

**Preconcentración de Iridio a partir de Minerales Aluviales en el Choco**

Gabriel Santiago Ady Hernández Alarcón y Johan Alexis Bayona Jaimes

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Metalúrgico

Director:

Walter Pardavé Livia

Ingeniero Metalúrgico Msc.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales

Bucaramanga

2024

**Dedicatoria**

Dedico este proyecto de grado primeramente a Dios por ser mi motivo de aliento y esfuerzo durante mi proceso educativo.

A mi padre Edgar Hernández Jiménez, mi guía y mi héroe, le dedico este trabajo con profundo respeto y admiración. Tus lecciones de vida, tu constante apoyo y tu sacrificio incansable han sido las fuerzas impulsoras que me han llevado hasta este momento. Este logro no solo es mío, sino también tuyo, porque cada paso que he dado ha sido sobre los cimientos sólidos que tú has construido. Agradezco tus palabras de aliento en los momentos difíciles y tus sonrisas de celebración en los triunfos. Esta tesis es un tributo a tu dedicación como padre y mentor. Que estas páginas reflejen la gratitud profunda que siento por ti y la manera en que tu presencia ha moldeado mi camino hacia el conocimiento y el éxito.

A mi abuela Bertilda Jiménez López, fuente inagotable de sabiduría y amor, dedico este trabajo con profunda gratitud y aprecio. Tus palabras alentadoras, tu paciencia infinita y tu apoyo constante han sido mi faro a lo largo de esta travesía académica. Tu ejemplo de dedicación y perseverancia ha sido mi inspiración para alcanzar este logro.

A mi compañero de tesis Johan Bayona por ser parte posible de este proyecto, su dedicación y disciplina lograron este gran logro.

*Gabriel Hernández.*

Con gratitud y amor, dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, quien me brindó la oportunidad y la fortaleza para afrontar este proceso. A mi madre, pilar inquebrantable, cuyo apoyo y sacrificios han hecho posible cada logro. Su amor incondicional ha sido la mayor inspiración en mi vida. A mi hermana Jennyfer, mi apoyo constante, le agradezco su presencia en cada etapa de mi carrera. Sin ella, ni siquiera habría concebido la posibilidad de estar aquí.

A mis hermanos, quienes siempre han creído en mí. A mi amigo Edwin, por su amistad y apoyo a lo largo de mis triunfos y derrotas. A mi novia y amiga Yuly, el regalo máspreciado en esta etapa de mi vida. Su amor, comprensión y fuerza han sido fundamentales en todo este proceso.

A mis amigos, que han dejado huella en mi corazón, aquellos que, en los momentos difíciles, me sostuvieron y acompañaron, haciendo más llevaderos los retos a los que me enfrentaba. A mis abuelos, Margarita y Noe, quienes sé que están orgullosos de mí, así como a todas las personas que ya no están conmigo.

A mi amigo y colega Gabriel Hernández, cuya dedicación y consejo han sido clave para culminar este proyecto.

*Johan Bayona.*

**Agradecimientos**

Expresamos nuestro agradecimiento a:

La Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, a todo el personal docente y los técnicos que contribuyeron enormemente en nuestra formación como profesionales y personas. A nuestro director, Msc. Walter Pardavé Livia por su gran apoyo y asesoría para la realización de este proyecto.

A todos ellos, gracias por brindarnos su apoyo y hacer que este proyecto sea posible.

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	13
1. Marco Teórico.....	14
1.1 Métodos de Preconcentración de Iridio en Minerales Aluviales .....	15
2. Objetivos.....	16
2.1. Objetivo General .....	16
2.2. Objetivos Específicos .....	16
3. Metodología.....	17
3.1 Muestra del Mineral .....	17
3.2 Caracterización del Mineral.....	18
3.3 Análisis Granulométrico.....	18
3.4 Pruebas de Concentración Gravimétrica en Mesa Wilfley.....	18
3.5 Pruebas de Concentración Magnética en Equipo de Alta Intensidad.....	19
3.6 Leyes de Recuperación y Balance de Masa.....	20
3.7 Caracterización Física .....	20
4. Análisis y Discusión de Resultados .....	21
4.1. Programación de Pruebas de Concentración de Minerales.....	21
4.2 Caracterización del Mineral.....	22
4.2.1 Caracterización Mineralógica .....	22
4.2.2. Densidad Aparente .....	26
4.2.3. Análisis Granulométrico.....	26

## **PRECONCENTRACIÓN DE IRIDIO**

**6**

4.3. Pruebas Preliminares de Concentración Gravimétrica en Mesas Wilfley .....	29
4.4. Pruebas de Concentración en Mesa Wilfley .....	30
4.5. Pruebas de Concentración Magnética .....	33
4.6. Balance de Masa para el Circuito.....	35
4.7. Cálculo de Índices Metalúrgicos para Preconcentración de Iridio.....	37
4.8. Circuito de Preconcentración Propuesto.....	38
5. Conclusiones y Recomendaciones .....	39
Referencias Bibliográficas.....	41
Apéndices .....	44

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. <i>Metodología del trabajo experimental.</i> .....	17
Figura 2. <i>Mesa de sacudidas.</i> .....	19
Figura 3. <i>Separador magnético de alta intensidad.</i> .....	20
Figura 4. <i>Flujograma procesos de pre concentración del mineral.</i> .....	21
Figura 5. <i>Vista 40X malla 35.</i> .....	24
Figura 6. <i>Vista 40X malla 50.</i> .....	24
Figura 7. <i>Vista 40X malla 80.</i> .....	25
Figura 8. <i>Vista 40X malla 100.</i> .....	25
Figura 9. <i>Vista 40X malla 140.</i> .....	26
Figura 10. <i>Tamizador mecánico laboratorio de beneficio UIS</i> .....	27
Figura 11. <i>Curva granulométrica de minerales molidos</i> .....	28
Figura 12. <i>Partes, funcionamiento y variables en una mesa de sacudidas.</i> .....	30
Figura 13. <i>Grano grueso (pre concentrado) prueba mesa wilfley +60m.</i> .....	31
Figura 14. <i>Grano fino (pre concentrado) prueba mesa wilfley -60m.</i> .....	31
Figura 15. <i>Adhesión de mineral magnético mostrando preconcentrado de Iridio y vista al microscopio</i> .....	34
Figura 16. <i>Flujograma balance de masa general para malla -60 y ángulo de 7 grados</i> .....	35
Figura 17. <i>Flujograma balance de masa general para malla +60 y Angulo de 7 grados</i> .....	35
Figura 18. <i>Flujograma porcentaje de pérdidas para el proceso de preconcentrado malla -60 y ángulo 7 grados</i> .....	36

Figura 19. *Flujograma porcentaje de pérdidas para el proceso de preconcentrado malla +60 y ángulo 7 grados* .....37

Figura 20. *Diagrama de flujo del proceso metalúrgico propuesto para el mineral aluvial* .....38

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Identificación y cuantificación de fases cristalinas por DRX en muestra mineral aluvial del choco</i> .....	22
Tabla 2. <i>Representación tabular de la distribución granulométrica por tamizado</i> .....	27
Tabla 3. <i>Pesos pre concentrado y colas de -60m ángulo 5 grados</i> .....	32
Tabla 4. <i>Pesos pre concentrado y colas de +60m ángulo 5 grados</i> .....	32
Tabla 5. <i>Pesos pre concentrado y colas de -60m ángulo 7 grados</i> .....	32
Tabla 6. <i>Pesos pre concentrado y colas de +60m ángulo 7 grados</i> .....	32
Tabla 7. <i>Pesos pre concentrado y colas de -60m ángulo 9 grados</i> .....	32
Tabla 8. <i>Pesos pre concentrado y colas de +60m ángulo 9 grados</i> .....	32
Tabla 9. <i>Pesos del mineral magnético y no magnético primera etapa -60m</i> .....	34
Tabla 10. <i>Pesos del mineral magnético y no magnético primera etapa +60m</i> .....	34
Tabla 11. <i>Pesos del mineral magnético y no magnético segunda etapa -60m</i> .....	35
Tabla 12. <i>Pesos del mineral magnético y no magnético segunda etapa +60m</i> .....	35

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. <i>Análisis de iridio en la muestra inicial de mineral aluvial proporcionado para estudio por espectrofotometría de absorción atómica</i> .....	44
Apéndice B. <i>Ensayo DRX mineral aluvial del choco</i> .....	45
Apéndice C. <i>Análisis por espectrofotometría de absorción atómica del mineral de iridio preconcentrado</i> .....	46

## Resumen

**Título:** Preconcentración de Iridio a partir de minerales aluviales en el Choco\*

**Autor:** Gabriel Santiago Ady Hernández Alarcón, Johan Alexis Bayona Jaimes\*\*

**Palabras Clave:** Preconcentrado, aluvial, Iridio, Flujograma.

**Descripción:** Este proyecto tiene como objetivo principal el diseño y la estandarización de un flujograma de preconcentración de iridio, así como la elaboración de un balance de masa, utilizando minerales aluviales extraídos del Chocó. El proceso se inicia con la recepción del mineral, el cual es sometido a una caracterización mediante técnicas como espectrometría de absorción atómica con el fin de identificar los elementos presentes en la muestra.

Posteriormente, se lleva a cabo la reducción del tamaño de partícula utilizando un molino de bolas, facilitando la concentración del mineral mediante una mesa gravimétrica, permitiendo así la clasificación por densidades. El mineral es sometido a una clasificación doble para garantizar la precisión del proceso, conservando el concentrado de cada etapa para ser sometido a una separación magnética. Dado que el iridio está asociado con minerales magnéticos, esta etapa permite obtener el producto final deseado, que es el concentrado enriquecido con iridio.

Una vez establecido el flujograma y realizado el balance de masa, se procede al análisis del mineral final obtenido, comparándolo con la muestra inicial para evaluar la eficacia del proceso de preconcentración. Este análisis final es crucial para verificar la calidad y la pureza del concentrado de iridio obtenido, así como para realizar ajustes en el proceso si es necesario, con miras a optimizar su rendimiento y eficiencia en futuras operaciones mineras.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Director: Walter Pardavé Livia, Ingeniero Metalúrgico Msc.

## Abstract

**Title:** Iridium Preconcentration from Alluvial Minerals in Choco\*

**Author(s):** Gabriel Santiago Ady Hernández Alarcón, Johan Alexis Bayona Jaimes\*\*

**Key Words:** Preconcentration, alluvial, Iridium, Flowchart

### **Description:**

This project aims to design and standardize a preconcentration flowchart for iridium, as well as develop a mass balance, using alluvial minerals extracted from Chocó. The process begins with the reception of the mineral, which undergoes characterization using techniques such as atomic absorption spectrometry analysis to identify the elements present in the sample.

Subsequently, particle size reduction is carried out using a ball mill, facilitating mineral concentration through a gravity table, enabling density-based classification. The mineral undergoes double classification to ensure process accuracy, retaining the concentrate from each stage for subsequent magnetic separation. Since iridium is associated with magnetic minerals, this step allows for the desired final product, enriched iridium concentrate, to be obtained.

Once the flowchart is established and the mass balance is performed, the final mineral analysis is conducted, comparing it with the initial sample to evaluate the effectiveness of the preconcentration process. This final analysis is crucial to verify the quality and purity of the iridium concentrate obtained, as well as to make adjustments to the process if necessary, aiming to optimize its performance and efficiency in future mining operations.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director: Walter Pardavé Livia, Metallurgical Engineer Msc.

**Introducción**

La preconcentración de iridio emerge como un elemento esencial en el ámbito de la metalurgia y la minería, donde la optimización de los procesos de extracción de metales preciosos desempeña un papel crucial. El iridio, un metal del grupo del platino conocido por su escasez y valor intrínseco, se encuentra a menudo en minerales complejos, lo que hace que su extracción sea un desafío significativo. Por ello se busca explorar la importancia y los métodos asociados con la preconcentración de iridio, destacando cómo esta fase inicial en el proceso de recuperación no solo mejora la eficiencia de la extracción, sino que también presenta ventajas económicas significativas.

La región del Chocó en Colombia ha sido identificada como una fuente potencial de minerales aluviales ricos en metales como el iridio y el oro, lo que hace que la investigación sobre la preconcentración de este metal sea particularmente relevante en este contexto. La aplicación de flujogramas específicos y la elaboración de balances de masa adecuados son aspectos cruciales en la implementación exitosa de la preconcentración, permitiendo una extracción más eficiente y sostenible de este recurso natural. Se busca contribuir al conocimiento y la comprensión de los procesos de preconcentración, así como a la optimización de las técnicas utilizadas en la industria minera para maximizar la recuperación en el Chocó y otras regiones.

### **1. Marco Teórico**

Los minerales existentes en el Chocó son de origen aluvial y en su extracción se denotan tres técnicas principales: el barequeo, en el que se emplean herramientas manuales artesanales y se inspecciona el tamizaje de los sedimentos en una batea de madera; una técnica legal según la Ley 685 de 2001 o Código de Minas. La semi-mecanizada, en la que se desprende el material con motobombas o se utilizan mini dragas que absorben y clasifican el mineral del lecho del río. Y la mecanizada, en la que se establece un campamento y se utiliza maquinaria pesada - retroexcavadoras, camiones, tolvas, canalones- (UPME, 2005).

El iridio es un metal de transición del grupo del platino, perteneciente al período seis de la tabla periódica. Junto con otros metales del grupo del platino, como el platino, el paladio, el rodio, el rutenio y el osmio. Destaca por su densidad excepcionalmente alta, siendo el segundo elemento más denso después del osmio. Con un punto de fusión elevado alrededor de 2,447 grados Celsius, el iridio exhibe una notable resistencia a la corrosión y oxidación, lo que lo hace apto para aplicaciones en entornos extremos. Su dureza y fragilidad contribuyen a su durabilidad, siendo utilizado en la fabricación de electrodos para bujías, dispositivos médicos, joyería de alta gama y componentes aeroespaciales.

Los elementos del grupo del platino (EGP) son un grupo de seis elementos metálicos que constituyen las dos últimas triadas del grupo VIII de la tabla periódica: rutenio (Ru), rodio (Rh), paladio (Pd), osmio (Os), iridio (Ir) y platino (Pt). Estos metales son raros, escasos, costosos y poseen unas características geoquímicas que los hacen especialmente interesantes desde el punto de vista petrogenético. Uno de los ambientes geológicos en los que se concentran de forma preferente los EGP son las mineralizaciones de minerales asociados al iridio que se encuentran

encajadas, principalmente, en las secuencias ultramáficas de los complejos ofiolíticos. Así, el estudio de la distribución de estos metales y de las asociaciones de los minerales que los portan proporciona información valiosa sobre las condiciones reinantes durante la formación de los minerales asociados al iridio. También, y como consecuencia de su naturaleza inerte y poco móvil durante los procesos de alteración, se les considera óptimos indicadores de los procesos postmagmáticos que afectan a los minerales asociados al iridio durante, o en etapas posteriores al emplazamiento de los complejos ofiolíticos.

### **1.1 Métodos de Preconcentración de Iridio en Minerales Aluviales**

**Separación gravimétrica:** La separación gravimétrica es un método de preconcentración que se basa en la diferencia de densidades entre los minerales. En este proceso, los sedimentos aluviales se mezclan con agua en una corriente que permite separar las partículas desde la más densa hasta la menos densa. Dado que el iridio es un metal denso asociado a minerales, tiende a concentrarse en la fracción más densa, lo que facilita su recuperación. Este método es efectivo para minerales aluviales en los que la densidad del iridio es significativamente mayor que la de otros minerales presentes.

**Separación magnética:** La separación magnética aprovecha las propiedades magnéticas de ciertos minerales. Si el iridio está asociado con minerales magnéticos, como magnetita o hematita, se pueden aplicar campos magnéticos para separar estos minerales de los sedimentos no magnéticos. Este método es especialmente útil cuando el iridio forma parte de una matriz mineral compleja y magnética.

**2. Objetivos****2.1. Objetivo General**

Evaluar las etapas, procesos y variables operativas para obtener a nivel de laboratorio un pre concentrado de Iridio a partir de minerales aluviales del Departamento del Choco.

**2.2. Objetivos Específicos**

Realizar la caracterización física, química, mineralógica, microscópica y granulométrica de los minerales aluviales de una zona central del Departamento de Chocó.

Determinar las variables operativas del proceso de obtención de un pre concentrado de Iridio a partir de minerales aluviales del Departamento del Choco.

Establecer un flujograma general con balance de masa para obtener preconcentrado de Iridio a partir de minerales aluviales del Choco.

### 3. Metodología

A continuación, se presenta en la Figura 1, la metodología del general del proyecto, y luego se describe detalladamente las etapas realizadas.

**Figura 1.**

*Metodología del trabajo experimental.*



El orden lógico de las etapas que se llevaron a cabo durante el desarrollo del proyecto, son las siguientes:

#### 3.1 Muestra del Mineral

Para el desarrollo de este proyecto, se recibieron aprox., 20 Kg de un mineral proveniente del Departamento del Choco (sin mayor información de zona, tipo de suelo, coordenadas geográficas, fecha de muestra y tipo de muestreo), este mineral se sometió a trituración y molienda con homogeneización continua.

### **3.2 Caracterización del Mineral**

Al realizar la clasificación del mineral en diferentes mallas, se puede observar cómo varía la distribución de los minerales según el tamaño de las partículas, así como su liberación, lo cual es fundamental para su posterior proceso de preconcentración. Este procedimiento se llevará a cabo bajo la supervisión del geólogo Luis Garrido, quien identificará las especies presentes en la muestra sustentada mediante el análisis por DRX.

Posterior se toma una muestra representativa del mineral, la cual se somete a análisis mediante DRX (Difracción de Rayos X), con el objetivo de identificar las diversas fases minerales presentes en la muestra, lo que contribuye a comprender su composición mineralógica, orientando la metodología a emplear en el proceso de preconcentración del iridio.

### **3.3 Análisis Granulométrico**

Para determinar la distribución granulométrica inicial del mineral se utilizó la técnica de cono y cuarteo para garantizar que la muestra extraída sea representativa, esta prueba fue realizada siguiendo la norma ASTM-E11. La muestra obtenida de 100 gramos se tamizó con la serie de tamices correspondientes a las mallas números 10, 35,50,80 ,100, 140 y 200, las cuales se dispusieron en la tamizadora mecánica durante 16 minutos. Luego se pesó el mineral retenido en cada uno de los tamices para obtener el gráfico de distribución granulométrico.

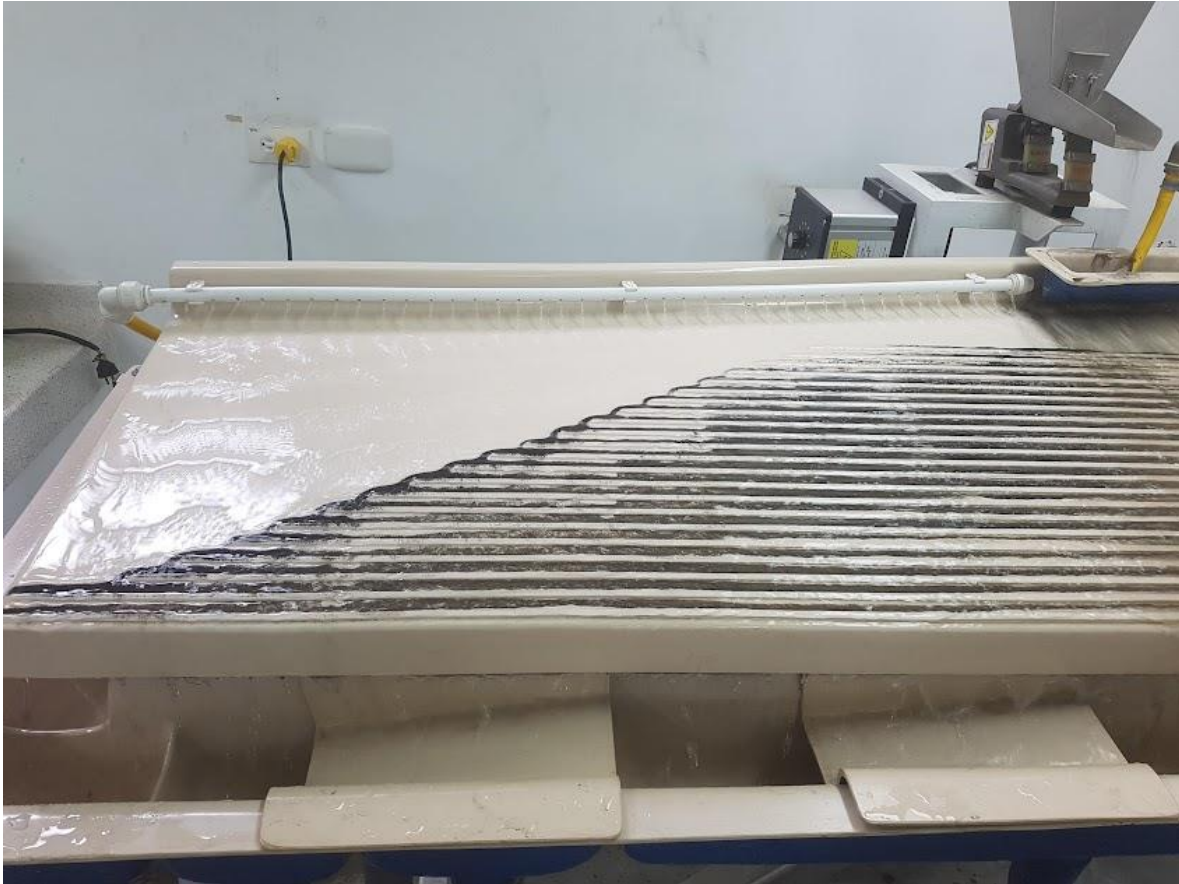
### **3.4 Pruebas de Concentración Gravimétrica en Mesa Wilfley**

La mesa concentradora marca Holman-Wilfley, modelo 800, (ver Figura 2) se adecuó para separar tres productos: concentrado, medios y colas. En los ensayos de concentración, se consideraron dos variables de operación: la granulometría en dos mallas (-60 y +60) y el ángulo de inclinación, evaluado en tres niveles (5°, 7°, 9°). Las variables de operación restantes, como el caudal de agua de lavado (220 mL/s), la frecuencia de sacudidas de la mesa (54 Hz) y la

alimentación del mineral (35 g/min), se mantuvieron constantes en los ensayos. Posteriormente, el concentrado, los medios y las colas de los ensayos realizados se secaron y pesaron para proponer un balance de masa.

**Figura 2.**

*Mesa de sacudidas.*



*Nota:* Laboratorio de beneficio de minerales UIS (2024).

**3.5 Pruebas de Concentración Magnética en Equipo de Alta Intensidad**

Empleando el equipo de separación magnética de alta intensidad del Laboratorio de beneficio de minerales de la UIS (Ver Figura 3), se realizaron 4 pruebas, 2 de cada etapa de separación magnética en serie. Las variables consideradas fueron la granulometría y la intensidad de campo magnético.

**Figura 3.**

*Separador magnético de alta intensidad.*



*Nota:* Laboratorio de beneficio de minerales UIS (2024).

### **3.6 Leyes de Recuperación y Balance de Masa**

Para el proceso de preconcentración se plantea un balance de masa con sus respectivos porcentajes de pérdidas y leyes de recuperación centrando la cantidad de iridio que puede ser preconcentrado y recuperado de un mineral aluvial en el departamento del Chocó minimizando la pérdida del preconcentrado y optimizando la utilización del mismo.

### **3.7 Caracterización Física**

Se procedió a determinar la densidad aparente de los minerales molidos con el fin de evaluar la factibilidad de llevar a cabo la separación gravimétrica. Este método permite la separación por gravedad de los minerales más densos, de los minerales más ligeros. La medición de la densidad aparente es crucial para comprender la viabilidad y eficacia del proceso de separación, lo que a su vez contribuye a optimizar la eficiencia y la rentabilidad de la operación de preconcentración del mineral.

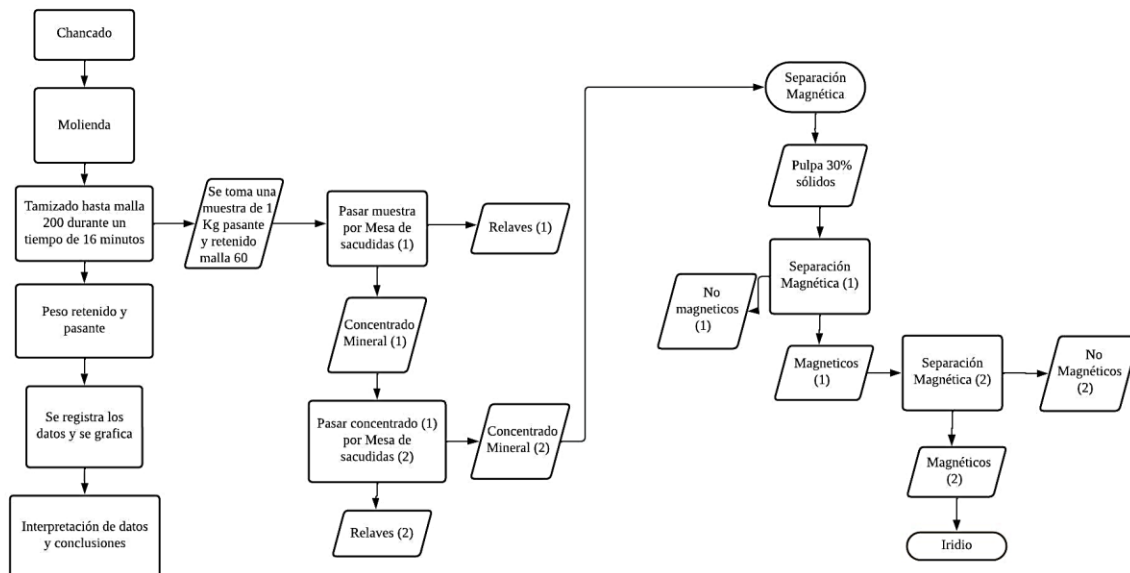
4. Análisis y Discusión de Resultados

4.1. Programación de Pruebas de Concentración de Minerales

Se elabora el siguiente flujograma (Figura 4) con el propósito de esquematizar los procesos que se desarrollaran para la preconcentración del iridio a partir del mineral suministrado. Una vez completada la preparación del mineral, se extrae una muestra que se somete a la primera etapa de concentración gravimétrica. En esta fase, se aplican dos tratamientos: el primero al mineral de cabeza y el segundo al concentrado obtenido del primer tratamiento. Tras concluir, se procede a la segunda fase, separación magnética, en la cual se toma el concentrado obtenido de la separación gravimétrica. Este concentrado se somete a dos tratamientos adicionales mediante separación magnética, como se ilustra en la Figura 4. Este enfoque estructurado asegura una secuencia eficiente de operaciones para lograr la preconcentración de iridio.

Figura 4.

Flujograma procesos de pre concentración del mineral.



## 4.2 Caracterización del Mineral

## 4.2.1 Caracterización Mineralógica

Tabla 1.

Identificación y cuantificación de fases cristalinas por DRX en muestra mineral aluvial del chocó

Mineral Aluvial del Chocó				
G-183-M-24				
Muestra	PDF No	Nombre	Fórmula Química	Cuantitativo
Cristalino	PDF 01-074-9758	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	41,39%
	PDF 01-074-6368	Albita	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	13,88%
	PDF 01-085-2163	Chamosita-1Mllb	(Mg <sub>5,016</sub> Fe <sub>4,964</sub> )Al <sub>2,724</sub> ((Si <sub>15,70</sub> Al <sub>2,30</sub> )O <sub>20</sub> )(OH) <sub>16</sub>	10,28%
	PDF 01-089-7282	Magnesio-ferri-hornblenda	(Na <sub>0,31</sub> K <sub>0,01</sub> )(Ca <sub>0,83</sub> Na <sub>0,09</sub> Fe <sub>0,08</sub> ) <sub>2</sub> (Mg <sub>3,47</sub> Fe <sub>1,19</sub> Al <sub>0,28</sub> Ti <sub>0,06</sub> )(Si <sub>7,28</sub> Al <sub>0,72</sub> ) O <sub>22</sub> F <sub>0,2</sub> (OH) <sub>1,8</sub>	8,80%
	PDF 01-073-9861	Moscovita-2M1 férrica	K <sub>0,96</sub> Na <sub>0,04</sub> Al <sub>1,71</sub> Fe <sub>0,29</sub> (Al <sub>0,91</sub> Si <sub>3,09</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>1,78</sub> F <sub>0,22</sub>	7,16%
	PDF 01-083-1368	Anortita Sódica	Ca <sub>0,65</sub> Na <sub>0,32</sub> (Al <sub>1,62</sub> Si <sub>2,38</sub> O <sub>8</sub> )	6,59%
	PDF 01-086-0439	Ortoclasa	K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	3,66%
	PDF 01-077-1545	Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	2,48%
	PDF 01-089-0832	Diopsido	Ca <sub>1,003</sub> (Mg <sub>0,895</sub> Fe <sub>0,105</sub> ) ((Si <sub>1,901</sub> Fe <sub>0,1</sub> )O <sub>6</sub> )	2,12%
	PDF 01-071-1166	Anatasa	TiO <sub>2</sub>	1,15%
	PDF 01-080-1107	Biotita-1M	KFeMg <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	1,02%
	PDF 01-076-8393	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<1,00%
	PDF 01-071-5208	Pirita	FeS <sub>1,74</sub>	<1,00%
Nota:	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el perfil de difracción experimental se observaron reflexiones que no pidieron ser asignadas a una fase conocida.</li> <li>Para corroborar la existencia de las fases cristalinas identificadas se recomienda realizar análisis elemental.</li> </ul>			

Nota. Ver (Apéndice B)

Los análisis proporcionados en el ensayo de difracción de rayos X (DRX) revelan la presencia de diversos minerales que podrían estar asociados al iridio.

Por lo general, este metal se encuentra vinculado a minerales que contienen silicatos o metales básicos como el platino y el níquel. Sin embargo, en ocasiones, se pueden detectar pequeñas cantidades de iridio asociadas a la pirita, ya sea debido a la coexistencia con otros minerales en la misma formación geológica o a procesos de deposición poco comunes.

Aunque esta asociación con la pirita es posible, es más común encontrar al iridio vinculado a minerales como la magnetita, la magnesio-ferri-hornblenda y otros minerales de sulfuro de níquel

y platino. Observamos que el mineral está compuesto principalmente por cuarzo, representando un 41,39% de la composición. Se sugiere entonces que el iridio esté principalmente asociado a la hornblenda ferrosa, la cual constituye un 8,80% del mineral.

Por consiguiente, se plantea la viabilidad de utilizar la separación magnética de alta intensidad como método para la preconcentración del iridio, dadas las proporciones significativas de este mineral en la muestra.

Las Figuras de la 5 a la 9 muestran microfotografías de la muestra del mineral en estudio, utilizando diferentes mallas (35m, 50m, 80m, 100m y 140m).

Este enfoque tiene como objetivo comparar visualmente la presencia de las diferentes fases cristalinas previamente cuantificadas en el ensayo de difracción de rayos X (ver Apéndice B).

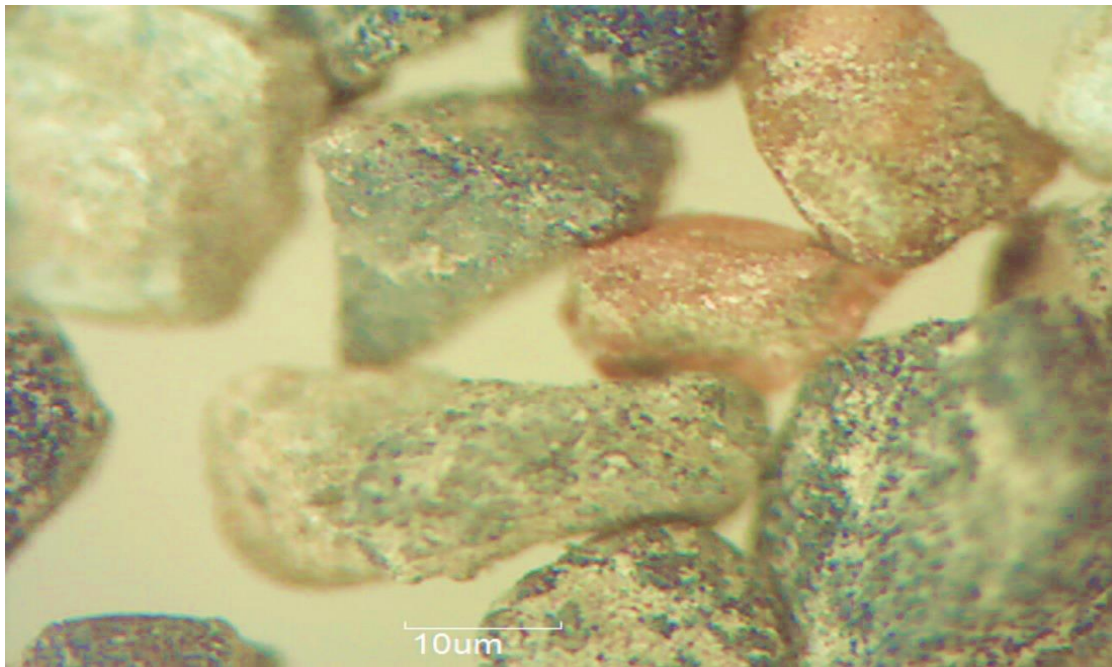
Al observar detenidamente las micrografías, se puede apreciar que a diferentes tamaños de grano se observa una notable cantidad de cuarzo.

No obstante, también se identifican granos de tonalidades negras y verdes oscuro, los cuales son característicos de la hornblenda ferrosa.

Este hallazgo proporciona una visión más detallada de la composición mineralógica de la muestra, lo que contribuye a una comprensión más completa de sus propiedades y características.

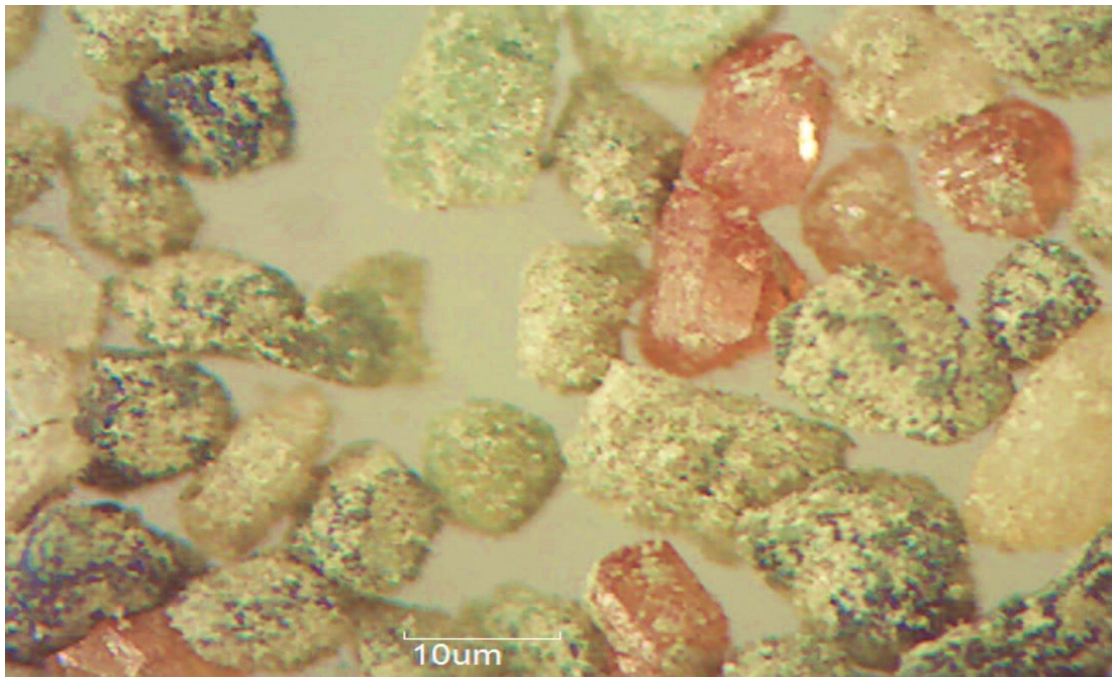
**Figura 5.**

*Vista 40X malla 35.*



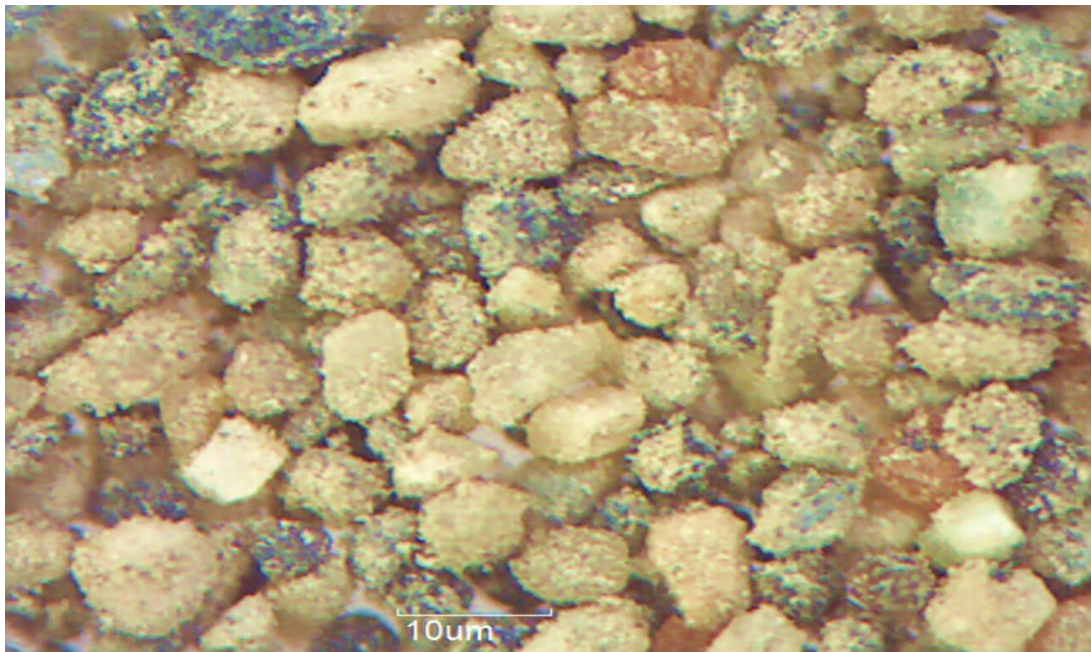
**Figura 6.**

*Vista 40X malla 50.*



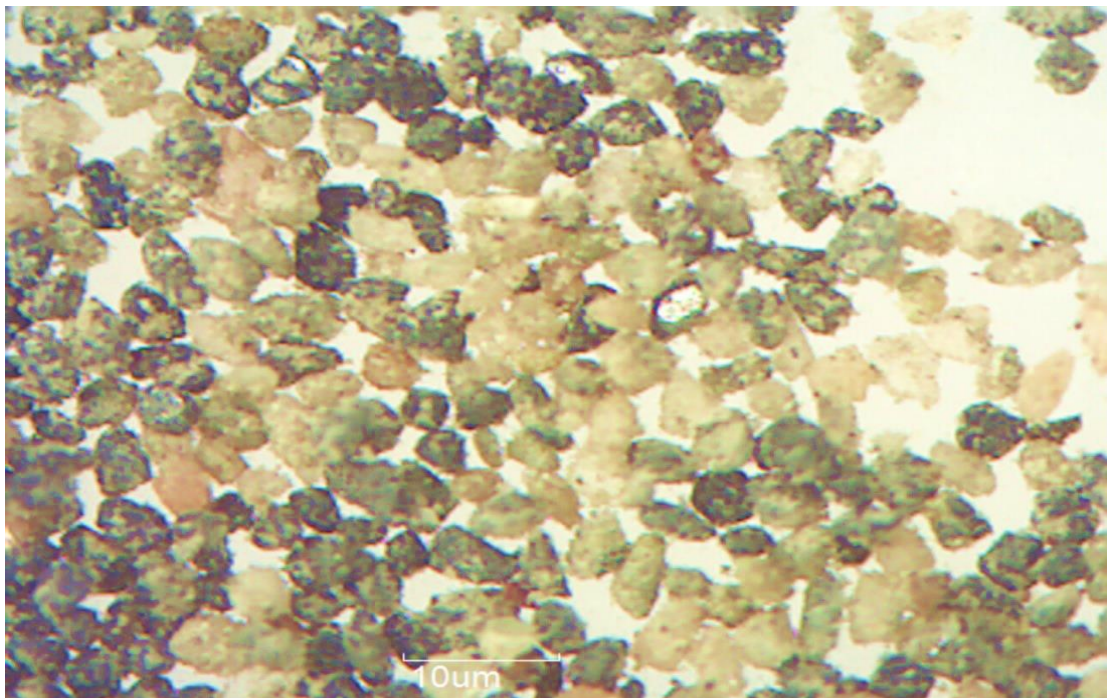
**Figura 7.**

*Vista 40X malla 80.*



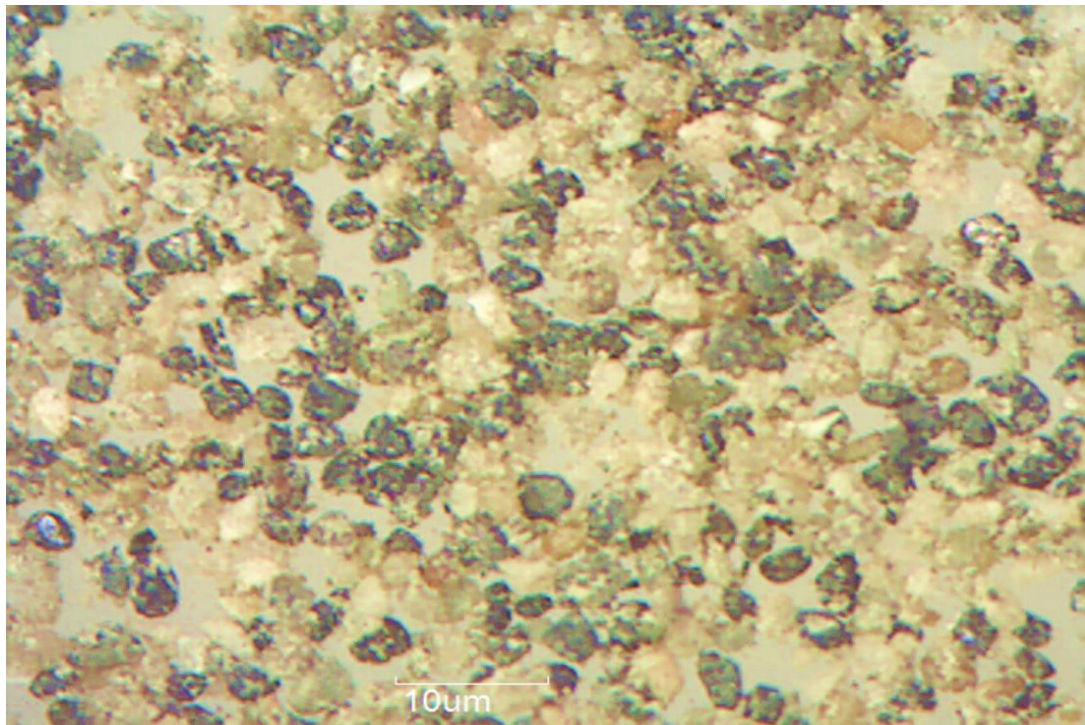
**Figura 8.**

*Vista 40X malla 100.*



**Figura 9.**

*Vista 40X malla 140.*



#### ***4.2.2. Densidad Aparente***

Para determinar la densidad aparente se pesó 50 g del mineral molido y se depositó en un vaso de precipitado ocupando un volumen de 29 ml, así:

$$dap = \frac{m}{v} = \frac{50g}{29ml} = 1,72 \frac{g}{ml}$$

#### ***4.2.3. Análisis Granulométrico***

A partir de una muestra de aprox. 100 g se pasa el mineral mediante un tamizador mecánico en 7 tamices Tyler y un tiempo de 16 min, para identificar la distribución de tamaño de partícula del mineral y su rendimiento en la clasificación mediante gravimetría.

**Figura 10.**

*Tamizador mecánico laboratorio de beneficio UIS*



A partir de los pesos obtenidos se procede a tabular y graficar la distribución granulométrica.

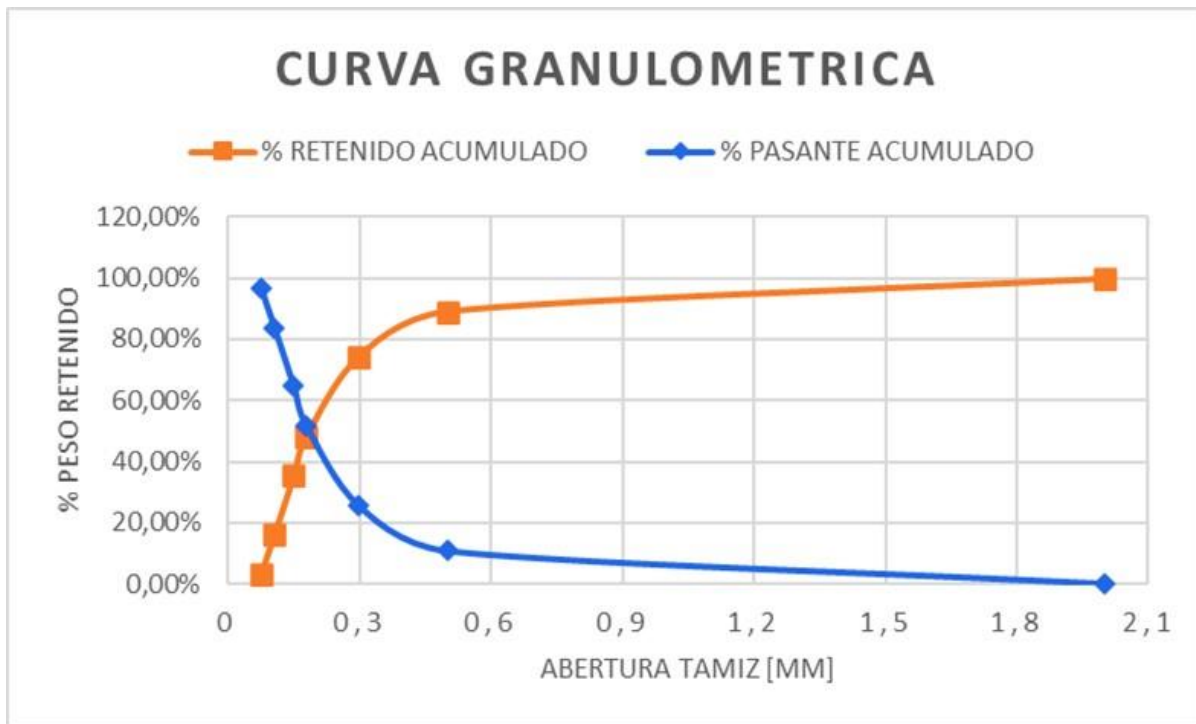
**Tabla 2.**

*Representación tabular de la distribución granulométrica por tamizado*

<b>Malla (Tyler)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>%Retenido</b>	<b>%Retenido acumulado</b>	<b>%Pasante acumulado</b>
10	2	0,3	0,30%	0,30%	99,70%
35	0,5	10,5	10,66%	10,96%	89,04%
50	0,297	14,6	14,82%	25,79%	74,21%
80	0,177	25,8	26,19%	51,98%	48,02%
100	0,149	12,4	12,59%	64,57%	35,43%
140	0,105	18,8	19,09%	83,65%	16,35%
200	0,074	12,9	13,10%	96,75%	3,25%
Base		3,2	3,25%	100,00%	
Total		98,5	100,00%		

Figura 11.

*Curva granulométrica de minerales molidos*



A partir de los datos proporcionados de los pesos obtenidos para la distribución granulométrica. (Ver Tabla 1), se observa que la mayoría del material se retiene en las mallas más gruesas, con un porcentaje acumulado pasante del 16,35% en la malla de tamaño 140 (0,105 mm) y del 48,02% en la malla de tamaño 80 (0,177 mm). Esto sugiere una proporción considerable de partículas de mayor tamaño en la muestra. Además, el porcentaje acumulado pasante muestra que el 83,65% del material pasa a través de la malla de tamaño 140 y el 48,02% pasa a través de la malla de tamaño 80. Se calculó que el D80, que representa el tamaño de partícula por encima del cual el 80% del material está retenido, es aproximadamente 0,105 mm, mientras que el D50, que indica el tamaño de partícula por encima del cual el 50% del material está retenido, es aproximadamente 0,177 mm. Estos valores del D80 y D50 corroboran la predominancia de partículas de mayor tamaño en la muestra. Por lo tanto, la distribución de tamaños nos da un indicio

de un mineral grueso, y en consecuencia no hay necesidad de remoler para los posteriores procesos de preconcentración. La división de la muestra en dos fracciones permitiría evaluar cómo la diferencia de distribuciones, del tamaño de partícula impactan de manera positiva o negativa estos procesos de separación. Por ende, la división de la muestra en estas dos fracciones (+60 y -60) permitiría evaluar cómo las diferentes distribuciones de tamaño de partículas afectan la eficacia de estos procesos de separación y finalmente la correcta preconcentración del iridio.

#### **4.3. Pruebas Preliminares de Concentración Gravimétrica en Mesas Wilfley**

Se llevó a cabo la pesada de un kilogramo del mineral, dividiéndolo en fracciones pasantes y retenidas por la malla 60. Separando el mineral en función de su densidad.

Para ello se tuvo en cuenta las siguientes variables de operación

- Granulometría de la alimentación variable. Inferior y mayor a malla 60
- Longitud de golpe (amplitud) 10 mm
- Frecuencia de golpe 54HZ
- Inclinação de la mesa: 5,7,9 grados
- Cantidad de agua de lavado:220 ml/s
- Entrada: 35 g /min
- Dimensiones de la mesa: área de  $0.8 m^2$ , borde del concentrado, 640 mm, borde de los

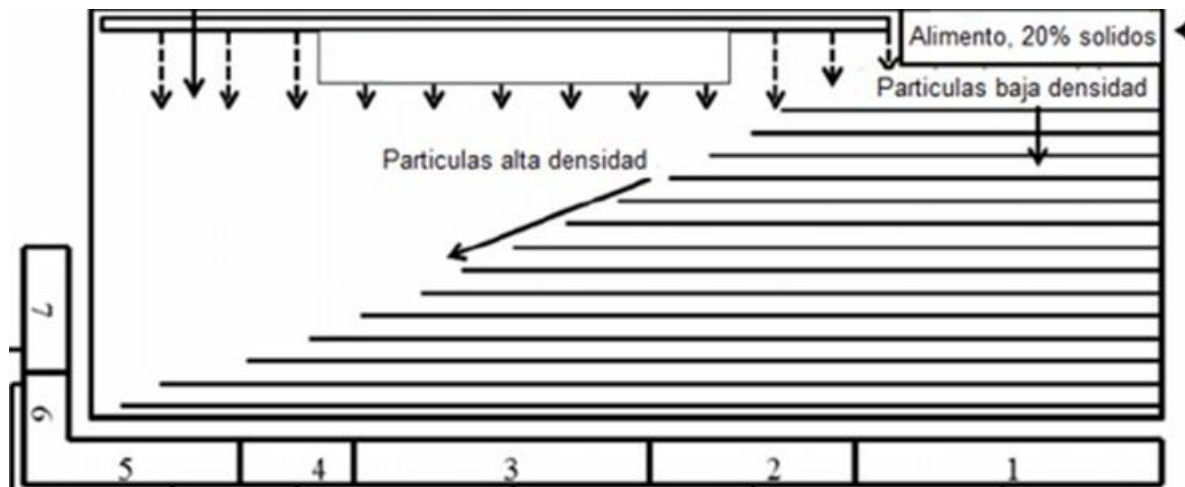
relaves, 1280mm

- Suministro eléctrico: Una fase, 110/230V 50/60Hz. Motor de 0.37kW

La Figura 12 presenta un esquema de funcionamiento y de variables en una mesa de sacudidas general.

**Figura 12.**

*Partes, funcionamiento y variables en una mesa de sacudidas.*



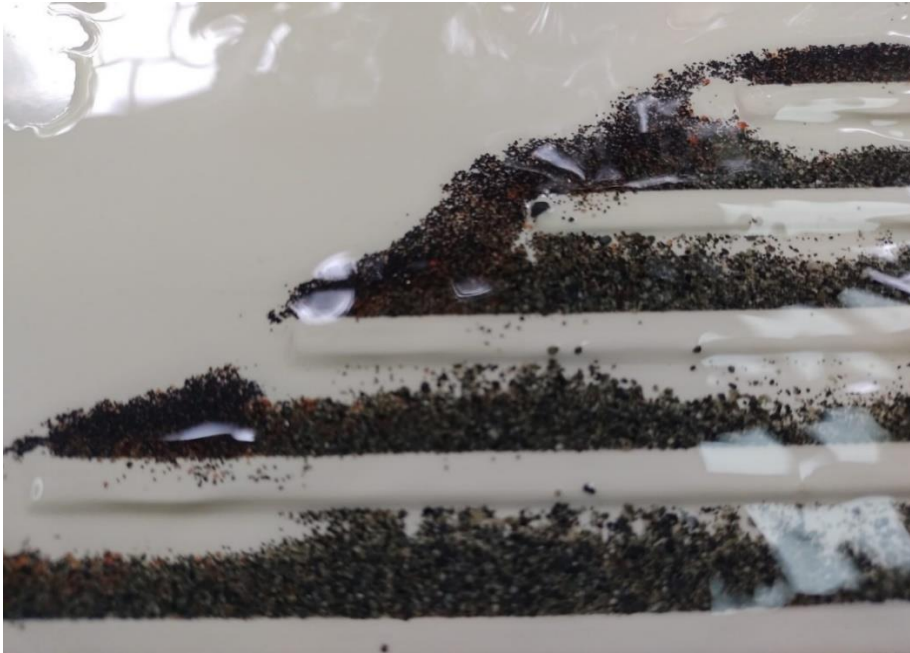
Adoptado por autores

#### 4.4. Pruebas de Concentración en Mesa Wilfley

Como se mencionó en la metodología, los ensayos de concentración por mesa Wilfley se realizaron variando dos parámetros de operación, la granulometría del mineral que se trabajó con dos niveles (-60m y +60m) y el ángulo de inclinación con tres niveles (5°, 7°, 9°). (Ver Figuras 12 y 13).

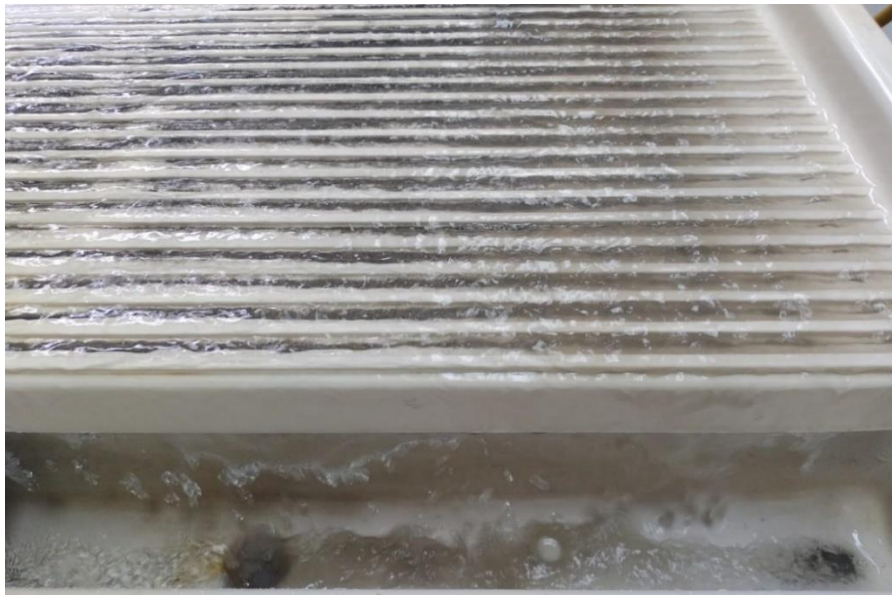
**Figura 13.**

*Grano grueso (pre concentrado) prueba mesa wilfley +60m.*



**Figura 14.**

*Grano fino (pre concentrado) prueba mesa wilfley -60m.*



Al finalizar la segunda etapa se obtienen los siguientes resultados

**Tabla 3.**

*Pesos pre concentrado y colas de -60m ángulo 5 grados*

Concentrado (g)	Medios (g)	Cola (g)
280	530	175

**Tabla 4.**

*Pesos pre concentrado y colas de +60m ángulo 5 grados*

Concentrado(g)	Medios (g)	Cola (g)
872	54	15

**Tabla 5.**

*Pesos pre concentrado y colas de -60m ángulo 7 grados*

Concentrado (g)	Medios (g)	Cola (g)
310	425	205

**Tabla 6.**

*Pesos pre concentrado y colas de +60m ángulo 7 grados*

Concentrado(g)	Medios (g)	Cola (g)
920	54	5

**Tabla 7.**

*Pesos pre concentrado y colas de -60m ángulo 9 grados*

Concentrado (g)	Medios (g)	Cola (g)
220	630	96

**Tabla 8.**

*Pesos pre concentrado y colas de +60m ángulo 9 grados*

Concentrado(g)	Medios (g)	Cola (g)
840	120	2

Al concluir la separación gravimétrica y analizar los resultados de las Tablas 3 a la 8, se observa que a un ángulo de 7 grados se obtiene una mayor recuperación de preconcentrado, esto fundamentado en la densidad del mineral considerablemente mayor que los minerales de ganga presentes en el material de origen, permitiendo separarlos eficientemente mediante la acción de la gravedad, luego se procede a pasar el mineral preconcentrado en la mesa a concentración magnética

#### **4.5. Pruebas de Concentración Magnética**

Tras concluir las dos fases de separación utilizando la mesa Wilfley, se procede a la concentración magnética del mineral proveniente de la zona de concentrado tanto del mineral -60m como de +60m. Este proceso se realiza en suspensión, con un 30% de sólidos en la pulpa en un separador magnético. Este enfoque secuencial, que incorpora la separación en pulpa, se implementa estratégicamente para potenciar la eficiencia del proceso.

Se ajusta previamente el equipo para operar con una corriente de 5 amperios y 45 voltios de acuerdo a literatura seguidamente se introduce gradualmente la pulpa compuesta de 30 % sólidos en la tolva del separador. Durante este proceso, las partículas del mineral magnético se adhieren en la zona magnetizada, (Figura 14). Una vez concluido este paso, se realiza un lavado para limpiar el mineral y, posteriormente, se apaga la máquina para proceder con la extracción del mineral magnético. Este proceso se repite una vez más con el mineral magnético para asegurar la eficacia del procedimiento.

**Figura 15.**

*Adhesión de mineral magnético mostrando preconcentrado de Iridio y vista al microscopio*



A continuación, en las Tablas 9 a la 12, se muestra el registro de los pesos del mineral después de la separación magnética.

**Tabla 9.**

*Pesos del mineral magnético y no magnético primera etapa -60m*

Magnético (g)	No magnético (g)
190	32.8

**Tabla 10.**

*Pesos del mineral magnético y no magnético primera etapa +60m*

Magnético (g)	No magnético (g)
750	143

**Tabla 11.**

*Pesos del mineral magnético y no magnético segunda etapa -60m*

Magnético (g)	No magnético (g)
178	3

**Tabla 12.**

*Pesos del mineral magnético y no magnético segunda etapa +60m.*

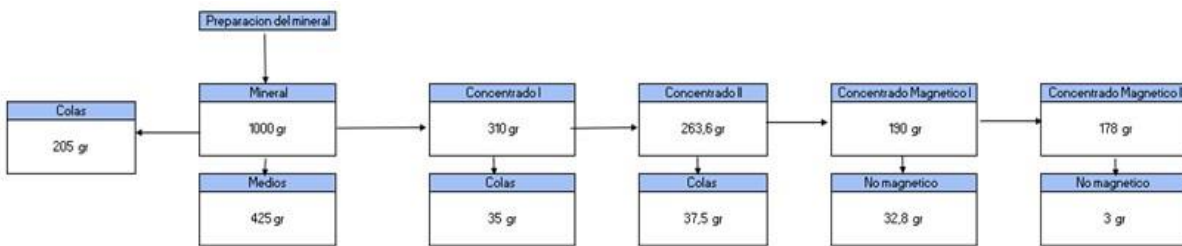
Magnético (g)	No magnético (g)
738	7

**4.6. Balance de Masa para el Circuito**

Para el circuito se desarrolla un balance de masa general con los resultados obtenidos en el laboratorio ver Figura 16 y 17.

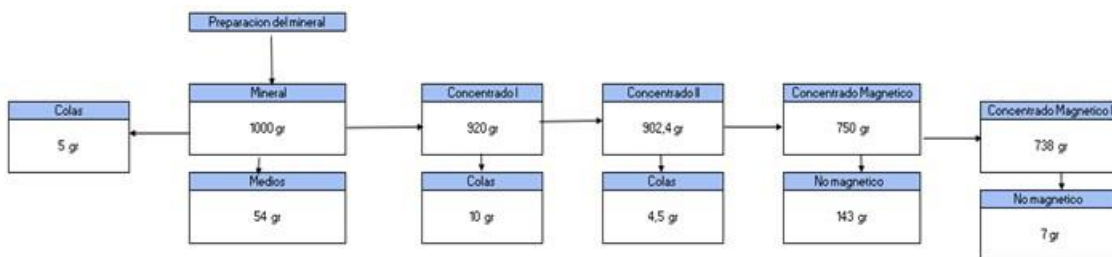
**Figura 16.**

*Flujograma balance de masa general para malla -60 y ángulo de 7 grados*



**Figura 17.**

*Flujograma balance de masa general para malla +60 y Angulo de 7 grados*

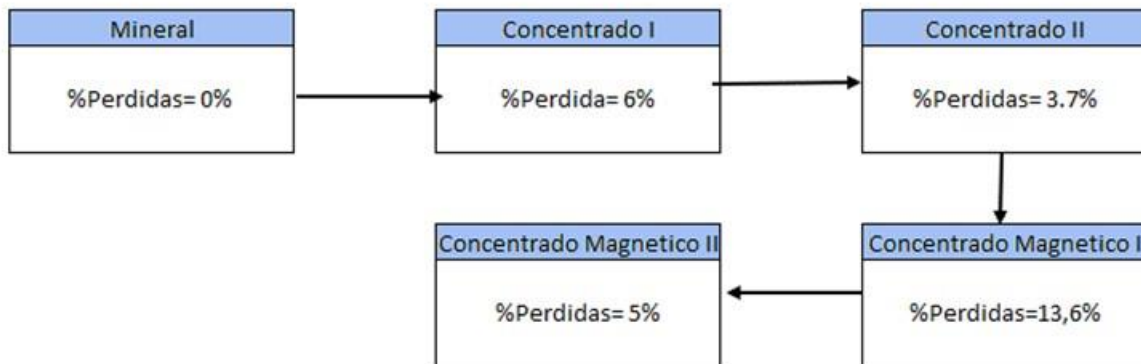


El mayor preconcentrado, tanto gravimétrico como magnético, se observa en el mineral de malla mayor a 60. Esto se debe a que los minerales asociados al iridio tiene una alta densidad , considerablemente mayor que la de los minerales de ganga asociados. Esta diferencia de densidad explica por qué no es necesario remoler el mineral, ya que la hornblenda ferrosa, al ser más densa, tiende a concentrarse en el preconcentrado final.

En este punto, es fundamental calcular el porcentaje de pérdidas (ver Figura 18 y 19), durante cada etapa para comprender y optimizar el proceso de preconcentración. Esto permitirá identificar variables de mejora, como el ángulo de inclinación y la malla óptima de preconcentración, lo que aumentará la eficiencia del proceso y reducirá los costos asociados.

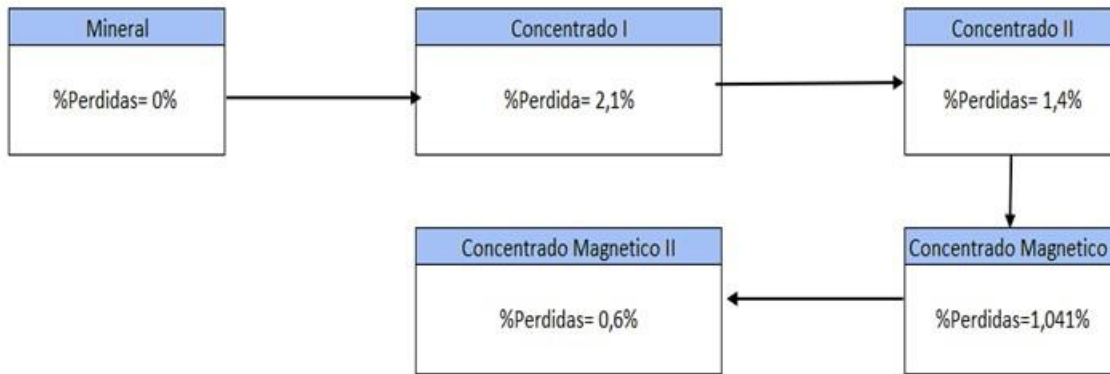
**Figura 18.**

*Flujograma porcentaje de pérdidas para el proceso de preconcentrado malla -60 y ángulo 7 grados*



**Figura 19.**

Flujograma porcentaje de pérdidas para el proceso de preconcentrado malla +60 y ángulo 7 grados



El preconcentrado obtenido luego de las dos etapas en serie de separación magnética, dan un tenor de **Iridio de 10g/Ton**. (Ver Apéndice C)

#### 4.7. Cálculo de Índices Metalúrgicos para Preconcentración de Iridio

Para la evaluación de las pruebas de concentración se tuvieron en cuenta los índices metalúrgicos de concentración, que son el % de Recuperación y la Razón de concentración, los cuales se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones (Bustamante, 1992):

$$\% \text{Recuperacion} = \frac{\text{Peso del mineral en el producto}}{\text{Peso mineral total}} * 100 \quad (1)$$

$$\text{Razon de concentracion } (K) = \frac{\text{Tenor del concentrado}}{\text{Tenor del minera de cabeza}} \quad (2)$$

Tomamos en cuenta las ecuaciones (1) y (2) para el análisis de rendimiento en el proceso de preconcentración como se muestra a continuación.

Cantidad de alimento 1000 g

Cantidad de preconcentrado 738 g

Ley de iridio en alimento 3 g/Ton

Ley de iridio en preconcentrado 10 g/Ton

$$\%R_{Ir} = \left[ \frac{(738g) * \left(\frac{10g}{Ton}\right)}{(1000g) * \left(\frac{3g}{Ton}\right)} \right] * 100 = 22.5 \%$$

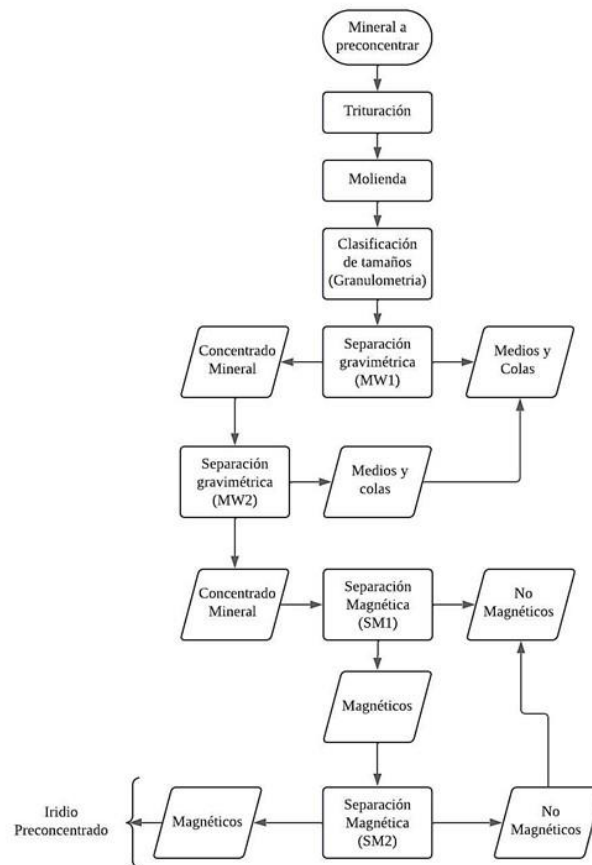
$$K_{Ir} = \frac{10}{3} = 3,33$$

**4.8. Circuito de Preconcentración Propuesto**

A partir de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos de concentración gravimétrica y separación magnética, realizados en ambos casos en dos etapas, se plantea un circuito metalúrgico integral. Este circuito incluye los procesos de concentración y las variables utilizadas para el correcto desarrollo en las etapas de preconcentración.

**Figura 20.**

*Diagrama de flujo del proceso metalúrgico propuesto para el mineral aluvial*



En la Figura 20 se presenta el flujograma propuesto para la preconcentración de iridio a partir de minerales aluviales del Chocó. Este diseño se fundamenta en la investigación y los resultados obtenidos a lo largo de cada etapa propuesta. Así, podemos trazar con precisión el circuito adecuado a nivel de laboratorio para llevar a cabo una preconcentración efectiva de iridio. Para lograr esto, se consideran variables operativas cruciales tanto para la separación gravimétrica (MW), como el ángulo de inclinación óptimo de  $7^\circ$  y un tamaño de grano de malla superior a 60; así como para la separación magnética (SM), donde se establece el uso de 5 amperios y 45 voltios con una pulpa con 30% de sólidos. Estas especificaciones operativas son fundamentales para garantizar la eficiencia y precisión del proceso, permitiendo obtener un preconcentrado rico en iridio de manera confiable y reproducible en condiciones de laboratorio.

### **5. Conclusiones y Recomendaciones**

Aunque la preconcentración del iridio fue positiva, es importante implementar otros métodos adicionales para mejorar la eficiencia operativa en la preconcentración del iridio a partir del mineral suministrado.

Es muy relevante pasar el mineral liberado por la SEPARACIÓN ELECTROSTÁTICA, ya que, de acuerdo con las propiedades físicas de los platinoideos y la literatura técnica, es altamente recomendable para obtener un mayor tenor en el concentrado.

Por las características del mineral, el tamaño de partícula recomendable es de +60 mallas. En este rango de tamaños se logra una buena preconcentración de iridio, considerando el circuito por etapas, donde la concentración fue más efectiva en tamaños de granos más gruesos.

Se logró obtener un preconcentrado de 10 g/Ton de iridio mediante dos etapas en mesas de sacudidas (Mesa Wilfley) y dos etapas en separación magnética de alta intensidad, con una recuperación del 22.5% y una razón de concentración de 3.33. Limitándonos solo a estos procesos, se obtuvo una buena recuperación.

## Referencias Bibliográficas

- Ahmed, A.H., y Arai, S., (2003b). Platinum-group minerals in podiforms chromitites of the Oman ophiolite. *The Canadian Mineralogist*. 41, 597-616
- Belousova, N.V.; Belousov, O.V.; Borisov, R.V. & Akimenko, A.A. (2022) Autoclave Dissolution of Platinum Metals in Hydrochloric Acid Oxidizing Media. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals* 62:6, pages 668-674.
- Belousova, N.V.; Belousov, O.V.; Borisov, R.V. & Akimenko, A.A. (2021) Autoclave dissolution of platinum metals in hydrochloric acid oxidizing media. *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya (Universities' Proceedings Non-Ferrous Metallurgy)* 27:5, pages 50-57.
- Bolívar León, R.; Peña Cortes, C.A.; Moreno Contreras, G.G. (2012). Avances en la identificación de los componentes del aluvión (platino y oro) por medio de tratamiento digital de imágenes. Universidad de Pamplona. Localización: *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, ISSN-e 2500-8625, ISSN 1692-7257, Vol. 1, N°. 19, (Ejemplar dedicado a: January - June), págs. 83-91
- Bustamante R.O. (1992). Concentración de minerales – Programa Modular de Minerales Auro Argentíferos”, Módulo 6, Universidad Nacional, Mineralco, SENA.
- Bustamante, M.O., Gaviria, A.C., & Restrepo, O.J. (2008). Concentracion de minerales. Instituto de Minerales CIMEX
- Coronado, J.H.; Encinas, M.A.; Leyva, J.C.; Valenzuela, J.L.; Valenzuela, A.; Munive, G.T. (2012). Roasting of refractory gold and silver concentrate, *Revista de Metalurgia*: Vol. 48 No. 3.

- Corrivaux, L., Gilles-Laflame, J.H., 1990. Mineralogie des elements du groupe du platine dans les chromitites de l'ophiolite de Thetford Mines, Québec. *The Canadian Mineralogist*. 28, 579-595.
- Cristancho Amaya, R. (2013). Caracterización, identificación y contribución de mejora de la metodología de beneficio de un mineral de casiterita colombiano.
- Garuti, G., Gazzoti, M., Torres-Ruiz J., 1995. Iridium, rhodium, and platinum sulfides in chromitites from the ultramafic massifs of Finero, Italy and Ojén, Spain. *The Canadian Mineralogist*. 33, 509-520
- Granados-Fernández, R.; Montiel, Miguel A.; Díaz-Abad, S.; Rodrigo, M.A. & Justo Lobato. (2021) Platinum Recovery Techniques for a Circular Economy. *Catalysts* 11:8, pages 937
- Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review Published online: 17 May 2017
- Rodríguez-Chávez, V.M.; Fuentes-Aceituno, J.C. & Nava-Alonso, F. (2022) Oxidative Decomposition of Silver Telluride ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ) Using Hypochlorite in Different Acid Environments. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 0:0, pages 1-16.
- Sahu, P. et al. (20 Jan 2022). *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review Published online.*
- Sahu, P.; Dash, P.; Jena, M. S & Mandre, N. R. (2023) *Flotation of Platinum Group Elements Ores: A Review*. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 44:2, pages 102-124.
- Viet Nhan Hoa Nguyen, Si Jeong Song & Man Seung Lee. (2023) Dissolution of Ruthenium Metal by Combined Oxidizing and Reducing Action of Sodium Hypochlorite and HCl Solution. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 0:0, pages 1-7

Xiaolong Zhang et al. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review Published online: 19  
Nov 2019

Yıldırım Gülsoy, Ö., & Gülcan, E. (2019). A new method for gravity separation: Vibrating table  
gravity concentrator, Separation and Purification Technology (211), 124-134

Apéndices

Apéndice A.

Analisis de iridio en la muestra inicial de mineral aluvial proporcionado para estudio por espectrofotometría de absorción atómica



**Interlabco S.A.S.**  
LABORATORIO QUÍMICO INTERNACIONAL

Código: FT034/V05
Página: 1 de 1
Vigente desde: 16 - Nov - 17

Villa de San Diego de Ubaté, 9 de Mayo de 2024

Ref. 101866  
O.T. 34366

Señor  
**GABRIEL HERNANDEZ ALARCON**  
Bucaramanga

**CERTIFICADO DE CALIDAD**  
*¡Mejoramos continuamente  
Conocimiento, Información e Inteligencia  
al servicio de nuestros Clientes*

Nosotros, INTERLABCO S.A.S., certificamos que hemos PREPARADO y ANALIZADO una (1) muestra(s) de MINERAL, recibida(s) el día 6 de Mayo de 2024 a las 16.00 horas y los resultados obtenidos son los siguientes.

<b>IDENTIFICACIÓN:</b>	<b>MUESTRA INICIAL</b>	
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	<b>MAYO 9 DE 2024</b>	
<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>MÉTODO</b>
IRIDIO, Ir, gr/TON	3	ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA



*Carlos Javier Obando P.*  
**CARLOS JAVIER OBANDO P.**  
Auxiliar de Gestión de Calidad  
Revisado

*Juan Pablo Poveda Reyes*  
**JUAN PABLO POVEDA REYES**  
Certificador

NOTA 1: Los resultados analíticos corresponden única y exclusivamente a la(s) muestra(s) recibida(s) al LABORATORIO y no a otra(s) de la misma procedencia.  
NOTA 2: Los certificados expresados en el certificado corresponden a las circunstancias y condiciones particulares del momento en que se analizó la muestra.  
NOTA 3: INTERLABCO S.A.S. no se hace responsable por los perjuicios derivados del uso indebido del presente certificado por parte del cliente.  
NOTA 4: La muestra de reserva se conserva en INTERLABCO S.A.S. durante 30 días calendario después de los cuales será desechada. Igualmente se aceptará cualquier reclamación sobre los resultados emitidos única y exclusivamente durante este periodo.  
NOTA 5: Si se detecta en este certificado, alteración, de resultados, tipo de letra, fecha u otra anomalía comuníquese con INTERLABCO S.A.S para verificar autenticidad  
NOTA 6: El Laboratorio no es responsable de las posibles interpretaciones surgidas por la reproducción parcial del presente certificado.

Muestreo, Preparación y Análisis Físicoquímicos de carbones, coques, biomasa, grafito, mineral de hierro, barita, bauxita, mineral de cobre, Todo tipo de Minerales, yeso, calizas, cales, caolín, arcillas, asfaltita, aguas, suelos, alimentos, foliar, fertilizantes, ensilajes, pastos, lácteos y medios filtrantes como: gravas, arenas, antracitas y Productos Químicos en General. **ASESORÍAS, CONSULTORÍAS Y CAPACITACIÓN EN TODAS LAS LÍNEAS DE SERVICIO.**

Calle 5 No. 8 - 37 Ubaté (Cundinamarca, Colombia) Teléfonos: (57-1) 889 0389 - 855 3644 - 889 1349 - Celular / WhatsApp: 321 453 1296  
e-mails: gerencia@interlabco.com - gestioncalidad@interlabco.com Página web: [www.interlabco.com](http://www.interlabco.com)

LÍNEA DE ATENCIÓN AL CLIENTE: SUGERENCIAS, QUEJAS Y RECLAMOS. CEL.: 321 453 1296 GERENCIA GENERAL

Apéndice B.

Ensayo DRX mineral aluvial del choco

 <b>INFORMES TÉCNICOS DE ENSAYO</b> LABORATORIO DE SERVICIOS QUÍMICOS MINERO METALÚRGICOS Y AMBIENTALES		CÓDIGO: 07-01-01 VERSIÓN: 2 FECHA: 2018/04/18 PÁGINA: 1 de 3
INF-G-24-112	INFORME TÉCNICO DE ENSAYO	FECHA: 2018/04/18
<b>INFORMACIÓN DEL CLIENTE</b> EMPRESA: --- CONTACTO: Gabriel Santiago Adu <b>FACTURA:</b> 2024031448 Hombres Aluvial C.C.: 1005170233 CIUDAD: Suramanga Email: <a href="mailto:santiago.g@uis.edu.co">santiago.g@uis.edu.co</a> DIRECCIÓN: calle 194 x 12-32 TELÉFONO: 3045324179 SOLICITUD Nro: 068		
<b>INFORMACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S)</b> TIPO DE MUESTRA: --- APTA O NO APTA PARA ANÁLISIS: --- IDENTIFICACIÓN EXTERNA: --- IDENTIFICACIÓN INTERNA: --- RESPONSABLE DE LA RECEPCIÓN: --- RESPONSABLE DEL MUESTREO: --- FECHA DE RECEPCIÓN: 06-05-2024 RESPONSABLE DEL MUESTREO: --- FECHA DEL MUESTREO: --- LUGAR Y PUNTO DEL MUESTREO: --- FECHA REALIZACIÓN ENSAYO(S): 06-05-2024 a 09-05-2024		
<b>METODOLOGÍA Y MÉTODO UTILIZADO</b> Difracción de Rayos X: Análisis Cualitativo por Difracción de Rayos X (No-LS) de fase cristalina no analítica en muestra de minerales. Se analizó cuantitativa de las fases cristalinas en minerales mediante el ajuste entre las perfiles observados a los perfiles de difracción reportados en la base de datos utilizando el Método de Rietveld. Los parámetros reportados corresponden a la mezcla entre las fases polifásicas cuantificadas en consideración al porcentaje de mineral presente. Metodología de trabajo DRX: Condiciones de registro El registro de datos se realizó en un difractómetro de polvo marca BRUKER modelo GADAXANCE con Goniómetro Delfino bajo las siguientes condiciones: Voltaje (kV): 40 Corriente (mA): 15 Radio de Difracción (mm): 0.4 Radio del Muestreo (mm): 0.3 Radio del Soler Scatterer (mm): 0.3 Tamaño de Paso (° 2 Theta): 0.0033 Tiempo por paso (s): 1.2 Rango de registro (° 2 Theta): 4.0 a 70.0 Radiación: CuKα1 Filtro: Níquel Uso de Anti-Scatterer de Aluminio Detector: Lineal Lynx Tipo de Ionización: A paso Observaciones: Ninguna		

Laboratorio de Servicios Químicos, Minero-Metalúrgicos y Ambientales  
 UIS Sede Guapiquá, Páramo Guapiquá Calle 89 No. 391-60, Barro El Redondo  
 Tel: (57) 634 4000 Ext: 3534 Email: [gmba@uis.edu.co](mailto:gmba@uis.edu.co)

 <b>INFORMES TÉCNICOS DE ENSAYO</b> LABORATORIO DE SERVICIOS QUÍMICOS MINERO METALÚRGICOS Y AMBIENTALES		CÓDIGO: 07-01-01 VERSIÓN: 2 FECHA: 2018/04/18 PÁGINA: 2 de 3																																																											
INF-G-24-112	INFORME TÉCNICO DE ENSAYO	FECHA: 2018/04/18																																																											
<b>LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN</b> N/A																																																													
<b>EQUIPOS UTILIZADOS</b> Balanza analítica. Difractómetro de polvo marca Bruker modelo GADAXANCE con goniómetro Delfino Tagger 50 Bruker.																																																													
<b>RESULTADOS</b> Tabla # 1 Identificación y cuantificación de fases cristalinas por DRX en muestra Mineral Aluvial del Chocó																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>PDF No.</th> <th>Nombre</th> <th>Fórmula Química</th> <th>Cuanticación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="12">Cristalino</td> <td>PDF 01-074-0524</td> <td>Cuarzo</td> <td>SiO<sub>2</sub></td> <td>41.39%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-074-0348</td> <td>Alúmina</td> <td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td> <td>11.86%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-085-1163</td> <td>Cloruro de Hierro</td> <td>FeCl<sub>2</sub></td> <td>10.28%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-089-7392</td> <td>Fluoruro de Calcio</td> <td>CaF<sub>2</sub></td> <td>8.80%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-079-0861</td> <td>Platocloro 2H<sub>2</sub>O</td> <td>Ca<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>(Cl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)</td> <td>7.18%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-093-1348</td> <td>Amorita Hidrata</td> <td>Ca<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)</td> <td>6.33%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-086-0029</td> <td>Ortoclasa</td> <td>KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub></td> <td>3.68%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-077-3745</td> <td>Magrita</td> <td>FeCl<sub>3</sub></td> <td>2.48%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-089-8802</td> <td>Disquelita</td> <td>Ca<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O)</td> <td>2.12%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-073-1348</td> <td>Amorita</td> <td>Ca<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)</td> <td>1.74%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-080-1107</td> <td>Borata 10R</td> <td>K<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(OH)<sub>2</sub>·10H<sub>2</sub>O</td> <td>1.23%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-074-0461</td> <td>Hematita</td> <td>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td> <td>0.180%</td> </tr> <tr> <td>PDF 01-073-3328</td> <td>Ilmenita</td> <td>FeTi<sub>2</sub>O<sub>6</sub></td> <td>0.180%</td> </tr> </tbody> </table>				Muestra	PDF No.	Nombre	Fórmula Química	Cuanticación	Cristalino	PDF 01-074-0524	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	41.39%	PDF 01-074-0348	Alúmina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.86%	PDF 01-085-1163	Cloruro de Hierro	FeCl <sub>2</sub>	10.28%	PDF 01-089-7392	Fluoruro de Calcio	CaF <sub>2</sub>	8.80%	PDF 01-079-0861	Platocloro 2H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (Cl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O)	7.18%	PDF 01-093-1348	Amorita Hidrata	Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)	6.33%	PDF 01-086-0029	Ortoclasa	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	3.68%	PDF 01-077-3745	Magrita	FeCl <sub>3</sub>	2.48%	PDF 01-089-8802	Disquelita	Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O)	2.12%	PDF 01-073-1348	Amorita	Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )	1.74%	PDF 01-080-1107	Borata 10R	K <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (OH) <sub>2</sub> ·10H <sub>2</sub> O	1.23%	PDF 01-074-0461	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.180%	PDF 01-073-3328	Ilmenita	FeTi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0.180%
Muestra	PDF No.	Nombre	Fórmula Química	Cuanticación																																																									
Cristalino	PDF 01-074-0524	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	41.39%																																																									
	PDF 01-074-0348	Alúmina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.86%																																																									
	PDF 01-085-1163	Cloruro de Hierro	FeCl <sub>2</sub>	10.28%																																																									
	PDF 01-089-7392	Fluoruro de Calcio	CaF <sub>2</sub>	8.80%																																																									
	PDF 01-079-0861	Platocloro 2H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (Cl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O)	7.18%																																																									
	PDF 01-093-1348	Amorita Hidrata	Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)	6.33%																																																									
	PDF 01-086-0029	Ortoclasa	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	3.68%																																																									
	PDF 01-077-3745	Magrita	FeCl <sub>3</sub>	2.48%																																																									
	PDF 01-089-8802	Disquelita	Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O)	2.12%																																																									
	PDF 01-073-1348	Amorita	Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )	1.74%																																																									
	PDF 01-080-1107	Borata 10R	K <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (OH) <sub>2</sub> ·10H <sub>2</sub> O	1.23%																																																									
	PDF 01-074-0461	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.180%																																																									
PDF 01-073-3328	Ilmenita	FeTi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0.180%																																																										
Nota: <ul style="list-style-type: none"> <li>En el perfil de difracción experimental se observaron reflexiones que no pudieron ser asignadas a una fase conocida.</li> <li>Para confirmar la existencia de las fases cristalinas identificadas es recomendable realizar análisis elemental.</li> </ul>																																																													

Laboratorio de Servicios Químicos, Minero-Metalúrgicos y Ambientales  
 UIS Sede Guapiquá, Páramo Guapiquá Calle 89 No. 391-60, Barro El Redondo  
 Tel: (57) 634 4000 Ext: 3534 Email: [gmba@uis.edu.co](mailto:gmba@uis.edu.co)

 <b>INFORMES TÉCNICOS DE ENSAYO</b> LABORATORIO DE SERVICIOS QUÍMICOS MINERO METALÚRGICOS Y AMBIENTALES		CÓDIGO: 07-01-01 VERSIÓN: 2 FECHA: 2018/04/18 PÁGINA: 3 de 3
INF-G-24-112	INFORME TÉCNICO DE ENSAYO	FECHA: 2018/04/18
<b>NOTA:</b> Los datos aquí reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) y no deben ser reproducidos en forma parcial, sin autorización del Director del Grupo UIS. El laboratorio no incluye, ni hace análisis, recomendaciones, conclusiones y/o declaraciones de conformidad de los resultados elementales.		
FREDY GABAYO GONZALEZ Director Técnico del Laboratorio de Servicios Químicos, Minero - Metalúrgicos y Ambientales - UIS Universidad Industrial de Santander - UIS Bucaramanga		JUAN ANDRÉS PEDRAZA AVELLA Director Laboratorio de Servicios Químicos, Minero - Metalúrgicos y Ambientales - UIS Universidad Industrial de Santander - UIS Bucaramanga
Elabrado: Yvonne Rojas Toboza Coordinadora de calidad UIS-Programa		

Laboratorio de Servicios Químicos, Minero-Metalúrgicos y Ambientales  
 UIS Sede Guapiquá, Páramo Guapiquá Calle 89 No. 391-60, Barro El Redondo  
 Tel: (57) 634 4000 Ext: 3534 Email: [gmba@uis.edu.co](mailto:gmba@uis.edu.co)

Apéndice C.

Análisis por espectrofotometría de absorción atómica del mineral de iridio preconcentrado



**Interlabco S.A.S.**  
LABORATORIO QUÍMICO INTERNACIONAL

Código: FT034/V05
Página: 1 de 1
Vigente desde: 16 - Nov - 17

Villa de San Diego de Ubaté, 25 de Enero de 2024

Ref. 100445  
O.T. 33712

Señor  
**GABRIEL HERNANDEZ ALARCON**  
Bucaramanga

**CERTIFICADO DE CALIDAD**  
*Mejoramos continuamente  
Conocimiento, Información e Inteligencia  
al servicio de nuestros Clientes*

Nosotros, INTERLABCO S.A.S., certificamos que hemos PREPARADO y ANALIZADO una (1) muestra(s) de MINERAL, recibida(s) el día 22 de Enero de 2024 a las 8:30 horas y los resultados obtenidos son los siguientes.

IDENTIFICACIÓN: FECHA DE ANÁLISIS: DETERMINACIÓN	MUESTRA ANALISIS IRIDIO ENERO 25 DE 2024 RESULTADOS	MÉTODO
IRIDIO, Ir, gr/TON	10	ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

**CARLOS JAVIER OBANDO P.**  
Auxiliar de Gestión de Calidad  
Revisado

Ing. Q. EDELMIRA PEÑA DE ARCO  
Gerente General y Operativa  
M.P. 1354

**JUAN PABLO PAVEDA REYES**  
Certificador

NOTA 1: Los resultados analíticos corresponden única y exclusivamente a (NÚMERO DE MUESTRA) (MUESTRA) al LABORATORIO y no a (OTRO) de la misma procedencia.  
NOTA 2: Los certificados expresados en el certificado corresponden a las circunstancias y condiciones particulares del momento en que se analizó la muestra.  
NOTA 3: INTERLABCO S.A.S. no se hace responsable por los perjuicios derivados del uso indebido del presente certificado por parte del cliente.  
NOTA 4: La muestra de reserva se conserva en INTERLABCO S.A.S. durante 30 días calendario después de los cuales será DEMANDADO, queriendo se aceptará cualquier reclamación sobre los resultados emitidos única y exclusivamente durante este periodo.  
NOTA 5: Si se detecta en este certificado, alteración de resultado, tipo de letra, fecha u otra anomalía comuníquese con INTERLABCO S.A.S para verificar autenticidad.  
NOTA 6: El Laboratorio no es responsable de las posibles interpretaciones surgidas por la reproducción parcial del presente certificado.

Muestreo, Preparación y Análisis Físicoquímicos de carbones, coques, biomasa, grafito, mineral de hierro, barita, bauxita, mineral de cobre, Todo tipo de Minerales, yeso, calizas, caolín, arcillas, astillita, aguas, suelos, alimentos, foliar, fertilizantes, ensilajes, pastos, lácteos y medios filtrantes como: gravas, arenas, antracitas y Productos Químicos en General. **ASESORÍAS, CONSULTORÍAS Y CAPACITACIÓN EN TODAS LAS LÍNEAS DE SERVICIO.**

Calle 5 No. 8 - 37 Ubaté (Cundinamarca, Colombia) Teléfonos: (57-1) 889 0389 - 855 3644 - 889 1349 - Celular / WhatsApp: 321 453 1296  
e-mails: gerencia@interlabco.com - gestioncalidad@interlabco.com Página web: www.interlabco.com

**LÍNEA DE ATENCIÓN AL CLIENTE: SUGERENCIAS, QUEJAS Y RECLAMOS. CEL.: 321 453 1296 GERENCIA GENERAL**