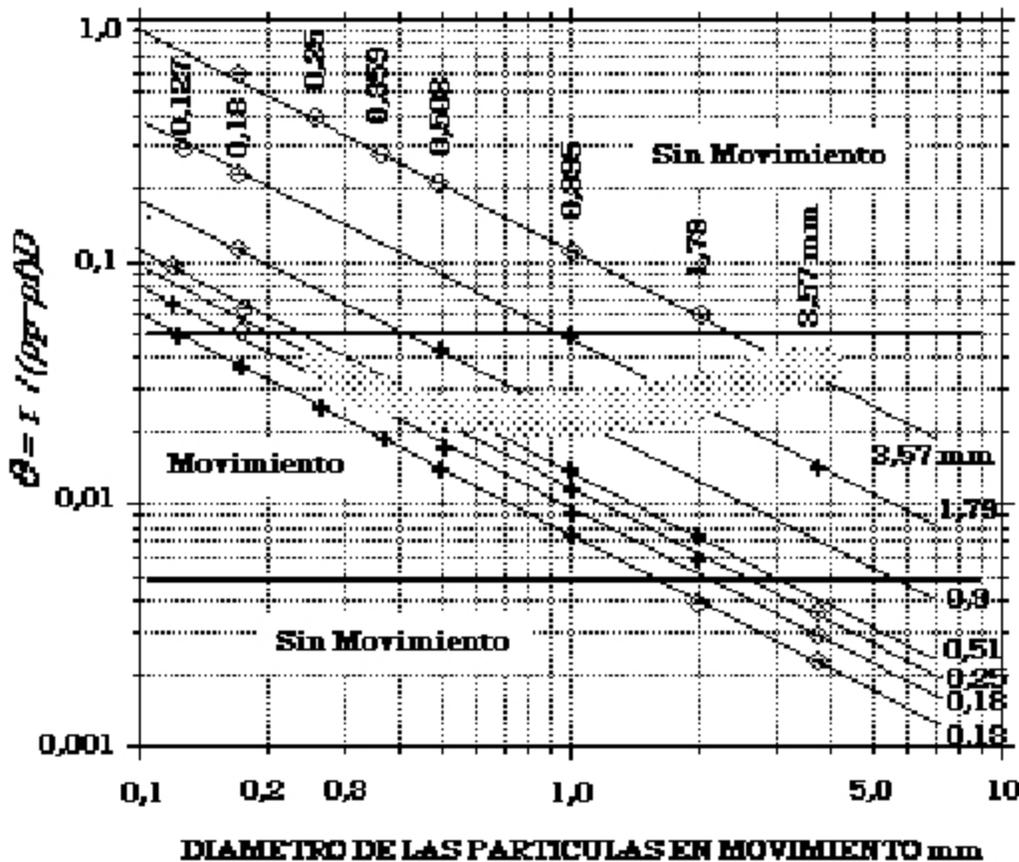
Cuando el fluido presenta gran número de partículas, la velocidad terminal de caída constante **w**. (9) se retarda según:

$$w = w^0 ( 1 - C ) ^ n \tag{10}$$

en donde **w** es la velocidad de retardo, **C** la concentración volumétrica de partículas y **n** un exponente que varía de 4,6 (**Re**) en el rango de la Ley de Stokes (< 100), a valores de 2,4 para rangos de entre 200-500.

Cuando el lecho se halla compuesto por partículas no cohesivas de diferentes tamaños y densidades habrá que hacer especial hincapié en (15 y 17) a los valores de  $D/K$ ,  $P/D$  y  $N^\circ$  de Reynolds, ya que la rugosidad del lecho y también la pendiente de este , actuarán sobre  $\tau_c$  y sobre la velocidad crítica de desprendimiento o arrastre  $V_c$ . Los valores de  $q_c$  se dan en la figura adjunta.

Leliavsky (1966) in MacDonald 1983 op. citada, a partir de datos empíricos propone una ecuación para determinar  $\tau_c$  , relacionando  $D$  con  $\tau_o$ .

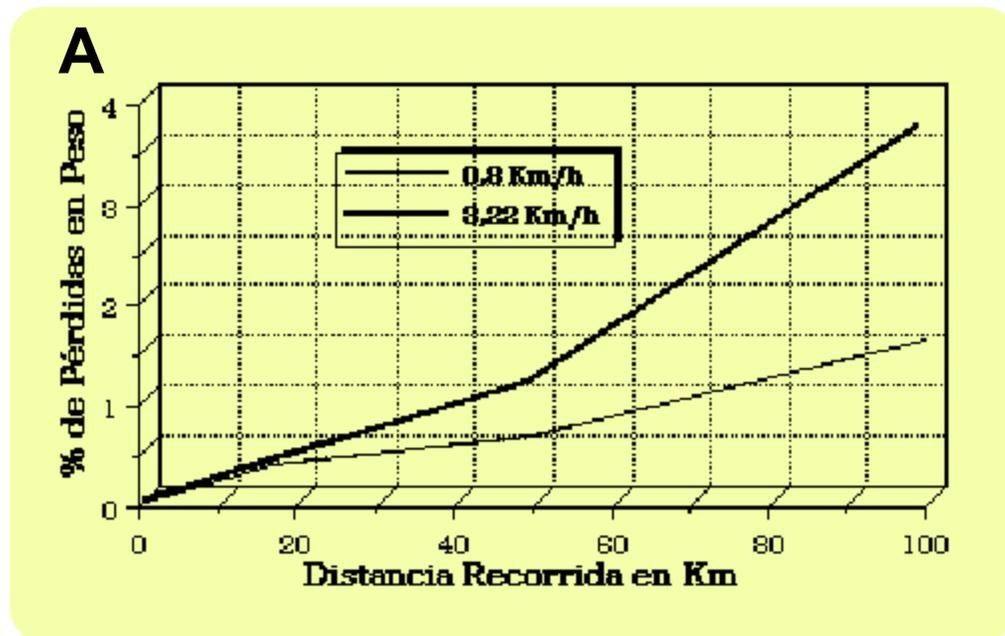


$$\tau_c \text{ (g/m}^2\text{)} = (500/3) * 2 a = 166 D$$

en donde  $a = D/2$ .

Grigg and Rathbun 1969, relacionan de forma teórica, el esfuerzo crítico de fricción ( $\tau_c$ ) con la velocidad terminal de caída ( $w^*$ ), para partículas esféricas de cuarzo, monacita, plomo y oro, y determinan que para velocidades inferiores a 2 cm/s, ( $\tau_c$ ) es independiente de ( $w^*$ ) y dependiente de la densidad de las partículas e independiente de ésta a partir de 50 cm/s.

Parámetro de Shield necesario para mover las partículas sobre un lecho inmóvil con partículas de diámetro determinado. Los rombos indican experimentalmente que las partículas del tamaño indicado en abscisas no inician movimiento sobre un lecho de partículas de diámetro indicado en las líneas oblicuas. Las cruces muestran el inicio del movimiento. El área punteadas indican el criterio de Shields para el movimiento de partículas en un lecho de tamaño de grano de las mismas dimensiones. Everts (1973) .



Pérdidas por abrasión de oro realizadas experimentalmente en un tromel con mezcla de partículas de oro junto con arenas y gravas. Obsérvese que la abrasión en un recorrido determinado es superior para velocidades de la pulpa de 3,22 km/h que para velocidades de 0,8. Km/h. Yeend (1975).

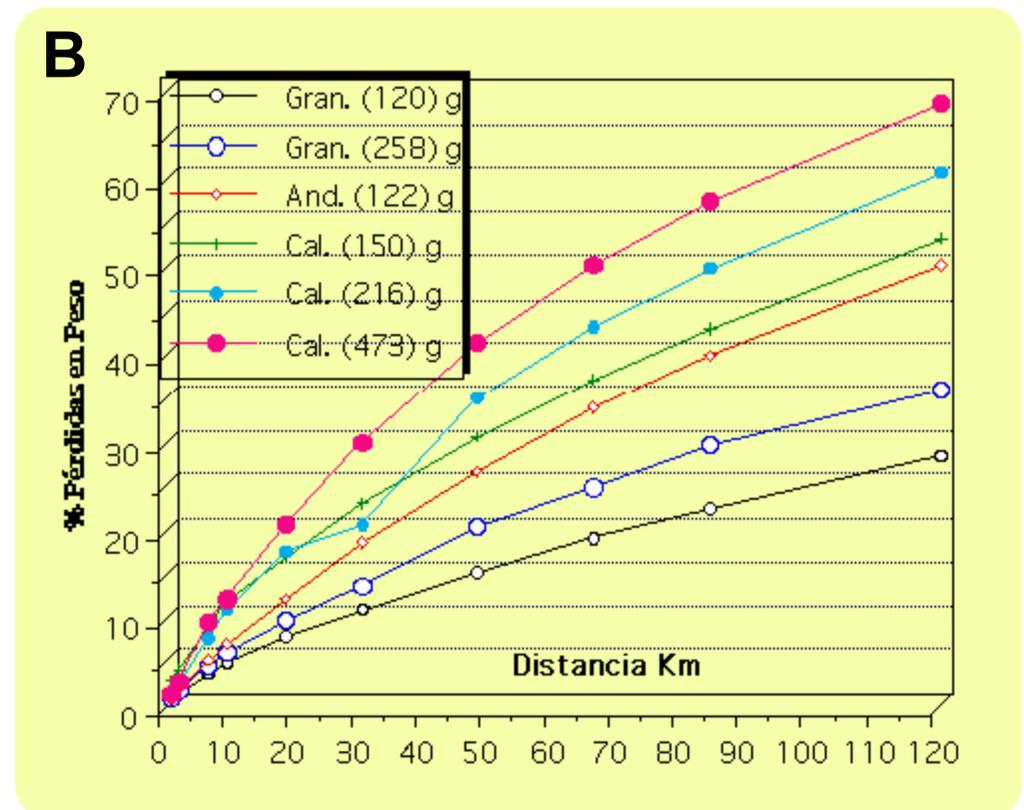


Diagrama de pérdidas de peso por abrasión en muestras de diferentes pesos de granito (Gran.), Andesitas (And.) y calizas (Cal.). Obsérvese que a mayor volumen mayores pérdidas y que las rocas silíceas presentan pérdidas inferiores a las calizas a igual distancia. Datos obtenidos a partir de Kuenen (1956).

Las pérdidas por abrasión de partículas de 1 a 10 mm y de morfología muy dispar, mezcladas en un tromel con arenas groseras y cantos de cuarzo son determinadas por Yeend (1975). Las pérdidas de oro son relativamente bajas para recorridos calculados a distintas velocidades del tromel y asimiladas a velocidades de una masa fluvial, (ver figura B.). Sobre unos 100 km recorridos las pérdidas a velocidades de 0,8 Km/h (0,2 m/s) son de 1,44% mientras que por la misma distancia y a una velocidad de 3,22 Km/h (0,9 m/s) éstas serían del 3,65%.

Este autor determina también en relación con estas velocidades, el desgaste a partir de las pérdidas sufridas del resto de la pulpa (arenas y cantos de cuarzo). Observa que para una velocidad de 0,8 Km/h las pérdidas de los cantos son de un 4,9% y a velocidad de 3,22 km/h de un 6,5%, también relativamente bajas si las comparamos con las arenas groseras que sufren un 89% y 40% respectivamente.

Para cada tipo de mineral (ver Tabla ), existe un tamaño crítico en el que el desgaste ya no tiene lugar. Así para una densidad de 4 a 5, el tamaño crítico llega entre 0,05 - 0,07 mm; para densidades entre 3 y 4, sería entre 0,12 - 0,15 y para el cuarzo y minerales de similar densidad, los valores se situarían entre 0,2 y 0,25 mm. (Smirnov 1982 op. citada.)

Schumm and Stevens (1973), indican que los índices de redondez y la pérdida de peso por abrasión, en función de la distancia recorrida, no pueden ser ambas determinadas, solo mediante métodos de laboratorio, puesto que en la observación de campo, detectan que ambas pueden tener lugar a distancias mucho mas reducidas a las indicadas experimentalmente. Los trabajos sobre la abrasión en el laboratorio, indica el autor, podrían ser asimilados al comportamiento de las partículas groseras en los ríos pero no explicarían, en factor de tiempo ( rotación del tromel), los cortos espacios en los que los bloques y cantos son reducidos y modelados. Así, durante las fuertes avenidas estos se reducen y se fracturan “in situ “ por saltación, pudiendo ser éste último un factor muy significativo para determinar, no tan solo la pérdida de tamaño, sino también su redondez o aplanamiento

**ECONOMICOS**

<b>Diamante</b>	<b>Circón</b>	<b>Monacita</b>	<b>Columbita</b>
<b>Ilmenita</b>	<b>Hematites</b>	<b>Oro</b>	<b>Casiterita</b>
<b>Rutilo</b>	<b>Distena</b>	<b>Tantalita</b>	<b>Wolframita</b>

**GENERAL**

<b>Cuarzo</b>	<b>Magnetita</b>	<b>Horblenda</b>	<b>Apatito</b>	<b>Cianita</b>
<b>Turmalina</b>	<b>Granate</b>	<b>Rutilo</b>	<b>Monacita</b>	<b>Enstatita</b>
<b>Microclina</b>	<b>Ilmenita</b>	<b>Dialaga</b>	<b>Augita</b>	<b>Fluorita</b>
<b>Estaurolita</b>	<b>Epidota</b>	<b>Hiperstena</b>	<b>Hematites</b>	<b>Siderita</b>
<b>Esfena</b>	<b>Circón</b>	<b>Espodumena</b>	<b>Brookita</b>	<b>Baritina</b>

**Minerales detríticos en orden decreciente a su resistencia a la abrasión. Berkman (1989). y McDonald (1983).**

RUBIS ALUVIALES DE TAHILANDIA



## NORMATIVA PARA LA PRÁCTICA DE LA BATEA



Los que practican el deporte de la batea son personas o familias amantes de la naturaleza y en consecuencia respetuosos con el medio ambiente. Por ello habría que tener en cuenta una serie de normas para su práctica:

1. Estar federado y en posesión de una identificación que deberían facilitar las distintas Comunidades Autónomas (similar al de pesca)
2. El volumen máximo del conjunto: bloques + gravas + arenas + limos, que diariamente podrán ser extraídos en una zona y día no debería de exceder de los 250 litros (equivalente a 25 cubos de diez litros).
3. Todo el material lavado (bloques, gravas y arenas) deberán de volver a depositarse en el agujero realizado con tal de evitar puntos de erosión o que cualquier accidente .
4. Debería de quedar rigurosamente prohibido utilizar mercurio o cualquier reactivo químico para amalgamar, disolver o limpiar las arenas y concentrados minerales. Todo ello debe de realizarse en laboratorios especializados.
5. No debería poder utilizarse ingenios mecánicos para extraer, bloques, gravas, arenas o limos a excepción del pico y la pala clásicas. Igualmente no se debería poder utilizar bateas o cualquier concentrador mecánico, eléctrico o hidráulico a excepción de la clásica batea. Se trata de realizar un deporte y conocer la naturaleza y no hacerse rico.
6. El incumplimiento de estas normas, deberían de poder ser sancionadas administrativamente o penalmente por las autoridades gubernativas competentes.

Los ríos son zonas peligrosas, por las crecidas súbitas del nivel del agua, especialmente si las zonas de bateo se encuentran cerca de grupos hidroeléctricos.

## **BUEN BATEO**



**AGRADECIMIENTOS:** *Quiero agradecer el soporte recibido con los proyectos CICYT ( GEO89-0156) y CDTI (TAM-2001-0223) y a la empresa Sorigué S.A.*