

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**RECUPERACIÓN ECOLÓGICA DE ORO DE LOS PLACERES
ALUVIALES DEL SECTOR TANTAMAYO POR LA EMPRESA
MINERA AURÍFERA COLIBRÍ SAC – AUCAYACU - 2017**

T E S I S

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

Bach. Miguel Ángel VALVERDE LUIS

CERRO DE PASCO – PERÚ – 2017

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**RECUPERACIÓN ECOLÓGICA DE ORO DE LOS PLACERES
ALUVIALES DEL SECTOR TANTAMAYO POR LA EMPRESA
MINERA AURÍFERA COLIBRÍ SAC – AUCAYACU - 2017**

SUSTENTADA Y APROBADA, SIENDO JURADO CALIFICADOR

**Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
PRESIDENTE DEL JURADO**

**Ms Sc Ramiro SIUCE BONIFACIO
MIEMBRO DEL JURADO**

**Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ
MIEMBRO DEL JURADO**

**Ms Sc Pelayo Hugo VASQUEZ BERROCAL
ASESOR DE TESIS**

*A DIOS FUNDAMENTALMENTE
Y A MIS PADRES POR HABERME
DADO EL REGALO MÁS PRECIADO
AL IGUAL QUE LA VIDA MI
PROFESIÓN, POR LA CUAL VIVIRÉ
ETERNAMENTE AGRADECIDO.*

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo general determinar el método de explotación a desarrollar; después de tener la certeza de las reservas cubicadas probables de oro y sobre la formación geológica, elaborar el sistema de extracción y procesamiento.

Este estudio se aborda desde el enfoque cuantitativo, del tipo aplicado y un diseño de investigación experimental y tiene cuatro etapas de desarrollo de la investigación del siguiente modo: el primero después de realizar las calicatas para calcular el volumen total de arenas aluviales existentes en la concesión otorgada, se determinó in situ apoyado de la batea del lavador de oro, las reservas probables de oro que ascienden a 8,7 toneladas de oro libre. En base a estos datos se ha diseñado el sistema de extracción, acarreo procesamiento y cierre de las operaciones.

Se concluyó que en una primera fase se desarrollara pruebas de pilotaje con una planta instalada de treinta toneladas por día y a esa escala paga sus costos, como también fue al realizar las calicatas.

Palabras claves: Cubicación de reservas, Método de explotación, concentración gravimétrica y desarrollo sostenible.

ABSTRACT

The general objective of this research was to determine the exploitation method to be developed; After having the certainty of the probable cubed reserves of gold and on the geological formation, elaborate the extraction and processing system.

This study is approached from the quantitative approach, the applied type and an experimental research design and has four stages of research development as follows: the first after carrying out the pits to calculate the total volume of alluvial sands existing in the concession granted, it was determined in situ supported from the gold washer's punt, the probable gold reserves amounting to 8.7 tons of free gold. Based on these data, the extraction, haulage processing and closing of operations system has been designed.

It was concluded that in the first phase piloting tests were carried out with an installed plant of thirty tons per day and at that scale it pays its costs, as it also did when carrying out the pits.

Keywords: Reserve quantification, exploitation method, gravimetric concentration and sustainable development.

CONTENIDO

DEDICATORIA	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
CONTENIDO	IV
TABLAS Y GRÁFICOS	V
INTRODUCCIÓN	VI

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Determinación del problema	1
1.2	Formulación del problema	4
1.2.1	Problema general	4
1.2.2	Problemas específicos	4
1.3	Objetivos	4
1.3.1	Objetivo general	4
1.3.2	Objetivos específicos	5
1.4	Justificación del problema	5
1.5	Importancia y alcances de la investigación	5
1.6	Limitaciones	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes	7
2.1.1	Antecedentes nacionales	7
2.1.2	Antecedentes internacionales	9
2.2	Bases teórico científicas	11
2.2.1	Formación geológica de los placeres aluviales	11

2.2.2	Explotación de los placeres aluviales	24
2.2.3	Concentración de oro de placeres aluviales	32
2.2.4	Recuperación ambiental	34
2.2.5	Desarrollo sostenible	35
2.3	Definición de términos básicos	35
2.4	Hipótesis	36
2.4.1	Hipótesis general	36
2.4.2	Hipótesis secundaria	36
2.5	Identificación de variables	37
2.5.1	Variables independientes	37
2.5.2	Variable dependiente	37
2.5.3	Variable interviniente	37

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1	Tipo de investigación	39
3.2	Diseño de investigación	39
3.3	Método de investigación	39
3.4	Población y muestra	39
3.5	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	41
3.6	Técnicas de procesamiento y Análisis de datos	43
3.7	Tratamiento estadístico de datos	51

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Presentación de resultados	54
4.1.1	Clasificación de oro en placeres	54
4.1.2	Análisis granulométrico de la muestra compósito	54
4.1.3	Pruebas de concentración en Jigs	55
4.1.4	Pruebas de concentración en mesas vibratorias	56
4.1.5	Pruebas de concentración gravimétrica en el concentrador Falcon	58
4.2	Tratamiento estadístico e Interpretación de datos	58
4.2.1	Pruebas de concentración en jigs	58
4.2.2	Pruebas de concentración en mesas vibratorias	60

4.3	Prueba de hipótesis	62
4.4	Discusión de resultados	63
	CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES	68
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	69
	ANEXOS	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de pepitas de oro	23
Tabla 2	Variables intervinientes	47
Tabla 3	Variables intervinientes	49
Tabla 4	Clasificación de oro en placeres	54
Tabla 5	Análisis granulométrico	55
Tabla 6	Distribución granulométrica de oro libre	55
Tabla 7	Diseño factorial con dos variables	56
Tabla 8	Balance metalúrgico de pruebas experimentales	56
Tabla 9	Diseño factorial con dos variables	57
Tabla 10	Balance metalúrgico de pruebas experimentales	57
Tabla 11	Balance metalúrgico del concentrador Falcon	58
Tabla 12	Efecto de las variables de las pruebas de concentración en Jigs	58
Tabla 13	Resultados del modelo propuesto	59
Tabla 14	Efecto de las variables de las pruebas experimentales en mesas vibratorias	60
Tabla 15	Resultados del modelo propuesto	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Estructura interna de un flujo turbulento	18
Gráfico 2	Velocidades de caídas de agua de esferas de cuarzo y oro	19
Gráfico 3	Clasificación de forma de los cantos	20
Gráfico 4	Valores de redondez utilizando la fórmula de Cailleux y de Kuenen	21
Gráfico 5	Morfología de las partículas de oro	22
Gráfico 6	Liberación física del oro	24
Gráfico 7	Diseño de redes	41
Gráfico 8	Diseño experimental 2 ²	46
Gráfico 9	Diseño experimental 2 ²	48
Gráfico 10	Etapas de reducción de muestra	50

INTRODUCCIÓN

Una de las funciones básicas de la universidad es la investigación. La generación de conocimiento es una preocupación esencial de las universidades, es su razón de ser. Todos los programas en el mundo proponen un modelo curricular por competencias destinado a la formación del nuevo profesional capaz de resolver problemas sustanciales de la sociedad e innovar el conocimiento.

La tesis es la prueba “de fuego” que demuestra las competencias requeridas para obtener el grado académico. Se espera de ella una evidencia indiscutible de las competencias de investigación aprendidas en las aulas universitarias y se aplique al campo profesional.

El presente proyecto, titulado “Recuperación ecológica de oro de los placeres aluviales del sector Tantamayo por la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu – 2017”, es interesante porque se trata de arenas aluviales con apreciable cantidad de oro libre y que requiere una explotación ecológica y sostenible.

Los estudios desarrollados a través de las calicatas realizadas confirman la presencia de oro en toda la concesión y resulta prometedor para su explotación. Se encuentra dividido en cuatro capítulos; sigue una secuencia lógica propia de los proyectos de investigación, del siguiente modo:

CAPÍTULO I. Se determina la problemática, para formularlo en preguntas, sobre qué método de explotación se diseñará para extraer el oro presente, con las sub

preguntas que consisten en el diseño del sistema de explotación, acarreo del material y procesamiento. Su objetivo está referido a diseñar el método de explotación adecuado, justificando la presente investigación, dada la importancia que significa llevarlo a explotar el yacimiento en forma sostenible.

CAPÍTULO II. Se expone cuatro antecedentes referidos al tema, dos investigaciones nacionales y dos internacionales, plasmados en tesis, seguido de una descripción de las bases teóricas desde una perspectiva general a específica de la deposición del oro en placeres; hasta definir los métodos de cubicación y explotación; se plantea las hipótesis y se define las variables de operación.

CAPÍTULO III. Comprende el método de investigación: experimental; nivel experimental y tipo aplicativo, con diseño experimental, sobre una población de 6 cuadrículas y muestreo aleatorio simple; Cubicando la concesión y sobre ello diseñar el método de explotación a seguir.

CAPÍTULO IV. Los cálculos procesados en el capítulo anterior se presentan en tablas y ecuaciones, para luego la hipótesis ser contrastada, demostrándose que el nivel de aceptación de los datos es correcto al no rechazar la hipótesis nula.

CONCLUSIONES. Se concluye que el yacimiento es prometedor; las reservas de oro existentes demostradas en las calicatas desarrolladas y la etapa de concentración por gravimetría sugieren llevar adelante el proyecto.

El autor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Determinación del problema

En el Perú, debido a los altos precios del oro, se está extrayendo de suelos aluviales preferentemente de la selva peruana, en forma creciente más que en cualquier época, producido por los mineros informales y artesanales, en forma irresponsable con enormes costos para la salud humana y el ecosistema. Después de la remoción de las arenas es procesado por diversos métodos y el oro es capturado por el mercurio, siendo este elemento el primer contaminante de las playas y ríos de la selva con la consiguiente contaminación de la flora y fauna acuática.

El mercurio utilizado para la amalgamación del oro por los mineros es evaporado y arrastrado al suelo y a los cuerpos de agua por las lluvias, donde se transforma en metilmercurio, una forma de mercurio mucho más

tóxica. A través de los procesos de “bioacumulación” y “biomagnificación” el metilmercurio ingresa a los organismos vivos, donde se elimina muy difícilmente. Los efectos del metilmercurio en los seres humanos incluyen daños severos al sistema nervioso, malformaciones congénitas e incluso la muerte. Se calcula que en los últimos 20 años más de 3 000 toneladas de mercurio han sido arrojadas a los ríos amazónicos, contaminando el agua, a los organismos acuáticos y a las poblaciones humanas, que consumen el agua y el pescado. En Madre de Dios se estima que se producen entre 16 000 a 18 000 kg de oro al año, y por cada kg de oro extraído se utiliza unos 2.8 kg de mercurio.

La rentabilidad de este preciado metal ha conducido a muchos empresarios y ciudadanos de la sierra y selva peruana a extraer en forma desorganizada, destruyendo el ecosistema.

Estos antecedentes han obligado a los gobiernos a tomar medidas correctivas para que el estado sea beneficiario de los impuestos, se realice un trabajo sostenible para preservar la ecología y mejores condiciones de trabajo para el personal y su familia.

La minería artesanal en el Perú explota casi exclusivamente el oro, y se desarrolla principalmente en seis regiones en el país: Madre de Dios, Puno, Ica, Ayacucho, Arequipa y La Libertad. En las regiones de Ica, Ayacucho y Arequipa, la explotación minera artesanal se concentra en el territorio denominado eje Nazca – Ocoña (nombre asignado por el Instituto Geofísico del Perú).

Para el Ministerio de Energía y Minas, la más importante región según volumen de producción es Madre de Dios con el 59% del total de la producción artesanal de oro, Puno ocupa el segundo lugar con 21%, el eje Nazca – Ocoña en tercer lugar con 18% y finalmente La Libertad con 2% sobre el total de la producción aurífera artesanal.

Las regiones en donde se desarrolla la explotación minera artesanal de oro tienen yacimientos de distintas características. En la región de Madre de Dios, por ejemplo, las operaciones mineras se ubican principalmente en las localidades de la Llanura y el tipo de yacimiento es aluvial principalmente. En el eje Nazca - Ocoña, la mineralogía se desarrolla en filones o vetas de espesor reducido y alta ley. En Puno, existen yacimientos primarios de tipo veta y mantos, y yacimientos secundarios denominados placeres. Finalmente, en La Libertad, los yacimientos son de tipo filoneano o aluviales.

La empresa Minera Aurífera Colibrí SAC, tiene una concesión de seis cuadrículas (600 Ha.) en el sector Tantamayo, distrito de Aucayacu, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco; por el límite éste de la concesión pasa el río Tantamayo, el cual es alimentado por varios riachuelos con caudal variable por la temporada (invierno – verano); en el pasado esta área fue deforestado para la siembra intensiva de coca, luego la DEA para su erradicación regó sustancias tóxicas dejándolo eriazo con escasa vegetación actualmente.

Los moradores que viven en las cercanías del paraje fueron informados de las intenciones de la empresa de extraer oro de las arenas existentes y paralelo a la explotación estabilizar el suelo con la siembra de árboles perenes, generando empleos, tributos al estado y recuperación del suelo actualmente devastado.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Será posible desarrollar un modelo de explotación sostenible de oro de los placeres aluviales del sector Tantamayo por la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu – 2017?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será el diseño del modelo de explotación sostenible de oro de los placeres aluviales del Sector Tantamayo por la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu – 2017?
- ¿Cómo se desarrollará e implementará el proceso de explotación sostenible de oro de los placeres aluviales del sector Tantamayo por la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu – 2017?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo de explotación sostenible de oro de placeres aluviales del sector Tantamayo por la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu – 2017.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el modelo de explotación sostenible de oro de los placeres aluviales del sector Tantamayo por la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu – 2017.
- Desarrollar e implementar el proceso de explotación sostenible de oro de los placeres aluviales del sector Tantamayo por la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu – 2017.

1.4 Justificación del problema

El presente trabajo de investigación se justifica porque desarrollando pruebas experimentales que permita un proceso de explotación de oro ecológico, con estabilización de suelos removidos, ausencia de insumos químicos, reforestación y buenas relaciones con los pobladores del entorno, permitirá alcanzar los permisos social y ambiental correspondientes y podrá implementarse a nivel industrial.

1.5 Importancia y alcances de la investigación

Es importante el presente proyecto, porque para iniciar un proceso productivo, se debe tomar en consideración la preservación del medio ambiente, el crecimiento económico y sostenible de los pobladores y la tributación.

El alcance del modelo propuesto servirá como ejemplo para las demás empresas que trabajan en escenarios similares reestructuren su proceso productivo y se formalicen como buenos empresarios mineros.

1.6 Limitaciones

Las limitaciones que se tuvieron fueron la desconfianza del área a trabajar, para la toma de planos y muestras, porque los pobladores en el pasado eran productores de hojas de coca y derivados, a parte que fue una zona muy convulsionada y quedan rezagos de pensamiento inquieto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes nacionales

Manzanedo, Luis (2005) en la tesis “*La minería artesanal de oro en el Perú vista desde un enfoque organizacional*”, Pontificia Universidad Católica del Perú, concluye; la minería artesanal, es una actividad de sobrevivencia, desarrollada en un contexto de informalidad y de débil institucionalidad. Desde sus inicios se desarrolló en una ambigüedad normativa, que, a pesar de reconocerla, no la diferenciaba de la Pequeña Minería, la Mediana Minería, ni de la Gran Minería. Ante la baja rentabilidad de la minería artesanal muchos mineros artesanales optaban por operar de manera informal pues desde su percepción era más conveniente para ellos no cumplir la norma.

La tendencia nos muestra que en la actualidad los mineros artesanales buscan conformar organizaciones más pequeñas, flexibles, y con mayores niveles de confianza entre sus miembros, con fines orientados a elevar la productividad y rentabilidad de la actividad minera (organización del trabajo minero).

Mosquera, César et. al (2009) en su libro "*Estudio diagnóstico de la actividad minera artesanal en Madre de Dios*", Fundación Conservación Internacional, concluye; El perfil extractivista dominante en el desarrollo de la región ha comenzado a cambiar en los últimos años, emergiendo un frente productivo un frente conservacionista. Aunque la minería continúa siendo el motor del desarrollo de esta región y podría ser uno de los pilares de esta transformación, actualmente se encuentra retada por las nuevas visiones del desarrollo de la región, especialmente por la visión del frente conservacionista, debido a los impactos ambientales y los problemas sociales que han caracterizado hasta ahora a esta actividad.

En definitiva, el aprovechamiento de la riqueza mineral existente en el yacimiento aluvial del eje sur de la región no es incompatible de por sí con el desarrollo de los frentes productivo y conservacionista en la región, pudiendo más bien jugar junto a ellos un papel importante en un proceso de desarrollo humano sostenible en la región, especialmente por las características sociales y económicas de la minería artesanal y de pequeña escala. No obstante, esta actividad es

insostenible en las condiciones actuales, resultando necesario que integre a su vocación valores ambientales y sociales para poder acompañar a los otros frentes en una visión compartida de desarrollo sostenible de la región.

2.1.2 Antecedentes internacionales

La Unidad de Planeación Minera del Ministerio de Minas y Energía de Colombia (2007) en su publicación "*Producción más limpia en la minería del oro en Colombia*", concluye; Siempre que las condiciones lo permitan, es importante pensar en una minería de transferencia, es decir, ubicar en los espacios vacíos dejados por la explotación el material estéril producto de las labores, en minería a cielo abierto como en subterránea.

Los materiales estériles deben en lo posible ser depositados en lugares adecuados para luego retornarlos a las excavaciones, así como aprovechar las colas provenientes del beneficio de minerales como material de relleno subterráneo. Se debe evitar la compra de material de relleno con una buena disposición del material estéril producido en la mina.

Se requiere un planeamiento minero que permita diseñar los métodos de explotación y sistemas de desagüe, iluminación, ventilación, transporte, preparar adecuadamente la explotación para obtener una mayor eficiencia productiva y evitar la alta pérdida del mineral por falta de conocimiento de las características del yacimiento.

En yacimientos filoneanos o vetas, la explotación generalmente se lleva bajo tierra. Los sistemas de ventilación, sostenimiento, transporte y desagüe y todas las condiciones de seguridad en estas minas y entables deben cumplir con la normatividad vigente sobre la materia.

Se debe evitar la entrada de agua lluvia y de escorrentía a la mina, para lo cual se deben implementar canales perimetrales u otras labores en boca de mina. Si entra agua a la mina, ésta se debe capturar en los primeros niveles de la explotación y evitar que llegue a los niveles más profundos, para ello se pueden implementar bombas intermedias que pueden requerir menor mantenimiento y menos energía para extraer el agua y por tanto los costos se reducen.

La minería aluvial se lleva por diferentes métodos de acuerdo a las condiciones del yacimiento y por lo general a cielo abierto. El barequeo es una explotación de subsistencia realizada generalmente por mujeres, quienes lavan las arenas en bateas y en la mayoría de los casos en condiciones amigables con el medio ambiente, ya que no utilizan ningún químico para la recuperación del oro y el área intervenida es imperceptible.

En la minería de aluvión sin embargo existe el método subterráneo llamado “Guaches”, labor realizada por medio de pozos hasta alcanzar el depósito rico para luego explotar a los costados por medio de niveles o frentes cortos. Esta explotación se debe llevar con sumo cuidado especialmente en las labores de sostenimiento y control de aguas. El

área intervenida es mínima y de fácil mitigación o recuperación y gran parte de la madera se recupera para nuevas labores.

2.2 Bases teórico científicas

2.2.1 Formación geológica de los placeres aluviales

- **¿Qué son 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.

En una acepción más amplia, podemos definir los depósitos de tipo placer como: “la acumulación económica de minerales de alta resistencia físico-química procedentes de la disgregación 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.

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

- a) 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.
- b) 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.

- c) **Un fenómeno geodinámico - geomorfológico**, susceptible de acumular y preservar los elementos minerales liberados. ¹⁰

- **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

- ✓ 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.
- ✓ 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).
- ✓ 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.

- ✓ Cuando las acumulaciones, o parte de ellas de los placeres eluviales, diluviales y/o pro-aluviales, son removilizados, transportados y clasificados por las aguas, y depositados en los ríos (lecho vivo), en sus márgenes y/o en sus terrazas, los placeres resultantes se denominarán **aluviales**.
- ✓ 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

Foto 1. Placeres aluviales de barra



Fuente: Departamento de geología - Universidad de Barcelona - 2004

Foto 2. Placeres aluviales de cauce



Fuente: Departamento de geología - Universidad de Barcelona – 2004

Foto 3. Placeres aluviales de valle



Fuente: Departamento de geología - Universidad de Barcelona - 2004

Foto 4. Placeres aluviales de terraza



Fuente: Departamento de geología - Universidad de Barcelona - 2004

Foto 5. Placeres aluviales de delta



Fuente: Departamento de geología - Universidad de Barcelona - 2004

Otras clasificaciones de tipo general son:

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 bolsonadas.
- b) De concentración o ricos
- c) Pobres o aluvionales finos.

- **Introducción a las leyes hidráulicas**

- Conceptos básicos**

- ✓ La corriente de agua superficial asociada a la formación de placeres, es parcial o totalmente turbulenta.

- ✓ Esta se caracteriza por la fluctuación errática de su velocidad, de sus líneas de flujo y por un marcado carácter tridimensional.
- ✓ La fuerza media temporal del fluido, denominada de tracción o de fricción vendrá dada por:

$$\tau_o = \rho f g R S \quad (1)$$

$$\tau_{total} = \tau_o \left(1 - \frac{y}{J}\right) \quad (2)$$

Dónde:

R: Radio hidráulico que equivaldría a la profundidad **J** de la corriente.

D: La velocidad de fricción $U^* = \left(\frac{\tau_o}{\rho_f}\right)^{\frac{1}{2}} = (g^{j_s})^{\frac{1}{2}}$

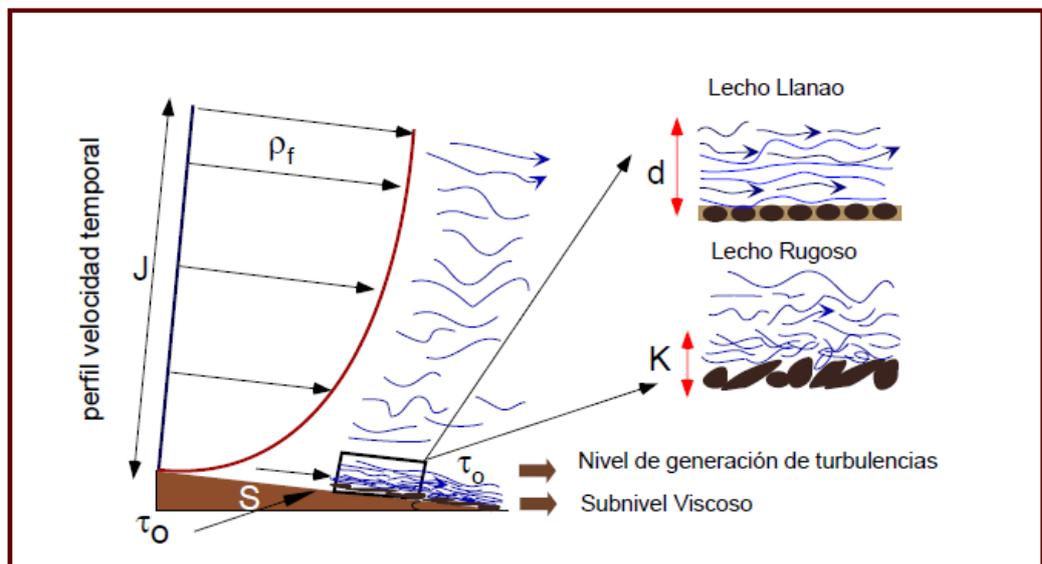
No puede ser medida directamente, y es muy inferior a la velocidad media del medio.

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 más 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, rifles, obstáculos en general), excede con respecto al espesor potencial del subnivel viscoso (65% del tamaño de distribución de granos según Einstein 1950 in Singerland and Smith 1986).

Gráfico 1. Estructura interna de un flujo turbulento



Fuente: Singerland and Smith, 1986

Donde:

J : profundidad de la corriente;

ρ_f : densidad del fluido;

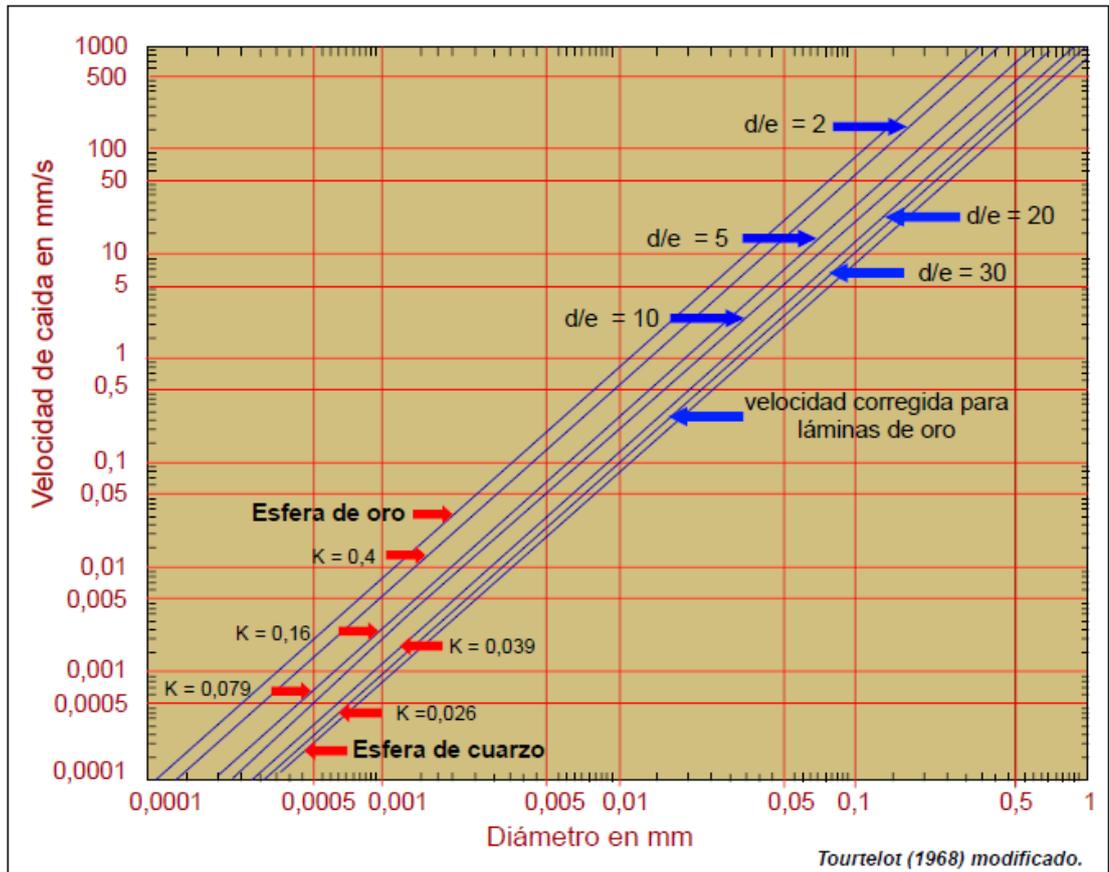
τ_0 : esfuerzo de fricción o cortante;

S : pendiente del lecho;

d : espesor de la capa viscosa;

K : altura de los elementos rugosos y zona tampón.

Gráfico 2. Velocidades de caída en agua de esferas de cuarzo y oro y láminas de oro a 15°C



Fuente: Tourtelot (1968)

Donde:

K : Volumen/(diámetro)³

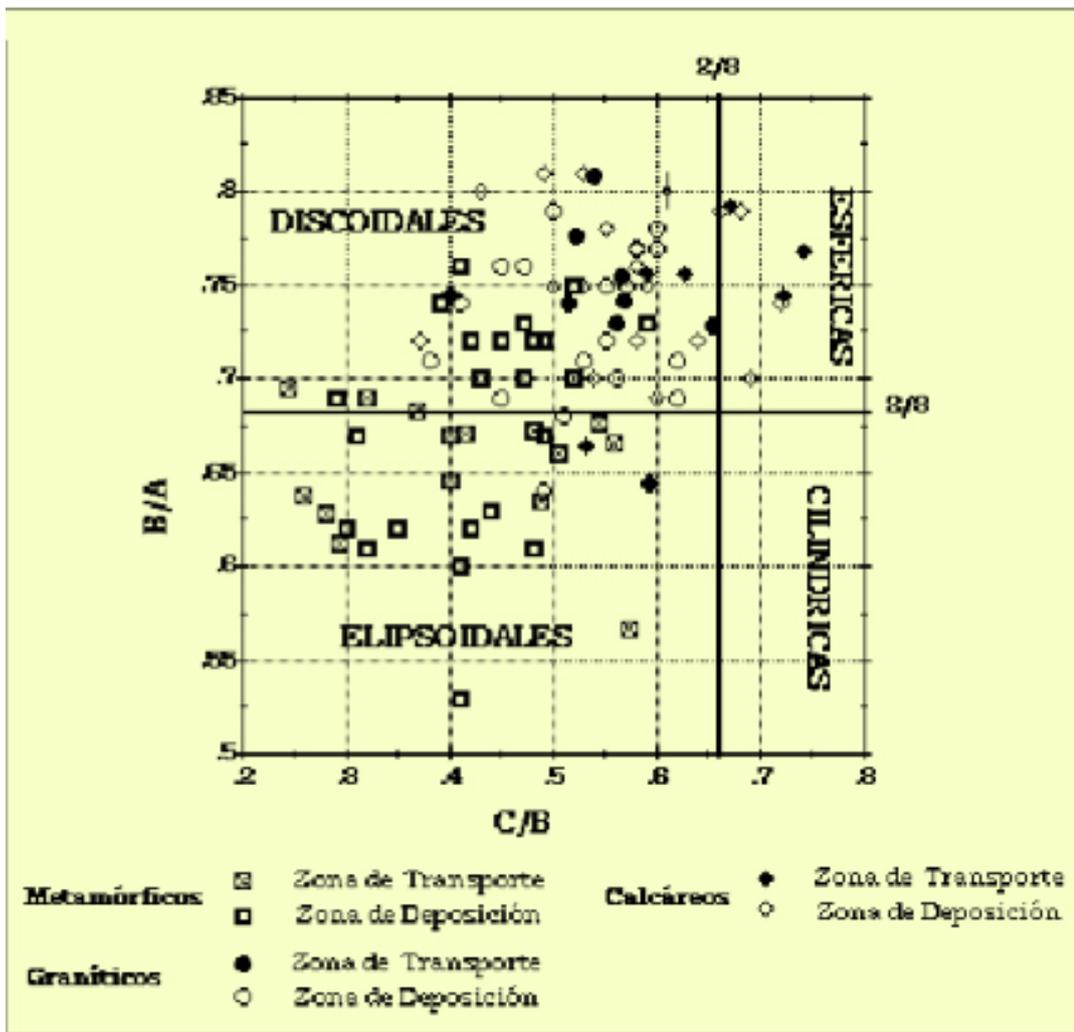
d/e : diámetro/espesor (láminas circulares)

- **Forma de las partículas**

Los parámetros más 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 solo como una tendencia a las cuatro formas fundamentales: discoidal, esférica,

elipsoidal o planar y cilíndrica a alargada, 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).

Grafico 3. Clasificación de formas de los cantos



Fuente: Zingg (1935)

✓ Esfericidad

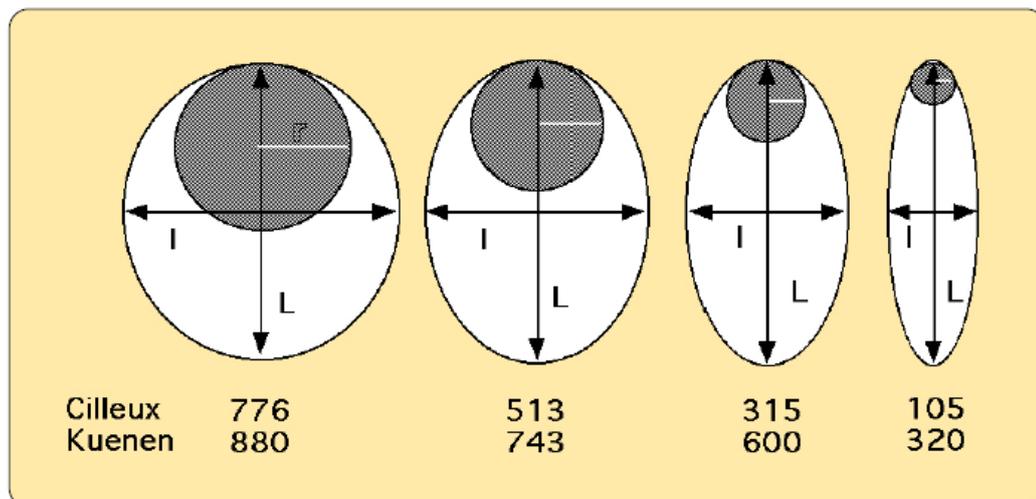
La esfera, es el máximo exponente del comportamiento hidráulico; es el sólido con menor superficie específica y por lo

tanto el que mayor velocidad de caída presenta y presenta menor velocidad crítica de arrastre.

✓ **Redondez**

La redondez 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

Gráfico 4. Valores de redondez utilizando la fórmula de Cailleux y de Kuenen

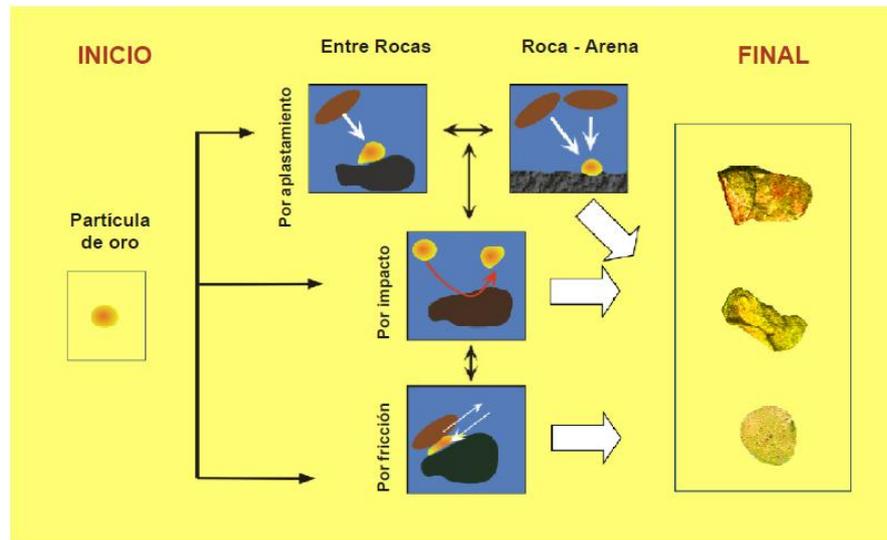


Fuente: Kuenen, 1956

Una partícula adquiere su morfología por:

- Aplastamiento
- Impacto
- Fricción

Gráfico 5. Morfología de las partículas de oro



Fuente: Kuenen, 1956.

- **Pepitas de oro**

El término **pepita**, procede al igual que “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 está asociado a la morfología de las partículas de oro y al color de la semilla ya que después de la observación de numerosas morfologías de partículas de oro, la semilla más parecida sería la del melón y de la calabaza. Este término, universalmente aceptado ha sido adaptado también al francés pépite (pépin). En 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).

Tabla 1. Clasificación de pepitas de oro

	Peso (mg)	Diámetro (mm)
Polvo de oro	< 1	< 0,3 mm
Chispas	< 10	0,3 – 1,0 mm
Oro grosero	10 - 50	1,0 – 2,0 mm
Oro pepítico	50 - 200	2,0 – 3,0 mm
Pepitas	>200 mg	>3 mm

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 mg, 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.

Gráfico 6. Liberación física del oro

AREA FUENTE	FORMAS MORFOLÓGICAS	Ley en Plata	
A. Depósito Primario 		5 -12%	
B. Bloques y gravas que se descomponen durante su transporte 			
C. Terrazas 			inferior al 3%

Fuente: Prospección de placeres de oro – Viladevall; M. (2004)

2.2.2 Explotación de placeres aluviales

Además de la extracción del oro mediante dragas y dragalina en gran escala, hasta hace poco se extraía gran parte del oro en forma artesanal mediante carretillas alimentándose a la parte superior de un sistema de sluices, que son canaletas inclinadas con rifles pequeños en el fondo para retener el oro colocados en forma perpendicular al flujo de agua, además colocan una lona tendida a lo largo del sluide, cada cierto tiempo se cosecha el oro y materiales pesados que quedan atrapados en las lonas posteriormente estas arenas negras (así lo llaman los lavadores de oro) se amalgama con mercurio metálico quedando el oro en forma de amalgama (Au.Hg), luego mediante una franela se logra separar el mercurio rehusándose nuevamente. El oro queda con algo de mercurio

adherido a su superficie, es refogado al soplete para eliminar todo el mercurio remanente. El oro refogado de la zona de Madre de Dios es de muy buena calidad y llega a tener una pureza de 900 a 950 ppm vendiéndose así en la zona de producción. A partir de los años 90 y 91 (Informe Especial del Comercio 21-1-97) las carretillas y bombas de agua han sido reemplazadas por poderosos cargadores frontales, volquetes, retroexcavadoras y motobombas y se realiza el beneficio en gran escala; no habiendo cambiado las otras variables, es decir, en resumen sólo se ha incrementado el volumen tratado sin mejoras en la recuperación del oro, principalmente el oro fino a hidrófobo, debido a que este presenta flotabilidad natural en la superficie del agua, perdiéndose con los sistemas de tratamiento actual.

De acuerdo a la geomorfología se puede distinguir las siguientes técnicas de explotación dependiendo de la ubicación del depósito.

✓ **La Batea:**

La operación más sencilla en la explotación de un yacimiento aurífero es efectuada por la batea por ser el más simple; consta de una sola pieza y es manipulada por un solo operario. La batea es un plato de acero o de madera de 25 a 55 centímetros de diámetro y de 5 a 7,5 centímetros de profundidad con los bordes inclinados de 30 a 40 grados respecto a la horizontal. En la operación la batea se llena de arena, grava o tierra aurífera se sumerge en agua corriente y se hace girar lo más rápidamente posible hasta que la arena fina y la arcilla, sean separadas de la acción combinada de la fuerza centrífuga y del agua,

también para provocar que las partículas pesadas al separarse de la masa se vayan al fondo, los livianos se desprendan por el borde de la batea con el movimiento circulatorio de la masa en suspensión. Al fin de la operación los granos de oro se encuentran en el fondo de la batea, asociado con otro mineral pesado.

✓ ***La Criba o Mecedora:***

El cribado o tamizado es una operación de distribución, donde una mezcla de minerales de diferentes tamaños y de distintos pesos específicos separados en fracciones, por la acción de una corriente de agua sobre una grava aurífera colocada sobre un tamiz o criba en una tolva. La criba consiste de una caja pequeña, cuadrangular, alargada sin tapa, abierta en cuya parte superior hay un tamiz formado por una lámina de plancha de hierro por agujeros y debajo del cual se encuentra una segunda caja dividida en compartimientos, hechos con travesaños de madera o de acero, llamados también rifles; En la primera caja cae un chorro de agua sobre el material aurífero o grava, los fragmentos mayores que admiten el tamiz son rechazados y separados mecánicamente al comienzo de la operación. Los fragmentos de dimensiones menores a los del tamiz, son arrastrados por la corriente de agua a un conducto y de allí al piso inclinado de la caja, con los rifles o lonas donde quedan atrapados los pequeños granos de oro que corren en la parte inferior de la corriente de agua; el material restante continua en la parte superior y es expulsado con la corriente de agua. El material retenido en los rifles es sometido a un lavado en una cubeta especial para recobrar el oro. Durante la operación el aparato o criba puede recibir movimientos, impulsos manuales o mecánicos que completan la acción de la corriente del agua

✓ ***El Sluice:***

La utilización de sluices o canales es el método y barato a emplear, de fácil construcción, fáciles de transportar de un lugar a otro, de buen rendimiento, simple de operar y no requieren obreros especializados en su operación. El sluice es un largo cajón, por lo general de madera, inclinado en una proporción de 1 a 20°, por donde corre rápidamente agua arrastrando la grava aurífera. El oro y cualquier otro mineral pesado, es retenido por una serie de rifles convencionalmente dispuesto a lo largo del piso del sluice.

La longitud del sluice debe ser tal, que permita la desintegración de la grava y la liberación de las partículas de oro. En pequeñas operaciones de placer las gravas son vaciadas directamente en las cabeceras de los sluices. Las gravas extraídas del placer son transportadas al sitio del sluices en carretillas si la extracción es más alejada; caso contrario es bombeado de las partes bajas para remover mayores volúmenes de arena aurífera.

✓ ***Explotación por Dragalina:***

La dragalina es una pala de cable o cuchara de arrastre que utiliza una larga pluma reticular, dos cables de tiro se colocan dentro del área a excavar, el cable de arrastre tira de la cuchara hacia la maquina por su peso, de forma que se llene por si misma; una vez llena es izada por medio del segundo cable y es llevada con un giro de la maquina hacia el sitio de descarga donde es vaciada. La dragalina es utilizada para excavar a largas distancias en terrenos húmedos o fangosos, donde los volquetes no pueden ser utilizadas.

✓ **Carretilla:**

Consiste en el armado de una tolva inclinada sobre un caballete de madera y un triángulo de palos que lo soporta y mediante el cual el minero regula la inclinación de la tolva. Sobre la tolva es colocada plástico y encima una alfombra que tiene por función atrapar las partículas finas y pesadas. En la parte más alta de la tolva es colocada una zaranda (generalmente es una plancha metálica confeccionada a partir de un cilindro con perforaciones de 1 a 1,5 pulgadas) para separar el material grueso. (Arana, 2003). Por lo general es aplicado en época de verano, y eventualmente en el invierno, sobre todo en las partes altas de micro cuencas donde la creciente del río y quebradas merma rápidamente, permitiendo el laboreo en las playas más altas. Para poner en marcha el método de la carretilla los mineros remueven el terreno (generalmente de las playas, aunque eventualmente se realiza en el monte en cuyo caso es denominado carretilla y descarga) con la ayuda de palas, separando las piedras grandes de forma manual. Una vez removido el material este es cargado a carretillas, y con apoyo de una rampa, es descargado sobre la zaranda.

✓ **Canaleta:**

El método de la canaleta, a diferencia de la carretilla, el material no es descargado directamente en la zaranda sino en un canal abierto sobre el terreno donde se bombea el agua a fin de arrastrar el lodo hasta la zaranda y tolva. Este método es aplicado tanto en playas como en monte.

✓ **Arrastre:**

Aplicado generalmente en zonas de pie de monte. Se efectúan preferentemente en las partes altas de los acantilados de las terrazas colgadas. Este método consiste en la instalación de una bomba fija mediante la cual se bombea agua a presión contra el talud de la ribera del río o quebrada, el cual se va erosionando poco a poco. El lodo discurre por gravedad con la ayuda de un canal hacia la zaranda y tolva las que son similares a las empleadas en el método de carretilla.

✓ **Caranchera:**

Se aplica en la llanura amazónica, sobre todo en los cauces de los ríos o playas. Consiste en la succión del material debajo del nivel freático a través de mangueras (4' ± 6') que son movidas de un punto a otro por un buzo. Se utilizan bombas; por lo general, son a Diesel. El material succionado pasa a una tolva ubicada en tierra, dispuesto de una zaranda y una canaleta provista de una alfombra en la que se deposita la arenilla aurífera.

✓ **Chupadera:**

Este método de extracción se emplea en pie de monte y en terrazas de llanura. Se realiza en tierra firme, por ende, puede ser ejecutado durante todo el año. Para operar necesariamente tienen que desbrozar el área a trabajar y disponer de una fuente de agua cercana (río, quebrada, aguajal o laguna). Mediante una bomba fija (18 - 20 HP) ingresa una presión de agua al área de trabajo para formar un lodo. Otra bomba (90 ± 120 ± 180 HP) es instalada para bombear el lodo hacia la zaranda y tolva provista de una canaleta con alfombra

donde se deposita la arenilla aurífera. La tolva se encuentra a una mayor altura que en los métodos anteriores con la finalidad de acumular mayor cascajo en vista que este método es menos móvil que los anteriores. Una característica del área de trabajo es que se va formando una gran abertura de forma irregular en el suelo que puede alcanzar hasta 10 m de profundidad.

✓ **Balsa Gringo:**

Consiste en un dragado por succión y es utilizado en los cauces de los ríos (playas inundables). Es una unidad móvil que puede operar durante todo el año, y puede succionar material directamente del lecho del río, de las playas inundables e incluso de los acantilados. La balsa comprende una plataforma de madera sobre dos canoas también de madera, y en la parte superior, un techo provisto de una zaranda y canaleta para lavado del material aluvial, aunque generalmente en época de estiaje, se arma una tolva en la playa de los ríos. En la plataforma se encuentra la bomba de succión (18, 20 incluso 90 HP), manguera de succión, tubos de PVC, el combustible, otros accesorios y un lugar de descanso para los operarios. En el extremo de la manguera de succión hay una armazón de metal que facilita su anclaje, y junto al palo que permite orientar el punto de anclaje, se le conoce como gringo. El material succionado sale a través del tubo de PVC colocado en una tolva instalada generalmente en la playa. El material grueso es depositado en la playa y el material fino luego de discurrir a lo largo de la canaleta se dirige nuevamente al cauce del río. El método de balsa gringo es el método que más se aplica.

✓ ***Chute y Cargador frontal:***

Este método requiere una mayor inversión de capital en comparación con los métodos anteriores ya que comprende la adquisición o alquiler de maquinaria pesada (cargador frontal y volquete) y el pago a los operarios de estas máquinas además de los otros gastos de operación. Se realiza durante todo el año en los lechos de ríos y quebradas, así como en la apertura y corte de riveras hacia el monte. Requiere, como en los demás métodos, de una fuente de aprovisionamiento de agua, pero de mayor volumen, hecho que limita su operación en algunas zonas en la época de estiaje. Realizado el desbroce del área de trabajo, el cargador frontal efectúa los trabajos de arranque, carguío y transporte de material al módulo o Shute; así como de la limpieza de las canchas. El volquete fundamentalmente se encarga del transporte del material al chute. La tolva está provista de una canaleta de madera cubierta de una alfombra en la que se deposita la arenilla aurífera. El volumen de material explotado diariamente depende de la capacidad de la cuchara del cargador frontal, distancia del frente de explotación al chute, velocidad del lavado del material, entre otros. Con este tipo de maquinaria pueden procesar 900 m³/día (Dirección Regional de Minería, 1999).

✓ ***Dragas de succión:***

Este método se aplica en los lechos del río. Disponen de manguera de succión de 8", 10" y 12" de diámetro para extraer el material del fondo del cauce del río, cuya operación requiere de una bomba de sólidos (25 ± 90HP). La arenilla aurífera es recuperada del material succionado de manera similar a los métodos descritos anteriormente. Por otro lado, cabe mencionar que un pie de monte o

llanura antes de su abandono. En muchos casos, sobretodo en llanura aluvial, vuelven nuevamente al lugar, remueven y lavan el material anteriormente trabajado y acumulado aplicando otros métodos o los mismos. El mismo lugar puede ser trabajado por varios métodos durante el año. Por ejemplo, inicialmente pueden hacerlo a través de métodos artesanales, luego con semi - mecanizados o maquinarias dependiendo del lugar si es factible su acceso.

2.2.3 Concentración de oro de placeres aluviales

Los métodos utilizados en recuperar oro de los placeres aluviales son:

- ✓ Concentración gravimétrica por mesas gravitatorias.

Proceso seguido después de realizar etapas previas de tamizado en húmedo y obtener una granulometría menor a 1/4" de diámetro; el material es procesado en mesas obteniéndose tres productos: materiales densos, medios y livianos, y el oro se concentra dentro de los materiales densos para luego por amalgamación obtener el producto final.

- ✓ Concentración en Jigs

Al igual que el anterior el material es tamizado a mallas menores a 1/4" y con la ayuda del agua, se procede a concentrar el material denso por la parte inferior y el material que tiene menos densidad es retirado por rebose de los jigs, que pueden trabajar en forma individual o en serie.

✓ Amalgamación

El proceso de amalgamación se realiza utilizando canaletas y al final del mismo se deposita el mercurio en rifles quienes detienen al oro; en la base de las canaletas se instala lonas o alfombras quienes ayudan a retener al oro amalgamado que luego de cierto tiempo es recogido en recipientes, comprimido el mercurio para luego llevarlo a la retorta y eliminar el mercurio. Proceso altamente tóxico si se realiza sin se efectúa sin el cuidado correspondiente.

✓ Concentrador Knelson

Equipo utilizado en la recuperación de oro utilizando solo agua a presión; para esto se debe tener el material previamente molido, en todo caso tamizado a malla 200 y con un acondicionamiento previo con una densidad de pulpa de 1250 gr/l aproximadamente, depositarlo en el concentrador Knelson y por la fuerza centrífuga el oro debido a su mayor peso específico es atrapado en las canaletas existente alrededor del receptor de pulpa para luego retirarlo por medios físicos y llevarlo a fundición para su aglutinación.

✓ Molienda fina

El mineral de oro es sometido a molienda fina (mallas 350) y a esta granulometría el oro encapsulado se libera llegando a recuperar hasta un 85% en seco; por cierto, el oro con un

diámetro de 1 a 5 micrones será difícil de recuperarlo, salvo por otros métodos entre ellos cianuración, tiourea.

2.2.4 Recuperación ambiental

En el país, la extracción de oro data desde la época inca, quienes trabajaban las minas de la sierra de Trujillo, siguiendo el cauce del río Marañón; fuente de inspiración a Cesar Vallejo para escribir “La serpiente de oro”, la región Cajamarca, Ica, Apurímac, Cusco, Puno y los placeres auríferos de Madre de Dios. En 1970, Pacherez, mientras se encontraba pescando en Laberinto (Madre de Dios), encuentra ocasionalmente oro en apreciables cantidades en las arenas del río del mismo nombre, generando una conmoción y traslado de muchas personas a todos los ríos de la selva baja, iniciándose una explotación irracional al ecosistema difícilmente recuperable ambientalmente. (Junquera Rubio 1978: 57-69, 1978: 77-92, 1991, 1995, 2004, 2005).

La extracción de oro de placeres aluviales y del fondo de los ríos se realiza en todo el mundo; los países que tienen leyes claras y funcionarios correctos realizan una explotación responsable, en nuestro país sucede lo contrario por tener leyes incongruentes y malos funcionarios; poco o nada hacen por realizar un trabajo sostenible para la posteridad en cual se quiere exceptuar al realizar la extracción de oro en Aucayacu con las mínimas consideraciones de riesgo para el ambiente.

2.2.5 Desarrollo sostenible

En el país, en sus inicios eran personas que se dedicaban a la extracción de oro aluvial; posteriormente los más impetuosos o los afortunados que consiguieron obtener una apreciable cantidad de oro en corto tiempo, ocasionándole mayor ambición e introduciendo maquinaria pesada para remover volúmenes y la utilización indiscriminada de mercurio.

Los trabajadores siguen siendo jornaleros temporales con un salario que no genera sostenibilidad en la población, por la informalidad al no tener seguros, jubilación, pago de impuestos al estado, destrozo medio ambiental, contaminación de los ríos por mercurio y conduciéndolo a convertirse en tierra de nadie.

La sostenibilidad no se observa en las zonas auríferas, porque las ganancias son invertidas en otras latitudes y la participación del estado es mínima.

2.3 Definición de términos básicos

- **Explotación sostenible:** Método de extracción de algún material para ser procesado con rentabilidad económica.
- **Placeres auríferos:** Comprende las orillas de los ríos y preferentemente los meandros donde se deposita el oro transportado de las zonas altas.

- **Procesamiento ecológico:** Método de extracción del oro por métodos físicos sin el uso de reactivos, conservando el entorno de la zona de producción.
- **Prospección aluvional:** 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.
- **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.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

Si desarrollamos un modelo de explotación sostenible de oro de placeres aluviales, entonces; influirá en las operaciones y entorno social en el sector Tantamayo por la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu - 2017.

2.4.2 Hipótesis específicas

- El diseño del modelo de explotación sostenible de oro de placeres aluviales influirá en el proceso productivo en el sector Tantamayo por la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu - 2017.
- El desarrollo e implementación del proceso de explotación sostenible de oro de los placeres aluviales del sector Tantamayo

propuesto influirá en las operaciones de la empresa Minera Aurífera Colibrí SAC – Aucayacu – 2017.

2.5 Identificación de variables

2.5.1 Variable Dependiente

- Rentabilidad

2.5.2 Variables Independientes

- Cubicación de reservas
- Extracción de gravas y arenas aluviales.
- Proceso de concentración de oro
- Estabilización de material removido.
- Revegetación.

2.5.3 Variable interviniente

- Sostenibilidad

Variables	Dimensiones	Indicadores
Dependiente: Recuperación de oro		Gramos/día
Independientes: Cubicación de reservas	Reservas probadas y probables	Kg de oro probado y probable
Extracción de gravas y arenas aluviales	Método de explotación	Toneladas/día
Concentración de oro	Concentración gravimétrica	% Recuperación de oro

Estabilización de relaves y/o arenas removidas	Método de deposición final de relaves auríferos	M ² recuperados
Revegetación	Siembra de gramíneas y arbolitos	% de árboles vivos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicado

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación seguido es EXPERIMENTAL.

3.3 Método de investigación

El método de investigación desarrollado es el APLICADO

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La Concesión minera comprende 6 cuadrículas, equivalente a 600 hectáreas, adquiridas por la empresa, ubicado en el sector Tantamayo, distrito de Aucayacu, región Huánuco.

3.4.2 Muestra

Para determinar las reservas probadas y probables del yacimiento aluvial se procedió a realizar el muestreo aleatorio simple, donde cada muestra tiene una probabilidad de inclusión igual y conocida de n/N .

Para calcular el número de muestras a obtener (calicatas) se partió de los siguientes valores:

n	=	Tamaño de la muestra	=	
z	=	Nivel de confianza (95%)	=	1,96
p	=	Proporción (50%)	=	50
q	=	Proporción (50%)	=	50
N	=	Tamaño de la población	=	600
e	=	Error máximo permitido (3%)	=	3

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + z^2 p * q} \quad (1)$$

Reemplazando se tiene:

$$n = \frac{(1,96)^2 * 50 * 50 * 600}{3^2(600 - 1) + (1,96)^2 * 50 * 50} = 235$$

En este caso, se realizó una excavación por hectárea haciendo un total de 235 excavaciones o puntos de muestreo, denominados también calicatas; elegidos al azar, una calicata tiene las siguientes dimensiones: 1 m x 1 m de sección cuadrada, por la profundidad de las arenas; este trabajo permitió determinar el espesor de arenas auríferas y el contenido de oro presente. Los resultados obtenidos se pueden observar en el Anexo.

Cabe resaltar que la zona no tiene una vegetación densa, al contrario, se muestra casi eriza debido a que en el pasado la siembra de coca era intensiva y en determinado momento la DEA, regó con sustancias tóxicas que destruyeron la flora y fauna de este sector y por

eso los moradores de la zona dieron el permiso social, para remover las arenas y después de esta actividad, volverlo a estabilizarlo el suelo para reverdecer.

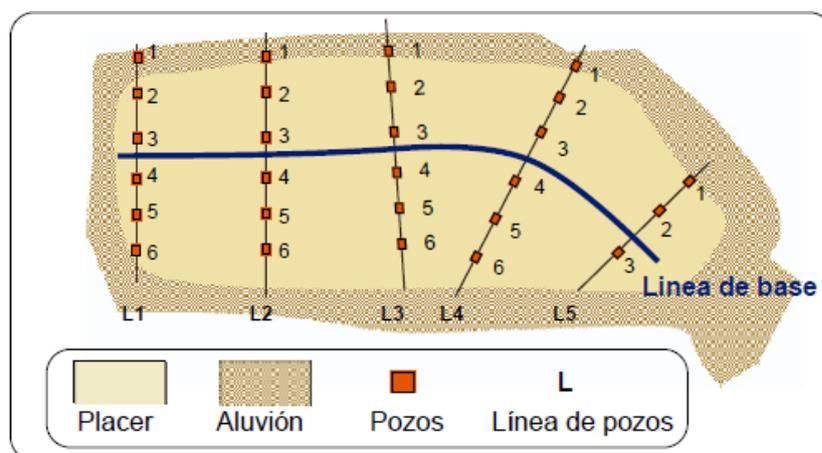
3.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se realizó las siguientes actividades:

- Elaboración de planos de la concesión.
- Cubicación de reservas.
 - *Técnicas de recolección de datos.*

Para la obtención de datos se empleó el diseño de redes, tal como se observa en el siguiente gráfico.

Gráfico 7. Diseño de redes



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el peso específico medio se empleó la técnica del picnómetro.

Para calcular el contenido de oro por m³ se empleó la técnica del bateo.

- *Instrumentos de recolección de datos.*

Los instrumentos empleados para calcular el volumen de reservas fueron: Pala, pico, cargadora frontal, medida, zaranda de ½" de sección cuadrada.

Los instrumentos requeridos para calcular el peso específico fueron: balanza de 10 Kg, picnómetro, sacos, recipientes de agua.

Los instrumentos utilizados para determinar el contenido de oro fueron: la batea del lavador, mallas de 2, 4, 6 mm, lupa, imán y balanza de gramos.

- Pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio.

- Técnicas de recolección de datos

Para la colección de datos de las pruebas metalúrgicas por concentración gravimétrica se empleó la técnica del tamizado, stockes (jigs), diferencia gravitatoria (mesas vibratorias) y concentración centrífuga (concentradores Falcon). Los datos obtenidos se anotaron en tablas previamente establecidas.

- Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos empleados para la recolección de datos fueron: Balanza de gramos y balanza de kilos y accesorios como envases de plásticos.

- Análisis químico de las muestras obtenidas.

- Técnicas de recolección de muestras

La técnica empleada fue de cono y cuarteado para las arenas y para determinar el contenido de oro fue el bateado.

- Instrumentos de recolección de datos

Las herramientas empleadas fueron palas, batea.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó la hoja de cálculo; del siguiente modo:

- Cubicación de reservas
 - Técnica de procesamiento de datos.

Para el cálculo de reservas probables de arenas aluviales se empleó la siguiente ecuación:

$$\sum_1^n P = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{n} \quad (1)$$

Donde:

P = Profundidad media de calicatas

Reemplazando datos obtenidos de campo (Anexo 1):

$$\sum_1^{12} P = \frac{2,27 + 2,23 + 2,41 + 2,14 + \dots + 1,87}{12}$$

$$\mathbf{P = 2,42}$$

Para determinar el peso específico de las arenas aluviales se empleó en método del picnómetro:

$$Pe = \frac{M - A}{P + M - A - S} \quad (2)$$

Donde:

Pe = Peso específico

M = Peso del picnómetro + arena

A = Peso del picnómetro vacío

S = Peso de picnómetro + arena + agua

P = Peso de picnómetro + agua

$$\sum_1^n Pe = \frac{Pe_1 + Pe_2 + Pe_3 + \dots + Pe_n}{n} \quad (3)$$

Donde:

Pe = Peso específico medio de arenas obtenidas de cada calicata

Reemplazando datos experimentales obtenidos (Anexo 1):

$$\sum_1^{12} Pe = \frac{2,58 + 2,56 + 2,47 + \dots + 2,55}{12}$$

$$\mathbf{Pe = 2,53}$$

Volumen

$$= (\text{Largo} \times \text{Ancho})_{\text{Concesión}} \times \text{Profundidad}_{\text{Calicata}} \times \text{Peso específico}_{\text{medio}} \quad (4)$$

Reemplazando los datos experimentales obtenidos en la ecuación

(4), calculamos el volumen de arenas aluviales.

$$V = (2000 \text{ m} \times 3000 \text{ m}) \times 2,42 \text{ m} \times 2,53$$

$$\mathbf{V = 36\ 735\ 600 \text{ m}^3 \text{ de arenas aluviales}}$$

Para determinar las reservas probables de oro contenido en la concesión se realizó los siguientes cálculos:

$$\sum_1^n Gr Au_{promedio} = \frac{Cal_1 + Cal_2 + Cal_3 + \dots + Cal_n}{n} \quad (5)$$

Contenido de oro promedio en la concesión será (Datos

Anexo 1):

$$\sum_1^{12} Gr Au_{promedio} = \frac{1,43 + 1,05 + 1,47 + \dots + 1,15}{12}$$

$$Gr Au_{promedio} = 1,45$$

$$Reservas Probables = (Largo \times Ancho)_{concesión} \times Gr Au_{promedio} \quad (6)$$

Reemplazando en la ecuación (6) tenemos:

$$Reservas Probables = (2000 \text{ m} \times 3000 \text{ m}) \times 1,45 \frac{Gr Au}{m^2}$$

$$Reservas Probables = 8\,700\,000 \text{ gramos de oro} \\ = 8,7 \text{ Toneladas de oro}$$

- Análisis de datos

Al realizar las calicatas se puede observar que la profundidad de arenas depositadas tiene un promedio de 2,15 metros, encontrándose con estratos arcillosos del tipo montmorilloníticos y hematíticos.

Las reservas de oro en depósitos aluviales no se pueden determinar con certeza porque la deposición de oro no es uniforme y tiende a error, por lo tanto, se obtiene un valor aproximado.

- Pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio.
 - Técnica de procesamiento de datos.

Pruebas en Jigs, para el desarrollo de estas pruebas, las arenas se tamizaron a malla -1/4" y con esta granulometría se alimentó constantemente en la cama de billas de acero (gravedad específica: 8), que se encuentran depositados en la tolva de los jigs, complementado con una corriente constante de agua.

Se ha considerado el diseño factorial: 2^k (2 niveles, 2 variables), del siguiente modo:

$$N = 2^k = 2^2 = 4$$

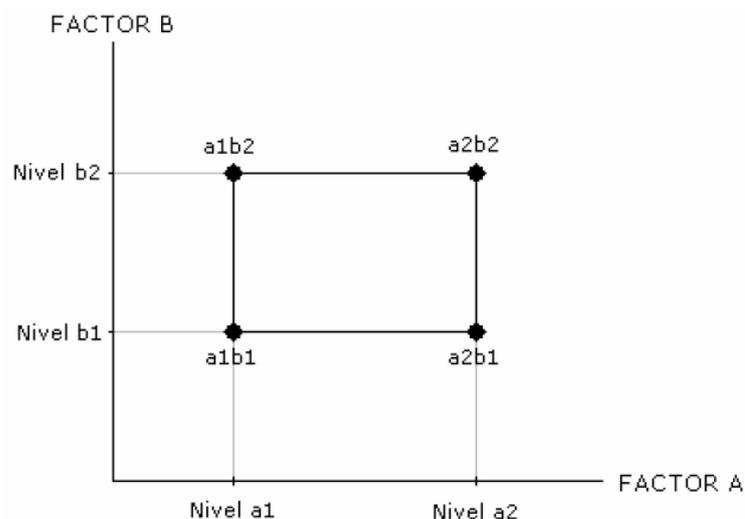
Dónde:

2 = Estados de la variable (menor y mayor)

N = Número de variables que intervienen

Las cuatro pruebas experimentales, corresponden a los vértices de un cuadrado.

Gráfico 8. Diseño experimental 2^2



Fuente: Elaboración propia

Las combinaciones del diseño factorial fueron:

Experimento	DISEÑO		Combinación de tratamientos	Respuesta
	Factor A	Factor B		
1	a ₁	b ₁	a ₁ b ₁	Y ₁₁
2	a ₂	b ₁	a ₂ b ₁	Y ₂₁
3	a ₁	b ₂	a ₁ b ₂	Y ₁₂
4	a ₂	b ₂	a ₂ b ₂	Y ₂₂

Las variables que participaron son:

Tabla No 2. Variables intervinientes

VARIABLES	ESTADOS	
	Máximo	Mínimo
Abertura de la excéntrica (émbolo)	3/8"	1/8"
Flujo de agua (l/hr)	54	18

- Análisis de datos

El concentrado obtenido (arena + oro), sometido a sucesivas etapas de lavado, permitió tener oro libre para luego ser pesado; las arenas de cabeza y relave fueron analizados vía seca en la empresa Oro Andino – Lima, datos que permitieron desarrollar el balance metalúrgico. Cabe resaltar que para cada prueba se procedió a experimentar con todo el material extraído de una calicata (2,8 Tm/calicata aproximadamente).

Concentración en mesas vibratorias; las arenas aluviales a procesar fueron tamizados a mallas -1/8", alimentándose la

pulpa constantemente a las mesas complementado con un flujo de agua a razón de 60 l/hr.

Se ha considerado el diseño factorial 2^k , con 2 niveles y 2 variables.

$$N = 2^k = 2^2 = 4$$

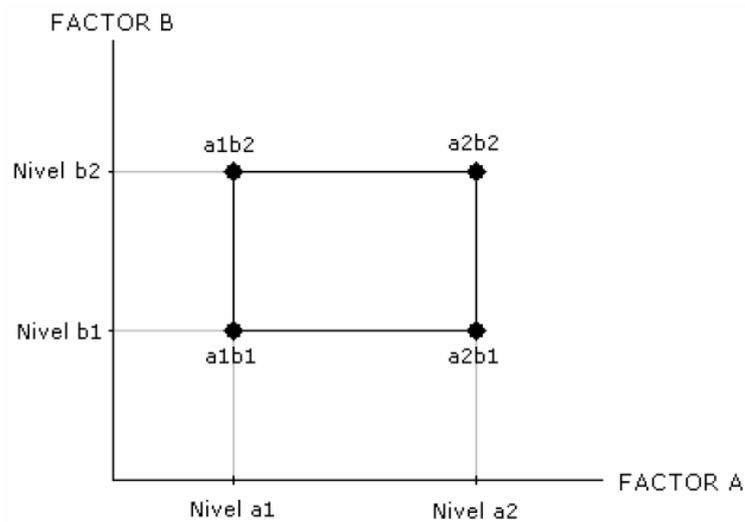
Donde:

2 = Estados de la variable (menor y mayor)

N = Número de variables que intervienen.

El total de pruebas experimentales son 4, que corresponden a los vértices de un cuadrado.

Gráfico 9. Diseño experimental 2^2



Fuente: Elaboración propia

Las combinaciones del diseño factorial son:

Experimento	DISEÑO		Combinación de tratamientos	Respuesta
	Factor A	Factor B		
1	a ₁	b ₁	a ₁ b ₁	Y ₁₁
2	a ₂	b ₁	a ₂ b ₁	Y ₂₁
3	a ₁	b ₂	a ₁ b ₂	Y ₁₂
4	a ₂	b ₂	a ₂ b ₂	Y ₂₂

Las variables y estados que intervienen son:

Tabla No 3. Variables intervinientes

VARIABLES	ESTADOS	
	Máximo	Mínimo
Amplitud del stroke	1/2"	1/8"
Ángulo de inclinación	6°	3°

Concentración gravitatoria Falcon; Al igual que en las anteriores pruebas experimentales, las arenas aluviales fueron tamizados al 100% a mallas -10, preparándose luego una pulpa con un ratio: 2/1 (Agua/arena), se emplearon 5 kg de arena para tener la suficiente cantidad de muestra en el concentrador.

Para una buena operación del concentrador lo ideal es la alimentación constante al tanque separador.

Las condiciones de operación a las cuales se trabajaron fueron:

Etapa	Dilución	Densidad de pulpa	Presión	Gravedad	Autopac	pH
Falcon	02:01	1350	2,5 PSI	200 G	68 Hz	7,5

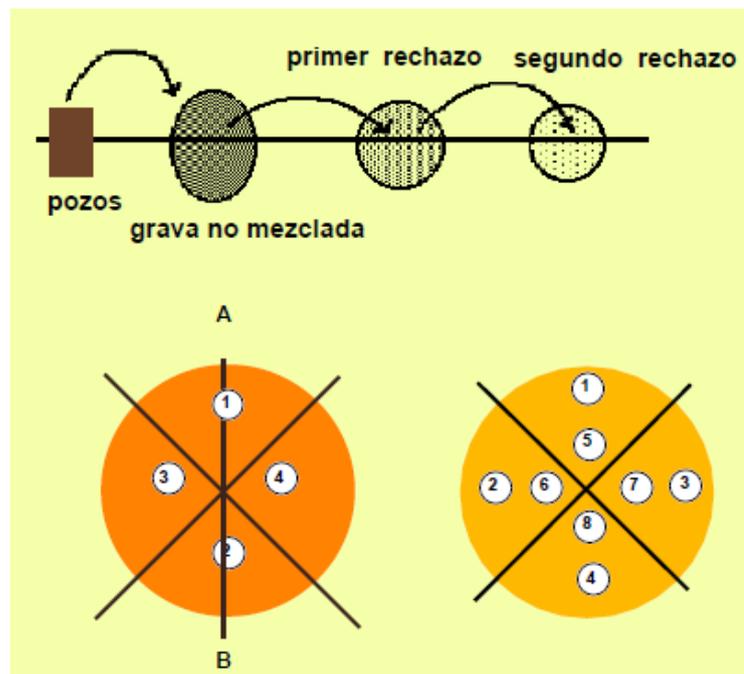
Fuente: Elab. propia

- Análisis químico de las muestras obtenidas.

- Técnica de procesamiento de datos.

Para realizar el análisis químico a las arenas auríferas de cada calicata, se procedió in situ a realizar el cono y cuarteado con el uso de la pala, reduciéndose así el volumen de la cantidad de muestra; para luego proceder a realizar lavados consecutivos con la batea.

Gráfico 10. Etapas de reducción de muestra



Fuente: Elaboración propia.

- Análisis de datos

Las pepitas de oro obtenido, con alta ley; son el oro grueso que se obtiene en todos los lavaderos del mundo; el oro fino se pierde y una posible alternativa es recuperar empleando

métodos combinados de concentración gravimétrica: Jigs, mesas y concentrador Falcon.

3.7 Tratamiento estadístico de datos

El tratamiento estadístico se desarrolló del siguiente modo:

- Calculo de la media muestral de oro

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$\bar{X} = 1,45$$

(obtenidos a partir de la ecuación 5)

- Calculo de la varianza

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}$$

UNIDAD	Xi	(Xi - X)	(Xi - X)*2
1	1.43	-0,02	0,00026136
2	1.05	-0,40	0,15694803
3	1.16	-0,29	0,08189136
4	1.47	0,02	0,00056803
5	1.12	-0,33	0,10638469
6	1.13	-0,32	0,09996136
7	1.91	0,46	0,21514136
8	1.65	0,20	0,04154803
9	1.66	0,21	0,04572469
10	1.73	0,28	0,08056136
11	1.87	0,42	0,17963469
12	1.15	-0,30	0,08771469
TOTAL	17.33	-0,02	1,09633967

$$\sigma^2 = 0,09136164$$

- Cálculo de la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

$$\sigma = \mathbf{0,30226088}$$

- Cálculo de la media poblacional

Siendo \bar{X} es la media de la muestra aleatoria de tamaño n obtenida de una población normal con varianza poblacional σ^2 , entonces:

$$\left[\bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

El intervalo de confianza es $(1 - \alpha)$ 100% para la media poblacional μ .

En este caso la distribución de probabilidad normal es el soporte para realizar la inferencia mediante la estimación por intervalo de confianza.

Sus límites son:

$$\text{Límite inferior} \quad : \bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Límite superior} \quad : \bar{X} + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Reemplazando en la ecuación se tiene:

Datos:

$$\bar{X} = 1,45$$

$$Z_{\alpha} = 1,96 \text{ (95\% de confianza)}$$

$$\sigma = 0,30226088$$

$$\sqrt{n} = 3,46410162$$

$$\text{Límite inferior: } \bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1,45 - 1,96 * \frac{0.30226088}{3.46410162} = \mathbf{0,76868265}$$

$$\text{Límite superior: } \bar{X} + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1,45 + 1,96 * \frac{0.30226088}{3.46410162} = \mathbf{2,13131735}$$

Con un 95% de confianza, la calificación promedio para todas las muestras obtenidas de cada calicata, toma valores entre 0,76868265 y 2,13131735 gramos de oro.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

4.1.1 Clasificación de oro de placeres

Philippe Gentilhome (1987), clasifica a las pepitas de oro del siguiente modo:

Tabla 4. Clasificación de oro en placeres

Denominación	Peso (mg)	Diámetro (mm)
Polvo de oro	<1	< 0,3
Chispas	<10	0,5 – 1,0
Oro grosero	10 - 50	1,0 – 2,0
Oro pepitico	50 - 200	2,0 – 3,0
Pepitas	>200 mg	>3

Fuente: Prospección de minerales de oro – Univ. Barcelona

4.1.2 Análisis granulométrico de la muestra compósito

Tabla 5. Análisis granulométrico

Malla	Abertura	Producto	Peso %
+4mm	+ 5 mm	Grava	66,50
+2mm	+ 2 mm	Arena gruesa	5,17
+28 m	+0,6 mm	Arena fina	0,79
+48 m	+0,3 mm		10,44
+100 m	+0,15 mm		12,81
+150 m	+0,105 mm		2,59
-150 m	-0,105 mm		1,79
Cabeza calculada			100,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Distribución granulométrica de oro libre

Malla	Abertura (mm)	Oro (% peso)
100	0,18 mm	31,20
150	0,105 mm	28,70
400	0,037 mm	21,30
-400	----	18,80
Total		100,00

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Pruebas de concentración en Jigs

Se efectuaron las pruebas de concentración gravimétrica aprovechando la granulometría y presencia de oro libre, teniendo en cuenta las diferencias marcadas del peso específico del oro, con respecto a la ganga, esto todo bajo el principio de la sedimentación obstaculizada, se desarrolló la experimentación con el mayor cuidado para obtener buenas recuperaciones y baja pérdida en los relaves.

Los resultados obtenidos de las cuatro pruebas experimentales se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 7. Diseño factorial con dos variables

Prueba No	Efecto	B Abertura Excéntrica	A Flujo de agua L/Hr	% Recup.
1	1	1/8"	18	70,00
2	a	1/8"	54	68,24
3	b	3/8"	18	29,35
4	ab	3/8"	54	33,20

Tabla 8. Balance metalúrgico de las pruebas experimentales

Prueba	Producto	% Peso	Ley Au (Gr/TM)	Distribución %	K
1	Concentrado	8,76	18,37	70,00	11,41
	Relave	91,24	0,75	30,00	
	Cab.				
	Calculada	100,00	2,30	100,00	
2	Concentrado	5,25	31,83	68,24	19
	Relave	94,75	0,82	31,76	
	Cab.				
	Calculada	100,00	2,45	100,00	
3	Concentrado	0,15	2 934,60	29,35	666
	Relave	99,85	0,77	70,65	
	Cab.				
	Calculada	100,00	2,22	100,00	
4	Concentrado	0,24	302,45	33,20	417
	Relave	99,76	1,43	66,80	
	Cab.				
	Calculada	100,00	2,15	100,00	

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Pruebas de concentración en mesas vibratorias

Los resultados obtenidos de las pruebas de concentración en mesas vibratorias son:

Tabla 9. Diseño factorial con dos variables

Prueba No	Efecto	B Amplitud del stroke	A Ángulo de inclinación	% Recup.
1	1	1/8"	3°	94,15
2	a	1/8"	6°	96,85
3	b	1/2"	3°	96,88
4	ab	1/2"	6°	98,52

Tabla 10. Balance metalúrgico de las pruebas experimentales

Prueba	Producto	% Peso	Ley Au (Gr/TM)	Distribución %	K
1	Concentrado	20,50	10,56	94,15	5
	Relave	79,50	0,16	5,85	
	Cab. Calculada	100,00	2,30	100,00	
2	Concentrado	62,13	3,81	96,85	
	Relave	37,87	0,22	3,15	
	Cab. Calculada	100,00	2,45	100,00	
3	Concentrado	72,87	2,87	96,98	
	Relave	27,13	0,24	3,02	
	Cab. Calculada	100,00	2,22	100,00	
4	Concentrado	57,13	3,96	98,52	
	Relave	42,87	0,07	1,48	
	Cab. Calculada	100,00	2,30	100,00	

Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Pruebas de concentración gravitatoria en el concentrador Falcon

Los resultados de la prueba en el concentrador Falcon se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 11. Balance metalúrgico del concentrador Falcon

PRODUCTO	Gr	% PESO	LEYES	CONTENIDO FINOS	% RECUPERACIÓN
			Au (gr/TM)	Au	Au
Concentrado	168,89	3,38	0,96	3,24	90,56
Relave	4831,11	96,62	0,10	9,66	9,44
Cabeza Calculada	5000	100	1,06	12,90	100
Cabeza Ensayada			1,05	% RECUPERACIÓN	90,56
				RATIO CONCENTRACIÓN	28,58

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Tratamiento estadístico e interpretación de datos

4.2.1 Pruebas de concentración en Jigs

- Cálculo de los efectos

Los resultados obtenidos en la Tabla (7), nos permite desarrollar el análisis estadístico siguiente:

Tabla 12. Efecto de las variables en las pruebas de concentración en Jigs

No Experimento	Efecto	% Recup.	II	III	Efecto
1	1	70,00	138,24	200,79	50,20
2	a	68,24	62,55	2,09	1,05
3	b	29,35	-1,76	-75,69	-37,85
4	ab	33,20	3,85	5,61	1,93
		200,79			

- Modelo matemático propuesto

El diseño factorial (2^n) y el análisis de Yates utilizados aquí se presta para el siguiente modelo lineal:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + error \quad (7)$$

Donde:

$$B_0 = \text{Promedio} = 200,79/4 = 50,19$$

$$B_1 = \text{efecto "A"}/2 = 1,05/2 = 0,53$$

$$B_2 = \text{efecto "B"}/2 = -37,85/2 = -18,93$$

Luego la fórmula será:

$$Y = 50,19 + 0,53X_1 - 18,93X_2$$

Sustituyendo en la codificación:

$$\% \text{ Recup.} = 50,19 + 0,53 \left(\frac{\text{Flujo agua} - 36}{0,13} \right) - 18,93 \left(\frac{\text{Abertura} - 0,25}{18} \right)$$

Con esta fórmula determinamos el % de recuperación calculado y de ahí los incrementos y desviación estándar en la siguiente forma.

Tabla 13. Resultados del modelo propuesto

Efecto	A	B	RECUPERACIÓN		A	A ²
	Flujo Agua	Abertura Excentrica	% Actual	% Calc.		
1	18	0,125	70,00	68,50	-1,50	2,25
a	54	0,125	68,24	69,62	1,38	1,91
b	18	0,375	29,35	30,64	1,29	1,66
ab	54	0,375	33,2	31,76	-1,44	2,07
						7,89

Fuente: Elaboración propia

El Desvío medio cuadrático es:

$$\frac{A^2}{2^n} = \frac{7,89}{4} = 1,97 \%$$

El error cuadrático de las medias de los resultados es:

$$ECM = \frac{1,97}{2} = \mathbf{0,99 \%$$

El error cuadrático medio de **0.99** respecto al valor calculado nos muestra como **EXCELENTE** el modelo matemático propuesto.

4.2.2 Pruebas de concentración en mesas vibratorias

- Cálculo de los efectos

Los resultados obtenidos en la Tabla (9), nos permite desarrollar el análisis estadístico siguiente:

Tabla 14. Efecto de las variables en las pruebas experimentales en mesas vibratorias

Experimento	Efecto	% Recup.	II	II	Efecto
1	1	94,15	191	386,4	96,60
2	A	96,85	195,4	4,34	2,17
3	B	96,88	2,7	4,4	2,2
4	AB	98,52	1,64	-1,06	0,82
		386,4			

Fuente: Elaboración propia

- Modelo matemático propuesto

El diseño factorial (2^n) y el análisis de yates utilizados aquí se presta para el siguiente modelo lineal:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + error \quad (8)$$

Donde:

$$B_0 = \text{Promedio} = 386,40/4 = 96,60$$

$$B_1 = \text{efecto "A"}/2 = 2,17/2 = 1,09$$

$$B_2 = \text{efecto "B"}/2 = 2,2/2 = 1,10$$

Luego la fórmula será:

$$Y = 96,60 + 1,09X_1 + 1,10X_2$$

Sustituyendo en la codificación:

$$\begin{aligned} \% \text{Recup.} = & 96,60 + 1,09 \left(\frac{\text{Ángulo Inclín.} - 4,5}{1,5} \right) \\ & + 1,10 \left(\frac{\text{Amplitud stroke} - 0,312}{0,187} \right) \end{aligned}$$

Con esta fórmula determinamos el % de recuperación calculado y de ahí los incrementos y desviación estándar en la siguiente forma.

Tabla 15. Resultados del modelo matemático propuesto

Efecto	A	B	RECUPERACIÓN		A	A ²
	Angulo Inclín.	Amplitud Stroke	% Actual	% Calc.		
1	3	0,125	94,15	94,41	0,26	0,07
a	6	0,125	96,85	96,59	-0,26	0,07
b	3	0,50	96,88	96,62	-0,26	0,07
ab	6	0,50	98,52	98,80	0,28	0,08
						0,28

Fuente: Elaboración propia

El Desvío medio cuadrático es:

$$\frac{A^2}{2^n} = \frac{0,28}{4} = 0,07 \%$$

El error cuadrático de las medias de los resultados es:

$$ECM = \frac{0,07}{2} = \mathbf{0,035 \%}$$

El error cuadrático medio de **0,035** respecto al valor calculado nos muestra como **EXCELENTE** el modelo matemático propuesto.

4.3 Prueba de hipótesis

Sea X_1, X_2, \dots, X_n la muestra aleatoria simple de tamaño n obtenido de la población con parámetros μ y σ^2 (conocidos) para someter a la prueba de hipótesis:

Se tiene $H_0 =$ Hipótesis nula

$H_1 =$ Hipótesis alterna

$$H_0 = \mu \leq \mu_0$$

$$H_1 = \mu > \mu_0$$

Para determinar la región crítica se utilizó la ecuación:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (9)$$

Donde:

$$\bar{X} = 1,45$$

$$\mu = 1,20$$

$$\sigma = 0,30226088$$

$$n = 12$$

$\alpha = 0,05$ (1,65 – De tablas)

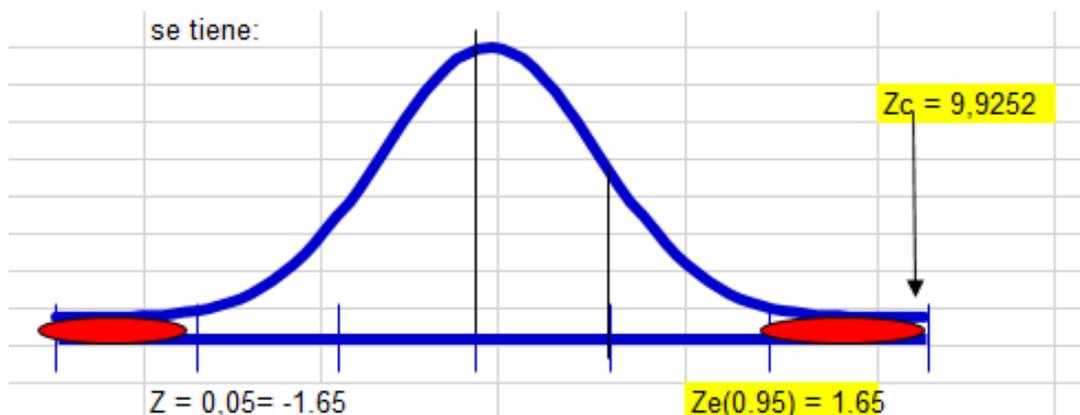
Reemplazando en la ecuación:

$$Z = \frac{1,45-1,20}{0,30226088/\sqrt{12}} = \mathbf{9,92520104}$$

$$Z = \frac{1,20-1,45}{0,30226088/\sqrt{12}} = \mathbf{-9,92520104}$$

Se tiene dos casos:

$Z = 9,92520104$ es mayor de 1,65 y $Z = -9,92520104$ es menor a -1,65, por tanto, al 5% del nivel de significación NO se rechaza la hipótesis nula.



4.4 Discusión de resultados

Las reservas probables de oro libre en la concesión minera (8,7 toneladas de oro) obtenidas por muestreo aleatorio simple, sugiere su explotación mecanizada.

Al muestrear bajo el sistema de calicatas, se ha observado que las arenas aluviales han sido transportadas y cubren una superficie promedio de 2,42 metros de espesor; sobre unos estratos arcillosos.

El sistema de explotación y/o extracción de las arenas aluviales se debe realizar en forma mecanizada con dos equipos: una cargadora frontal de 3 yardas cúbicas y un volquete de 15 m³ de tolva. Para dicha extracción retirar la materia orgánica superficial y depositarlo en un espacio adecuado, para luego después de haber extraído el oro de las arenas removidas, volver arena y materia orgánica a su escenario original.

En la mayoría de placeres auríferos, utilizando mercurio, solo se extrae el oro grueso (pepitas, charpas) que en promedio varía de 45 a 55 % de recuperación y se tiene una pérdida de oro fino que se va al río o queda en los relaves y las pruebas experimentales demuestran que solo utilizando agua se puede obtener mayores recuperaciones (70% de recuperación en Jigs, 90% de recuperación en mesas y 90% de recuperación en concentrador Falcon).

El incremento de recuperación de oro por métodos gravimétricos se debe a su peso específico del oro (19,3), la agitación constante en Jigs y mesas que permite liberar al oro de las arenas arcillosas, poseen un diámetro medio que va de 1 a 3 mm y hay poca presencia de oro fino.

La secuencia a seguir para una recuperación ecológica sería:

- ✓ Tamizado de las arenas en planta a ½" de diámetro.
- ✓ Tamizado a mallas 10 de la serie Tyler.
- ✓ Concentración en Jigs.
- ✓ Concentración en mesas vibratorias.

La siguiente etapa comprende la estabilización de suelos con la instalación de gaviones para estabilizar el suelo tipo terrazas, tendido de arenas libres de oro, cubierta de materia orgánica, siembra de leguminosas y árboles maderables.

CONCLUSIONES

Para la cubicación de reservas, desarrollando el muestreo aleatorio simple se obtiene 8,7 toneladas de oro de reservas probables en las seis cuadrículas de la concesión, entendiéndose que la cubicación de reservas en placeres auríferos tiende a error.

Las arenas aluviales existentes en la concesión, son material transportado y que cubren toda el área a un espesor promedio de 2,42 metros, sobre un manto de arcillas montmorilloníticas y el oro presente se encuentra en forma de charpas (1 a 2 mm de diámetro) lo que permitió realizar el análisis de oro por calicata in situ, utilizando la batea de lavador de oro.

La extracción de arenas auríferas se realizará a través de un cargador frontal y un volquete hacia la futura planta, para después de su procesamiento retornar a los espacios explotados.

Actualmente, la zona se encuentra devastada porque en el pasado fue escenario de siembra de coca y la DEA fumigó con insumos químicos dejándolo erizado y se pretende extraer oro ecológico con procesos gravimétricos donde solo se requiera agua y como resultado de las pruebas metalúrgicas, la secuencia a seguir es: tamizado, concentración en Jigs, concentración en mesas vibratorias y el concentrado de estos dos procesos reducir el volumen en el concentrador Falcon, para de ésta manera obtener oro libre.

La última etapa será la recuperación de los suelos, desarrollándose paralelo a la extracción con la instalación de gaviones, deposición de arenas residuales y siembra de gramíneas y arboles maderables.

RECOMENDACIONES

Desarrollar pruebas de microscopía electrónica de barrido para ver la posibilidad de recuperar tierras raras y circonio existente en los ríos de la selva peruana.

A todas las empresas extractoras de oro aluvial, se sugiere realizar la extracción planificada, considerando el plan de cierre de los placeres auríferos y revegetación.

Desarrollar programas de desarrollo sostenible en los poblados cercanos a las fuentes de extracción de oro, para generar conciencia entre los pobladores sobre la conservación del ecosistema y evitar el uso indiscriminado de mercurio.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Addison, R. (1986). Gold and Silver Extraction from Sulfides ores. *Mining Congress Journal* (págs. 47 - 54). Melbourne: Congress.
- Argall, G. (1984). Precious Metals Extraction. *International Mining* (págs. 32 - 44). Utha: Congress.
- Bergamashi, G. (1987). *Oro*. Madrid - España: Mondadori.
- Cánepa, C. (1992). *Mineralogía del Oro y su significación en Metalurgia*. Lima: Tecsup.
- Dana, J. (1992). *Mineralogía de Dana*. Madrid - España: Reverte.
- Dorr, J. (1956). *Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores*. New York: McGraw-Hill.
- Filmer, A. (1982). The Dissolution of Gold from roasted Pyrite Concentrates. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy* (págs. 90 - 94). Johanesbrugo: Journal Institute.
- Hurtado, H. (2003). *Oro oculto en el Perú*. Lima: UNAS.
- Misari, F. (2010). *Metalurgia del Oro*. Lima: CEPETEC.
- Smith, K. (2005). *Manual del Falcon Concentrator*. Australia: Falcon.
- Van, M. (2006). Nuevas Aplicaciones de Concentración Centrífuga. *VI Simposio Internacional de Mineralurgia*. Lima: Tecsup.
- Varios. (2008). Compañías mineras productoras de Oro en el Mundo y el Perú. *Mundo Minero*, págs. 70 - 72.

Varios. (2008). Conferencias. *VIII Simposium Internacional del Oro* (pág. 257). Lima: SNMP.

Wills, B. A. (1991). *Mineral Processing Technology*. Mexico: Pergamon Press.

ANEXOS

ANEXO 1

PROFUNDIDAD DE CALICATAS

Calicata	Profundidad (m)	Calicata	Profundidad (m)	Calicata	Profundidad (m)	Calicata	Profundidad (m)
1	2.25	21	1.90	41	2.32	61	1.60
2	2.10	22	2.02	42	2.45	62	1.98
3	2.25	23	2.16	43	2.13	63	2.12
4	2.15	24	2.24	44	2.56	64	2.30
5	2.45	25	2.13	45	2.67	65	2.20
6	2.18	26	2.18	46	2.3	66	2.06
7	2.65	27	2.56	47	2.37	67	1.87
8	2.20	28	2.45	48	2.67	68	1.95
9	2.30	29	2.17	49	2.25	69	1.45
10	2.20	30	2.19	50	2.50	70	2.08
11	2.10	31	2.36	51	2.54	71	2.37
12	2.14	32	2.43	52	2.45	72	2.65
13	2.67	33	2.61	53	2.16	73	2.46
14	2.30	34	2.27	54	2.38	74	2.32
15	2.20	35	1.87	55	2.37	75	2.2
16	2.12	36	1.92	56	2.36	76	2.00
17	2.30	37	1.98	57	2.18	77	2.32
18	2.34	38	2.13	58	2.14	78	2.19
19	2.27	39	2.57	59	2.58	79	2.39
20	2.14	40	2.45	60	2.73	80	2.38
SUMATORIA	45.31		44.59		48.11		42.89
PROMEDIO	2.27		2.23		2.41		2.14

Calicata	Profundidad m	Calicata	Profundidad m	Calicata	Profundidad m	Calicata	Profundidad m
81	2.30	101	3.25	121	2.20	141	2.65
82	2.60	102	3.60	122	2.34	142	2.37
83	2.90	103	3.45	123	2.45	143	2.49
84	2.80	104	3.20	124	2.56	144	2.48
85	2.90	105	2.90	125	2.36	145	2.38
86	2.78	106	3.14	126	2.57	146	2.37
87	2.88	107	2.67	127	2.48	147	2.17
88	2.93	108	3.45	128	2.39	148	2.44
89	2.87	109	2.45	129	2.39	149	2.38
90	2.86	110	2.35	130	2.74	150	2.37
91	2.90	111	2.50	131	2.39	151	2.39
92	3.45	112	2.60	132	2.18	152	2.18
93	2.80	113	2.46	133	2.38	153	2.39
94	2.79	114	2.39	134	2.48	154	2.39
95	2.74	115	2.48	135	2.37	155	2.18
96	2.86	116	2.38	136	2.37	156	2.49
97	2.88	117	2.39	137	2.39	157	2.48
98	2.97	118	2.59	138	2.53	158	2.39
99	2.85	119	2.89	139	2.38	159	2.39
100	2.83	120	2.48	140	2.39	160	2.19
SUMATORIA	56.89		55.62		48.34		47.57
PROMEDIO	2.84		2.78		2.42		2.38

Calicata	Profundidad (m)	Calicata	Profundidad (m)	Calicata	Profundidad (m)	Calicata	Profundidad (m)
161	2.30	181	2.56	201	2.49	221	2.30
162	2.49	182	2.48	202	2.38	222	2.30
163	2.39	183	2.95	203	2.36	223	2.30
164	2.38	184	2.38	204	2.49	224	2.36
165	2.48	185	2.39	205	2.19	225	2.38
166	2.93	186	2.10	206	2.39	226	2.49
167	2.39	187	2.39	207	2.39	227	2.49
168	2.38	188	2.40	208	2.49	228	2.17
169	2.48	189	2.38	209	2.37	229	2.90
170	2.39	190	2.39	210	2.48	230	3.20
171	2.49	191	2.58	211	2.90	231	2.49
172	2.38	192	2.48	212	2.38	232	2.49
173	2.37	193	2.49	213	2.49	233	2.10
174	2.47	194	2.94	214	2.80	234	3.05
175	2.19	195	2.38	215	2.39	235	2.39
176	2.83	196	2.38	216	2.49		0.00
177	2.38	197	3.10	217	3.20		0.00
178	2.48	198	2.40	218	3.10		0.00
179	2.48	199	2.40	219	3.30		0.00
180	3.19	200	3.49	220	3.80		0.00
SUMATORIA	49.87		51.06		52.88		37.41
PROMEDIO	2.49		2.55		2.64		1.87

ANEXO 2

CALCULO DEL PESO ESPECÍFICO MEDIO

N°	Peso Específico
1	2,58
2	2,56
3	2,47
4	2,54
5	2,45
6	2,55
7	2,54
8	2,57
9	2,35
10	2,56
11	2,60
12	2,55
SUMATORIA	30,32
PROMEDIO	2,53

ANEXO 3
RECUPERACIÓN DE ORO POR CALICATA

Calicata	Ley Au (g/calicata)	Calicata	Ley Au (g/calicata)	Calicata	Ley Au (g/calicata)	Calicata	Ley Au (g/calicata)
1	1.05	21	1.06	41	1.35	61	1.20
2	0.60	22	0.85	42	1.10	62	1.10
3	1.20	23	1.28	43	2.10	63	0.89
4	1.16	24	0.40	44	1.87	64	1.20
5	0.00	25	1.12	45	1.23	65	2.10
6	0.80	26	0.00	46	0.00	66	2.25
7	2.30	27	0.00	47	0.00	67	2.50
8	1.23	28	1.20	48	0.00	68	3.20
9	1.10	29	1.27	49	1.20	69	1.60
10	3.40	30	1.1	50	1.34	70	1.65
11	2.00	31	1.32	51	1.23	71	1.20
12	1.38	32	1.00	52	1.39	72	1.12
13	1.32	33	0.85	53	1.21	73	1.05
14	0.45	34	2.10	54	1.35	74	1.10
15	1.65	35	1.73	55	1.52	75	1.27
16	2.70	36	1.72	56	1.28	76	1.11
17	2.10	37	1.65	57	1.32	77	1.21
18	1.13	38	0.62	58	1.28	78	1.37
19	1.50	39	1.20	59	1.36	79	1.11
20	1.46	40	0.62	60	1.14	80	1.23
SUMATORIA	28.53		21.09		23.27		29.46
PROMEDIO	1.43		1.05		1.16		1.47

Calicata	Ley Au (g/calicata)	Calicata	Ley Au (g/calicata)	Calicata	Ley Au (g/calicata)	Calicata	Ley Au (g/calicata)
81	0.85	101	1.25	121	2.13	141	2.31
82	0.76	102	1.32	122	2.15	142	2.01
83	0.65	103	1.10	123	2.20	143	1.62
84	0.52	104	0.96	124	1.87	144	1.52
85	0.50	105	0.82	125	1.72	145	1.42
86	1.10	106	0.56	126	1.52	146	2.10
87	0.90	107	1.29	127	1.82	147	0.00
88	1.15	108	1.32	128	1.82	148	0.00
89	1.12	109	1.20	129	1.29	149	1.27
90	0.75	110	1.10	130	1.27	150	1.92
91	1.17	111	1.22	131	3.10	151	1.28
92	1.15	112	1.52	132	2.30	152	2.17
93	2.13	113	1.21	133	2.10	153	2.14
94	2.10	114	1.11	134	1.28	154	2.45
95	1.15	115	0.17	135	2.10	155	2.51
96	1.19	116	1.29	136	1.65	156	2.10
97	1.16	117	1.28	137	1.29	157	1.67
98	1.41	118	1.11	138	2.13	158	1.34
99	1.51	119	2.11	139	2.28	159	1.99
100	1.10	120	0.75	140	2.15	160	1.26
SUMATORIA	22.37		22.69		38.17		33.08
PROMEDIO	1.12		1.13		1.91		1.65

Calicata	Ley Au (g/calicata)	Calicata	Ley Au (g/calicata)	Calicata	Ley Au (g/calicata)	Calicata	Ley Au (g/calicata)
161	1.10	181	2.17	201	1.20	221	1.72
162	2.16	182	1.29	202	2.15	222	2.10
163	2.17	183	2.17	203	2.15	223	2.11
164	0.50	184	0.00	204	2.71	224	2.15
165	0.65	185	0.00	205	1.82	225	0.82
166	0.87	186	2.16	206	1.21	226	0.83
167	2.18	187	2.61	207	2.17	227	0.65
168	2.44	188	2.10	208	2.81	228	1.28
169	1.52	189	2.61	209	2.31	229	1.43
170	1.21	190	2.41	210	1.67	230	1.72
171	1.28	191	1.87	211	1.65	231	1.82
172	2.16	192	3.00	212	2.16	232	2.10
173	2.14	193	1.87	213	2.05	233	1.82
174	1.38	194	2.38	214	1.21	234	1.25
175	2.14	195	1.65	215	2.14	235	1.28
176	1.21	196	1.45	216	1.62		0.00
177	1.63	197	1.74	217	1.72		0.00
178	2.15	198	0.72	218	1.53		0.00
179	2.15	199	0.65	219	1.33		0.00
180	2.20	200	1.82	220	1.82		0.00
SUMATORIA	33.24		34.67		37.43		23.08
PROMEDIO	1.66		1.73		1.87		1.15

ANEXO 4
FOTOS DE LA PLANTA PILOTO EN BASE A LAS PRUEBAS
EXPERIMENTALES

Foto 6. Homogenización del material



Foto 7. Desplazamiento por canaletas



Foto 8. Tamizado a 1/2"



Foto 9. Tamizado a malla -10



Foto 10. Concentración en Jigs



Foto 11. Concentración en mesas vibratorias



Foto 12. Vista parcial de la planta de pilotaje



Fuente: Elaboración propia.