

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE
ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA
OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE
DE DIOS**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEOLÓGO

Autor:

Bach. Tongombol Pompa Marco Gustavo

Asesor:

MSc. Ing. Arapa Vilca Víctor Ausberto

Cajamarca – Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : TONGOMBOL POMPA MARCO GUSTAVO
DNI : 73860691
Escuela Profesional : INGENIERÍA GEOLÓGICA

2. Asesor : VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA
Facultad : INGENIERÍA

3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE DE DIOS

6. Fecha de evaluación: 20 DE ENERO DE 2025

7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 2%
9. Código Documento: oid:3117:422139275
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 20 DE ENERO DE 2025

 <hr/> FIRMA DEL ASESOR Víctor Ausberto Arapa Vilca DNI: 29552145	 <hr/> UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
--	---



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE DE DIOS"

ASESOR : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0415-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 24 de julio de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, al primer día del mes de agosto de 2025, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE DE DIOS, presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica MARCO GUSTAVO TONGOMBOL POMPA, asesorado por el M.Cs. Víctor Ausberto Arapa Vilca, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 07.00 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11.00 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 18.00 PTS. Quince (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de QUINCE acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 09.00 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Signature of Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, Presidente

Signature of Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique, Vocal

Signature of M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, Secretario

Signature of M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca, Asesor

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me inculcaron la perseverancia y resiliencia, y que, a través de su apoyo incondicional ahora soy lo que soy, con ellos eternamente agradecidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios porque me dio el don de la perseverancia para alcanzar mis metas.

A Artisanal Gold Perú Tech y Athena Minerals, empresas dirigidas por el *Dr. Ing. Daniel Merino*, quien me brindó la oportunidad de utilizar sus datos, los cuales han enriquecido el contenido de esta investigación.

A mi alma mater, y los docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca, por la formación implantada en sus aulas.

A mi familia, en especial a mi madre y hermano por brindarme su apoyo incondicional.

A mis asesores, al *MSc. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca* y el *Dr. Daniel Carrizo*, cuya orientación y sabiduría han sido fundamentales para el éxito de esta investigación.

ÍNDICE

	Pág.
Lista de Abreviaciones	vi
Lista de Figuras	vii
Lista Tablas	x
Lista de Planos	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos	4
2.1.1. Internacionales	4
2.1.2. Nacionales.....	5
2.1.3. Locales	6
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. Placeres aluviales.....	7
2.2.2. Caracterización mineralógica	9
2.2.3. Microscopía Óptica.....	13
2.2.4. Técnicas de beneficio aurífero	28
2.3. Definición de términos básicos	31
2.3.1. Grado de liberación	31
2.3.2. Textura mineral.....	32
2.3.3. Concentración de Minerales.....	33
2.3.4. Chute o tolva	34
2.3.5. Preconcentrado de arenas aluviales	34

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Ubicación de la Investigación	35
3.1.1.	Geográfica	35
3.1.2.	Política.....	35
3.1.3.	Accesibilidad	36
3.1.4.	Hidrografía.....	37
3.2.	Procedimientos.....	37
3.2.1.	Metodología.....	38
3.2.2.	Población de estudio	39
3.2.3.	Muestra	39
3.2.4.	Unidad de Análisis.....	39
3.2.5.	Identificación de variables	39
3.2.6.	Técnicas	39
3.2.7.	Instrumentos de recolección de datos	40
3.3.	Geología	40
3.3.1.	Depósitos aluviales.....	40
3.3.2.	Formación Ipururo	41
3.4.	Explotación y beneficio del oro en el área de investigación	42
3.5.	Descripción de las características mineralógica de los preconcentrados	46
3.5.1.	Descripción calcográfica (Luz Reflejada)	48
3.5.2.	Descripción petrográfica (Luz Transmitida)	52
3.6.	Estratigrafía	56
3.7.	Hipergénesis y mecanismos de formación de los depósitos de placer.....	57
3.7.1.	Metalogenia	57

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Resultados de la caracterización calcográfica (Luz Reflejada).....	62
-------------	---	-----------

	Pág.
4.2. Resultados de la caracterización petrográfica (Luz Transmitida).....	64
4.3. Características mineralógicas que influyen en el beneficio del oro.....	67
4.3.1. Intercrecimientos y asociaciones minerales con gangas.....	67
4.3.2. Grado de Liberación.....	68
4.3.3. Forma de las partículas del oro.....	70
4.3.4. Tamaño de partícula de oro.....	70
4.4. Proceso optimizado de recuperación aurífera.....	71
4.4.1. Separación magnética.....	75
4.4.2. Concentración gravimétrica.....	76
4.4.3. Flotación.....	77
4.4.4. Fundición.....	78
4.5. Discusión.....	79
4.5.1. Parámetros críticos en la caracterización mineralógica para la recuperación aurífera en placeres.....	80
4.5.2. Optimización del proceso de recuperación aurífera.....	81
4.6. Contrastación de Hipótesis.....	86

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	87
5.2. Recomendaciones.....	88
6. Referencias Bibliográficas.....	89

Lista de Abreviaciones

AGC	: Artisanal Gold Council
ARCs	: Arcillas
ICP	: Espectrometría de Plasma Acoplado Inductivamente
IIAP	: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana
GGs	: Gangas
gr/m ³	: gramos por metro cubico
M100	: Malla o tamiz n°100
MAPE	: Minería Artesanal y de Pequeña Escala
MCs	: Micas
MEB	: Microscopía Electrónica de Barrido
mg/L	: miligramo por litro
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
mm	: Milímetros
nm	: Nanómetro
NSILs	: Nesosilicatos
OPs	: Opacos
OXs	: Óxidos
µm	: Micras
XRD	: Difracción de Rayos X
XRF	: Fluorescencia de Rayos X
WGS-84	: World Geodetic System 1984

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Clasificación de tipo de placeres.	9
Figura 2. Delimitación mena – ganga mediante ley química.	10
Figura 3. Procedimiento para identificar minerales en una sección delgada.	12
Figura 4. Variedades de muestras de oro.	17
Figura 5. Forma de los cristales según el desarrollo de las caras.	18
Figura 6. Habito de los minerales según sus caras dominantes.	19
Figura 7. Relieve de los cristales.	19
Figura 8. Color de los minerales.	20
Figura 9. Pleocroísmo en secciones longitudinales de biotita al girar la platina.	21
Figura 10. Exfoliación de los minerales.	21
Figura 11. Alteraciones de los minerales.	22
Figura 12. Diferentes grados de alteración de una roca granítica.	23
Figura 13. Oro electrum asociado a minerales consumidores de cianuro y oxígeno.	24
Figura 14. Propiedades adicionales de los minerales.	24
Figura 15. Birrefringencia y colores de interferencia.	25
Figura 16. Distintos tipos de Maclas que presentan los minerales.	26
Figura 17. Registro de intercrecimientos de las partículas del mineral.	27
Figura 18. Criterio de concentración a diferentes tamaños de partículas.	30
Figura 19. Celda de flotación espumante.	31
Figura 20. Proceso de adhesión partícula – burbuja.	31
Figura 21. Variables críticas para la concentración de minerales según la clasificación de los intercrecimientos que se presentan en los minerales.	33
Figura 22. Ubicación e imagen satelital del área de investigación.	36

Figura 23.	Depósitos aluviales, conformado por gravas, arenas, limo y arcillas.	41
Figura 24.	Formación Ipururo, conformados por capas subhorizontales rojizas de areniscas limosas, arcillitas calcáreas, margas y conglomerados.	42
Figura 25.	Proceso de recuperación del oro en el área de investigación.	44
Figura 26.	Proceso de explotación y beneficio en el área de investigación.	45
Figura 27.	Muestreo del preconcentrado aluvial aurífero en las instalaciones del área de investigación.	46
Figura 28.	Evaluación mineralógica para elegir el mejor método de procesamiento.	47
Figura 29.	Partículas de oro acompañado de pirita y óxidos de hierro.	48
Figura 30.	Partícula de oro y un cristal donde la magnetita está pasando a hematita por un proceso de martitización.	49
Figura 31.	Partículas de magnetita–hematita con intercrecimientos reticular, y magnetita – ilmenita con intercrecimientos tipo sándwich y ameboide.	50
Figura 32.	Pirita con inclusiones de hematita y oro con inclusiones de gangas.	50
Figura 33.	Partículas de ilmenita, magnetita y limonita con inclusiones de gangas.	51
Figura 34.	Partículas de zircón, cuarzo, rutilo y minerales opacos (N//).	52
Figura 35.	Cristal de arcilla con intercrecimientos tipo corona y bordes compuestos por minerales opacos (NX).	53
Figura 36.	Cristales de zircón, cuarzo y rutilo acompañados de minerales opacos (N// y NX).	53
Figura 37.	Cristales de zircón, rutilo y cuarzo (N// y NX).	54
Figura 38.	Cristales de zircón, andalucita y cuarzo (N// y NX).	54

Figura 39.	Cristales de cuarzo, andalucita, rutilo y zircón (N// y NX).	55
Figura 40.	Columna Estratigráfica	56
Figura 41.	Minerales libres vistos por luz reflejada.	64
Figura 42.	Minerales libres vistos por luz transmitida.	66
Figura 43.	Grado de liberación del oro en base a las microfotografías estudiadas.	69
Figura 44.	Grado de liberación de los minerales encontrados en base a las Microfotografías estudiadas.	69
Figura 45.	Porcentaje de partículas de oro encontradas en la muestra aluvial, clasificadas por un rango de tamaños en micras.	71
Figura 46.	Ejemplos de texturas en Mazuko que podrían impactar en el proceso de recuperación del oro.	73
Figura 47.	Proceso de recuperación del oro combinando técnicas alternativas de procesamiento.	75
Figura 48.	Electroimán atrapando partículas de magnetita.	76
Figura 49.	Uso del Cono Helicoidal para concentrar partículas de oro finas y gruesas.	77
Figura 50.	Oro concentrado después del proceso de Flotación.	78
Figura 51.	Obtención del dore por medio de la Fundición.	78
Figura 52.	Distribución de partículas de oro nativo en Madre de Dios y su relación con los métodos de recuperación.	84

Lista Tablas

	Pág.
Tabla 1. Mineralogía aplicada al beneficio de minerales.	11
Tabla 2. Comparación entre luz transmitida y luz reflejada	13
Tabla 3. Microscopía óptica y sus aplicaciones generales.	14
Tabla 4. Propiedades mineralógicas que se estudian con el microscopio de polarización.	14
Tabla 5. Principales minerales transparentes ordenados por clase, subclase, grupo y especie.	15
Tabla 6. Principales minerales opacos ordenados por clase, grupo y especie.	16
Tabla 7. Métodos de concentración de minerales y principales equipos empleados.	28
Tabla 8. Vértices de referencia del área de investigación.	35
Tabla 9. Accesibilidad al área de investigación.	36
Tabla 10. Nivel, diseño, naturaleza y finalidad.	39
Tabla 11. Definición de las variables de la investigación.	39
Tabla 12. Distribución de la geología en el área de investigación.	42
Tabla 13. Principales afluentes del río Inambari.	59
Tabla 14. Yacimientos minero ubicados en la cuenca de Inambari.	60
Tabla 15. Análisis de minerales libres por luz reflejada.	63
Tabla 16. Análisis de minerales mixtos por intercrecimientos en luz reflejada.	63
Tabla 17. Análisis de minerales libres por luz transmitida.	65
Tabla 18. Análisis de minerales mixtos por intercrecimientos en luz transmitida.	65
Tabla 19. Minerales mixtos con sus respectivos intercrecimientos.	68
Tabla 20. Potencial aurífero en la llanura de Madre de Dios	72

Lista de Planos

	Pág.
Plano 1. Plano de Ubicación	98
Plano 2. Imagen Satelital	99
Plano 3. Plano Geológico.....	100
Plano 4. Cuenca de Inambari.....	101
Plano 5. Plano de Franjas Metalogénicas.....	102
Plano 6. Plano Geomorfológico.....	103
Plano 7. Perfil Geológico.....	104

RESUMEN

El presente estudio comprende la caracterización mineralógica de una muestra de preconcentrado o “alce” procedente de la localidad de Mazuko, Madre de Dios. Este análisis se realiza debido a que se ha identificado pérdidas de oro durante el proceso de beneficio. Para mitigar esta problemática, se ha utilizado la microscopía óptica para estudiar la composición mineralógica (metálicos y no metálicos) de los minerales presentes en los preconcentrados. Estimando el porcentaje de partículas libres, sus intercrecimientos, clasificando los tipos y textura de las asociaciones mineralógicas, y analizando su tamaño y morfología; información que va a permitir elegir el mejor método de recuperación del oro e incrementar su beneficio. Las descripciones microscópicas se han realizado mediante la caracterización calcográfica (luz reflejada) y petrográfica (luz transmitida). Las micrografías evidenciaron partículas de oro libre que oscilan entre las 20 y 450 μm , algunas de ellas con inclusiones de oro – gangas que se presentan como trazas. Además, se observaron partículas libres de minerales como magnetita, ilmenita, hematita, cuarzo, zircón, rutilo y otros. Los intercrecimientos más importantes son el simple, reticular, gráfico, sándwich, ameboide, coliforme, inclusión, vetado y corona. Los resultados indican que el beneficio del oro involucra la combinación de varios métodos de procesamiento. El primero es la separación magnética. A continuación, se usará un método gravimétrico. Por último, el concentrado producto de la gravimetría se va a recuperar por medio de flotación, para finalmente llevarlo a fundición y obtener el doré.

Palabras Clave: *Caracterización mineralógica, MAPE, suelos aluviales, preconcentrado, oro, placeres, microscopía óptica, beneficio del oro, proceso metalúrgico.*

ABSTRACT

This study includes the mineralogical characterisation of a sample of pre-concentrate or 'elk' from the Mazuko site, Madre de Dios. This analysis was carried out because gold losses were observed during the beneficiation process. To mitigate this problem, optical microscopy was used to study the mineralogical composition (metallic and non-metallic) of the minerals present in the preconcentrates. Estimating the percentage of free particles, their intergrowths, classifying the types and textures of mineralogical associations, analysing their size and morphology; information that will allow us to choose the best method of gold recovery and increase its benefits. Microscopic descriptions were made by calcographic (reflected light) and petrographic (transmitted light) characterisation. The micrographs showed free gold particles ranging from 20 to 450 microns, some with gold inclusions - gangue - present in trace amounts. Free particles of minerals such as magnetite, ilmenite, haematite, quartz, zircon, rutile and others were also observed. The main intergrowths are simple, lattice, graphite, sandwich, amboid, coliform, inclusion, vetoed and crown. The results indicate that gold processing involves a combination of several processing methods. The first is magnetic separation. Next, a gravimetric method is used. Finally, the concentrate from gravimetry is recovered by flotation or coal and oil agglomeration and finally smelted to obtain doré.

Key words: *Mineralogical characterization, ASM, Alluvial soils, preconcentrate, gold, placers, optical microscopy, gold processing, metallurgical process.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los estudios que se realizan para la valoración de un yacimiento mineral implican tan sólo estudios genéricos de las leyes de los elementos, omitiendo los análisis de caracterización mineralógica de la mena y ganga (Melgarejo et al., 2010). Conocer estas características desde los inicios es importante para tener una información detallada de qué minerales económicos existen y a qué tipo de gangas están asociados, incrementando el valor añadido de la explotación y beneficio del yacimiento (Yagua et al., 2014). La composición mineralógica de los depósitos ricos en oro en Madre de Dios está relacionada con la mineralogía de las rocas por donde discurren los ríos, que debido a agentes exógenos como la meteorización y erosión; el oro y demás minerales presentes en vetas de las cordilleras son disgregados y transportados, formando depósitos tipo placer (Ledesma, 2021). Actualmente estos depósitos son explotados por mineros artesanales de la región, sin tener en cuenta las características mineralógicas de los suelos aluviales, por ello cuando se realiza la extracción del oro por medio de la amalgamación tiene beneficios menores al 50% (Azañero, 1998). Los bajos beneficios del procesamiento del oro se ven afectadas debido a la falta de información sobre las características mineralógica de los preconcentrados, ocasionando pérdidas de partículas de oro en los relaves. Por lo tanto, una adecuada caracterización mineralógica mediante microscopía óptica, va a proporcionar información sobre los minerales presentes, tamaño de partículas del oro, textura, asociaciones mineralógicas y reemplazamientos de minerales que existen en el área de investigación. Así, con esta información elegir el método de extracción y procesamiento más adecuado para su beneficio.

Por ello, se formuló la siguiente pregunta: ¿Cómo puede contribuir la caracterización mineralógica de los preconcentrados de arenas aluviales a optimizar el procesamiento y beneficio del oro?

Para la cual se tiene la siguiente hipótesis: Si se conoce la caracterización mineralógica de los preconcentrados de arenas aluviales, como la estimación del

porcentaje de granos libres, intercrecimientos de los minerales, tipo, textura, reemplazamientos, asociaciones mineralógicas, tamaño y morfología de las partículas de oro; resultara beneficioso para seleccionar el método de procesamiento más adecuado en el beneficio del oro.

La presente investigación se justifica en la importancia de realizar la caracterización mineralógica de los preconcentrados de arenas aluviales auríferos de la localidad de Mazuko, Madre de Dios; con el fin de identificar y elegir el mejor método extracción y procesamiento más adecuado para el beneficio del oro. Por lo tanto, esta información será de apoyo a posteriores investigaciones de carácter geológico y metalúrgico.

Esta investigación tiene el objetivo de realizar la caracterización mineralógica de los preconcentrados de arenas aluviales auríferos mediante microscopia óptica para optimizar el beneficio del oro en la localidad de Mazuko, Madre de Dios.

La investigación tiene como objetivos específicos identificar el tipo, textura, intercrecimientos, reemplazamientos y asociaciones mineralógicas; estimar el porcentaje de granos libres; analizar el tamaño y morfología de las partículas de oro; y finalmente elegir el método de procesamiento más adecuado para el beneficio del oro.

Como descripción de los capítulos se tiene: En el Capítulo I se hace mención a la introducción, en la que se plasma el planteamiento del problema, formulación, hipótesis, justificación y los objetivos de la investigación tanto general como específicos. El Capítulo II corresponde al Marco Teórico; contiene los antecedentes teóricos de la investigación tanto internacionales, nacionales y locales; así mismo las bases teóricas sobre el tipo de yacimiento donde se realiza la investigación. Además, se describe los fundamentos básicos para entender una caracterización mineralógica mediante la microscopia óptica, haciendo relevancia a sus propiedades tanto en Luz Transmitida como Reflejada, los cuales apoyan la identificación y descripción de los minerales transparentes y opacos presentes en los preconcentrados. Por último, se menciona los métodos de beneficio para recuperar el oro de los preconcentrados aluviales, tomando en cuenta las características mineralógicas. Posteriormente corresponde al Capítulo III, se describe los materiales y métodos que se emplean para desarrollar la investigación. Se detalla la

ubicación, accesibilidad y factores importantes como la hidrografía del área de investigación. Así mismo, se describe que instrumentos y como se han utilizado para recopilar la información en campo y la manera que se han procesado en gabinete. De igual manera se detalla la geología, el proceso de obtención de los preconcentrados, la preparación de las muestras para laboratorio, y detalles de los mecanismos de formación e hipergénesis del yacimiento. Por último, se describe las microfotografías del preconcentrado de arenas aluviales en la que se detallan características de los minerales presentes en la muestra. En el Capítulo IV corresponde al análisis y discusión de resultados, se analiza y discute los minerales presentes (metálicos y no metálicos), estimación de porcentajes de granos libres e identificación de los intercrecimientos, así mismo del tipo y textura de las asociaciones mineralógicas, y por último un análisis del tamaño y morfología de las partículas para elegir el mejor método de procesamiento en la recuperación del oro; además se menciona a la contrastación de la hipótesis planteada. Por último, en el Capítulo V muestra las conclusiones para cada objetivo que se ha planteado además de las recomendaciones para futuras investigaciones donde tanto profesionales de geología como de metalurgia pueden tener una base para maximizar los beneficios del oro en el corredor minero de Madre de Dios.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

2.1.1. Internacionales

Dos Santos et al. (2020) realizó el estudio “Morphological and compositional analysis of alluvial gold: The Fresnedoso gold placer (Spain)”. Tuvo como objetivo identificar la evolución morfológica, textural y composicional de partículas de oro aluvial. Se muestreo los sedimentos del arroyo Fresnedoso y a través de microscopía electrónica de barrido y microscopía óptica se realizó el análisis morfotextural. Los principales resultados indican que las morfologías laminares primarias apuntan a depósitos de filones en pequeñas vetas planas alojadas en los metasedimentos del Complejo Esquisto-Griswacke, su composición hace referencia a depósitos de oro orogénicos.

Nna et al. (2020) en su estudio “Sedimentological Characterization of Alluvial Gold Deposits of Betrare-Oya and Its Surroundings (Cameroon Eastern Region)”. Tuvo como objetivo determinar su origen y las condiciones en las que se forman estos depósitos. Se recogieron 11 muestras correspondientes a los sedimentos de los ríos. Los principales resultados indican que los depósitos aluviales son arena mal dispuestos y mal clasificados, que reflejarán depósitos torrenciales y/o arroyos de transporte corto.

Cabrera (2014) en su estudio sobre “Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija “Condominio Sur”. Tuvo como objetivo extraer la máxima cantidad de oro aplicando métodos gravimétricos como la mesa vibratoria el concentrador knelson. La metodología aplicada se lo realizó a través de un análisis mineralógico por medio de DRX y análisis químico. Esta caracterización mineralógica indica la presencia de minerales como esfalerita, pirita, calcopirita, augita, andradita y otros, en cuanto a oro no se determinaron partículas debido a su baja concentración. Los resultados indican que la mesa vibratoria obtiene mejores resultados a 125 mallas por un tiempo de 15 minutos de molienda y tiene una recuperación de 37.78%.

Yañez et al. (2005) en su artículo “Caracterización de los Minerales Auríferos de la Zona Minera de San Pedro Frío (Bolívar-Colombia), para la Selección de los Procesos de Extracción”. Tuvo como principal objetivo mejorar el proceso y tratamiento de minerales auroargentíferos. La metodología fue a través de la caracterización mineralógica, geoquímica, fisicoquímica y metalúrgica. Se usaron técnicas como el análisis microscópico, XRD, ensayo al fuego, absorción atómica e ICP-MS. Los principales resultados indican que el 94% del oro se encuentra en estado libre y el tamaño promedio del oro se encuentra a una granulometría menor a 75 μm , siendo la cianuración por agitación el método más adecuado para la recuperación.

2.1.2. Nacionales

Lobe (2018) en su tesis “Concentración de magnetita y oro libre, en los suelos aluviales de Inguro (bellavista, jaén, Cajamarca) por el método gravimétrico, como una alternativa ambiental”, tuvo como objetivo concentrar a través de métodos gravimétricos partículas de oro libre y magnetita en el Centro poblado de Inguro en la provincia Jaén y departamento Cajamarca. El estudio se realizó en el río Chinchipe, en las playas expuestas que forman laderas de arenas aluviales. La metodología se basó en el muestreo de arenas aluviales, los cuales se analizaron mediante Fire Assay y AAS a la flama; los análisis determinaron partículas de oro libre y magnetita. Los resultados indican que los procesos gravimétricos tienen la capacidad de recuperar oro libre en un 76,36% y la magnetita con un valor de 72,58%.

Valdivia (2017) en su tesis “Explotación del Oro y Caracterización Microscópica del Mineral para su Recuperación Óptima Sostenible en la Pequeña Minería y Artesanal del Sur del Perú”. Tuvo como objetivo explicar los métodos de explotación del oro y caracterización microscópica. Se recolectaron muestras de la mina la Rinconada, Secocha, Bella Unión, Bonaza y Yura; para tal fin se preparó secciones delgadas y pulidas para los estudios petrográficos y minerográficos. Los principales resultados indican la existencia de oro grueso en las zonas de Rinconada y Secocha; oro fino en las zonas de Caravelí y Yura, dato muy importante para su beneficio.

Chávez (2020) en su tesis “Caracterización Petro-Mineralógica de las Vetas Cercanas al Distrito Minero San Juan de Chorunga – Arequipa – Perú - 2020”, tuvo como objetivo

describir las características petro-mineralógicas, asociaciones mineralógicas y texturales para definir el tipo de yacimiento al que pertenece. La metodología se realizó mediante la toma de 8 muestras y mediante secciones delgadas y pulidas se hizo el estudio petromineralográfico. Los principales resultados indican una asociación cuarzo, oro y pirita; donde el oro está rellenando oquedades de la pirita, y el ensamble mineralógico característico correspondería a un Depósito Mesotermal.

Palacios et al. (2011) en su artículo “Caracterización del Yacimiento de Oro de Misky, Sur del Perú”, tuvo como objetivo establecer la geología del yacimiento de Misky, caracterizar su mineralogía y determinar el origen de los fluidos formadores del depósito. La metodología se realizó a través del estudio de láminas delgadas usando microscopía electrónica de barrido para estudiar la composición mineralógica y tamaño de partícula. Los principales resultados indican que hay oro nativo dentro de la pirita. Así se concluye que existen varios controles de la mineralización: las vetas se encuentran siguiendo el contacto entre las rocas plutónicas del batolito Costero y diques andesíticos que los cortan.

2.1.3. Locales

Merino (2024) en su artículo “Caracterización mineralógica de los preconcentrados de arenas aluviales en los distritos mineros de Huepetuhe y Delta 1, Región de Madre de Dios, Perú”. Su objetivo fue caracterizar partículas de oro y sus minerales asociados de los preconcentrados de arenas aluviales; identificando características como el tamaño de grano, ocurrencia, distribución, abundancia y la asociación mineralógica de mena y ganga. El muestreo se realizó en las concesiones de Huepetuhe y Delta 1, Región de Madre de Dios. Las técnicas utilizadas fueron por medio de Microscopía Óptica, Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Fluorescencia de Rayos X (XRF) y Difracción de Rayos X (XRD); así como análisis químicos de oro al fuego o por vía seca. Los principales resultados de este estudio indican que en la concesión Puerto Belén contiene partículas de oro nativo en un 82% por sobre las 106 μm y 18% entre 33 μm a 75 μm ; además comprende óxidos de hierro superiores al 50% y en menor proporción cuarzo, andalucita, zircón, rutilo y minerales traza. La concesión Raul 1 tienen partículas de oro nativo en un 100% por sobre los 106 μm , además comprende óxidos de sílice superiores

al 40 % y en menor proporción minerales como la ilmenita, hematita, zircón, caolinita, rutilo, moscovita y minerales traza. En ambas concesiones mineras el oro es de alta pureza, 99% de oro y 1% de plata en promedio.

Ledesma (2021) en su tesis de pregrado titulada “Caracterización de Oro y Minerales de Tierras Raras en Depósitos Fluviales Tipo Placer del Río Madre de Dios”. Tuvo como objetivo identificar los minerales portadores de tierras raras y conocer el grado de liberación para plantear una propuesta de recuperación ecológica. La recolección de datos se realizó a través de dos campañas de muestreo en el río Madre de Dios, en la que se muestrearon sedimentos de barras de punto, islas, barras longitudinales, terrazas y zonas donde hubo actividad minera previa. Se realizó un análisis por medio de un microscopio de polarización marca BX51. Los resultados indican que se identificó a la monacita como único mineral compuesto por tierras raras; con un alto grado de liberación a granulometrías menores a 100 μm . Se concluyó que es posible recuperar el terreno utilizado por la minería artesanal de la región, así como una recuperación de monacita de los residuos mineros.

Huamán et al. (2020) en su artículo “Caracterización preliminar de residuos de minería aluvial en la región Madre de Dios – Perú”, tuvo como objetivo la caracterización preliminar de arenas negras de diferentes concesiones mineras en la Región de Madre de Dios. Para el desarrollo de la investigación se recolectó muestras de distintas concesiones mineras, y posteriormente utilizar técnicas de XRD, ICP y determinaciones fisicoquímicas. A través de la técnica de pila cónica y cuarteo se consiguió una muestra representativa para laboratorio. Los principales minerales encontrados en las arenas negras son: cuarzo en mayor proporción, moscovita, caolinita, Ilmenita, hematita, goetita, albita, anatasa, esfalerita y galena principalmente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Placeres aluviales

Son los depósitos más ampliamente distribuidos y de mayor importancia económica. Su origen está en la actividad de los ríos y otras corrientes acuosas, y las concentraciones de minerales son debido al desgaste de material y liberación paulatina de los minerales útiles con la consiguiente deposición de los mismos cuando se alcanza

el equilibrio transporte – deposición (MINEM, 2001 & Viladevall, 2004). El oro se presenta en partículas muy finas y generalmente achatadas por el incesante peso de las gravas que lo cubren (Castillo, 1996).

Estos yacimientos se clasifican en función a los fenómenos que los producen:

Fenómenos físico - químicos:

- A. Placeres eluviales: son aquellos en los que predominan los fenómenos químicos sobre los fenómenos físicos, son de carácter residual y se forman a partir de áreas enriquecidas o pre-enriquecidas.
- B. Placer Diluvial: son aquellos que se forman por el desplazamiento y acumulación de materiales disgregados provenientes de depósitos eluviales. Intervienen componentes químicos (eluvial) y físicos (transporte y en parte clasificación).
- C. Placeres pro – aluviales: Son aquellos que se ubican al pie de una pendiente. Los componentes físicos (transporte y clasificación) son mayores a los componentes químicos.
- D. Los placeres aluviales resultan de la remoción y acumulación de los placeres eluviales, diluviales y/o pro-aluviales, los cuales han sido transportadas y clasificadas por el agua, y por último depositados en los lechos de los ríos, en las márgenes o en las terrazas.
- E. Placeres Morrénicos y Fluvioglaciares: son aquellos en las que intervienen componentes mixtos, los producen agentes como el hielo. En estos tipos de placeres el componente predominante es el físico.

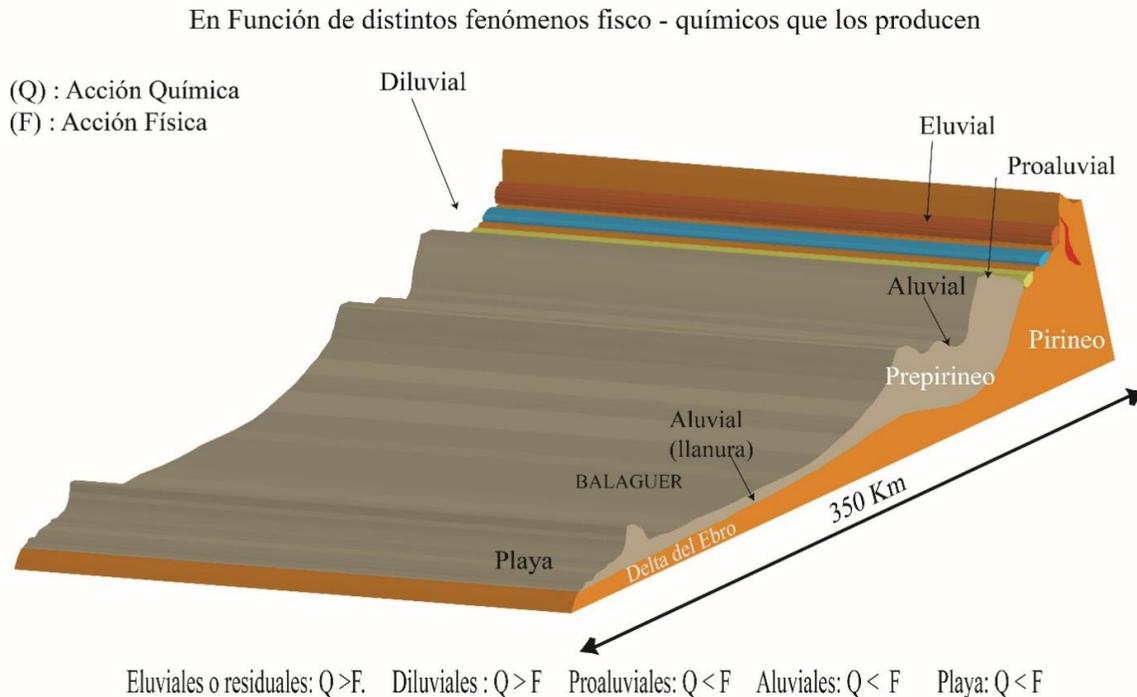


Figura 1. Clasificación de tipo de placeres.

A. En Función de distintos fenómenos físico - químicos que los producen. Modificado de Viladevall (2004) y Smirnov (1982).

2.2.2. Caracterización mineralógica

La caracterización mineralógica (*Tabla 1*) es una herramienta que proporciona información detallada sobre los tipos y características de los minerales presentes en un yacimiento, como el tamaño de grano, modo de ocurrencia, distribución, abundancia y la asociación mineralógica entre mena y ganga (Melgarejo et al., 2010). Estos datos son esenciales para el diseño y operación de los procesos de concentración (*Figura 2*), ya que permiten optimizar la separación y recuperación de los minerales valiosos, aumentando la eficiencia de la extracción (Pérez-Barnuevo et al., 2010 & Pincheira, 2013). Por lo tanto, la mineralogía desempeña un papel fundamental en el proceso de producción minera, ya que permite comprender el comportamiento del concentrado durante todo el proceso (Guadalupe, 2015 & Cameron, 1961).

En la actualidad, se han desarrollado técnicas automatizadas para cuantificar la mineralogía de las muestras, estas técnicas permiten obtener información detallada y

precisa sobre la composición mineral, lo que facilita la toma de decisiones en la planificación y optimización de la planta de tratamiento de minerales (Baum et al., 2004 & Contreras, 2015).

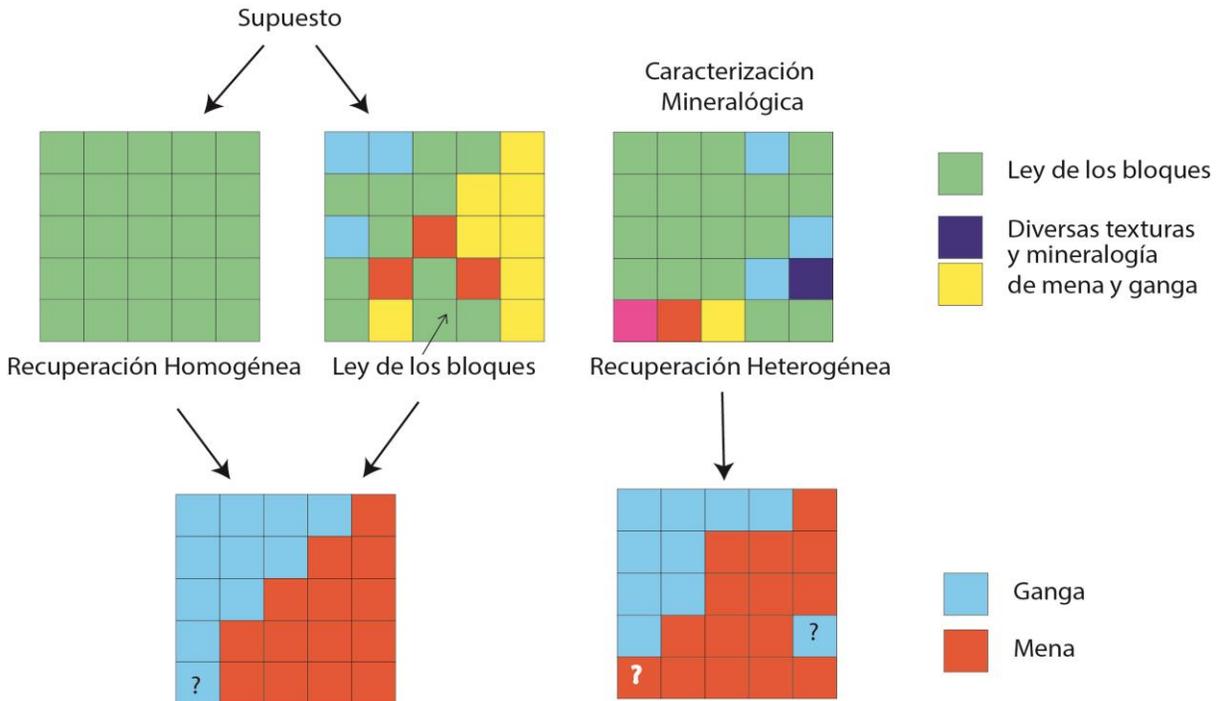


Figura 2. Delimitación mena – ganga mediante ley química. Adaptado de Pincheira (2013).

Tabla 1. Mineralogía aplicada al beneficio de minerales.

Caracterización Mineralógica	Métodos para la obtención de datos
Identificación de las especies	Análisis químicos, microscopía, difracción de rayos X, Qemscan.
Composición de los minerales	Análisis químicos de materiales “puros”, microsonda electrónica (EPMA).
Distribución de elementos mayoritarios y minoritarios (Trazas)	Análisis químico de elementos mayores en roca total; barridos por elementos por fluorescencia de rayos X, análisis químico (AAS, ICP) de la mena, microsonda electrónica EPMA.
<i>Porcentaje en volumen de los minerales de mena y ganga</i>	Recuento modal bajo el microscopio, análisis de imágenes e integración de áreas, Qemscan.
<i>Distribución de tamaño, forma de partículas y asociación mineral</i>	Recuento modal bajo el microscopio, análisis de imágenes, Qemscan.
<i>Análisis textural de la mena y grado de liberación – oclusión</i>	Recuento modal bajo el microscopio, análisis de imágenes, Qemscan.
Análisis de microfracturamiento	Análisis de imágenes.

Tomado de Pincheira (2013).

Una buena caracterización mediante microscopía óptica, se debe realizar mediante un enfoque sistemático para garantizar que las observaciones claves no se pasen por alto (*Figura 3*) (Condorhuaman, 2023) . El procedimiento para la identificación de un mineral en una sección delgada sería de la siguiente manera:

1. Observación por nicoles paralelos
2. Observación por nicoles cruzados
3. Cuando es necesario, las observaciones en nicoles cruzados realizarlo con luz conoscópica.

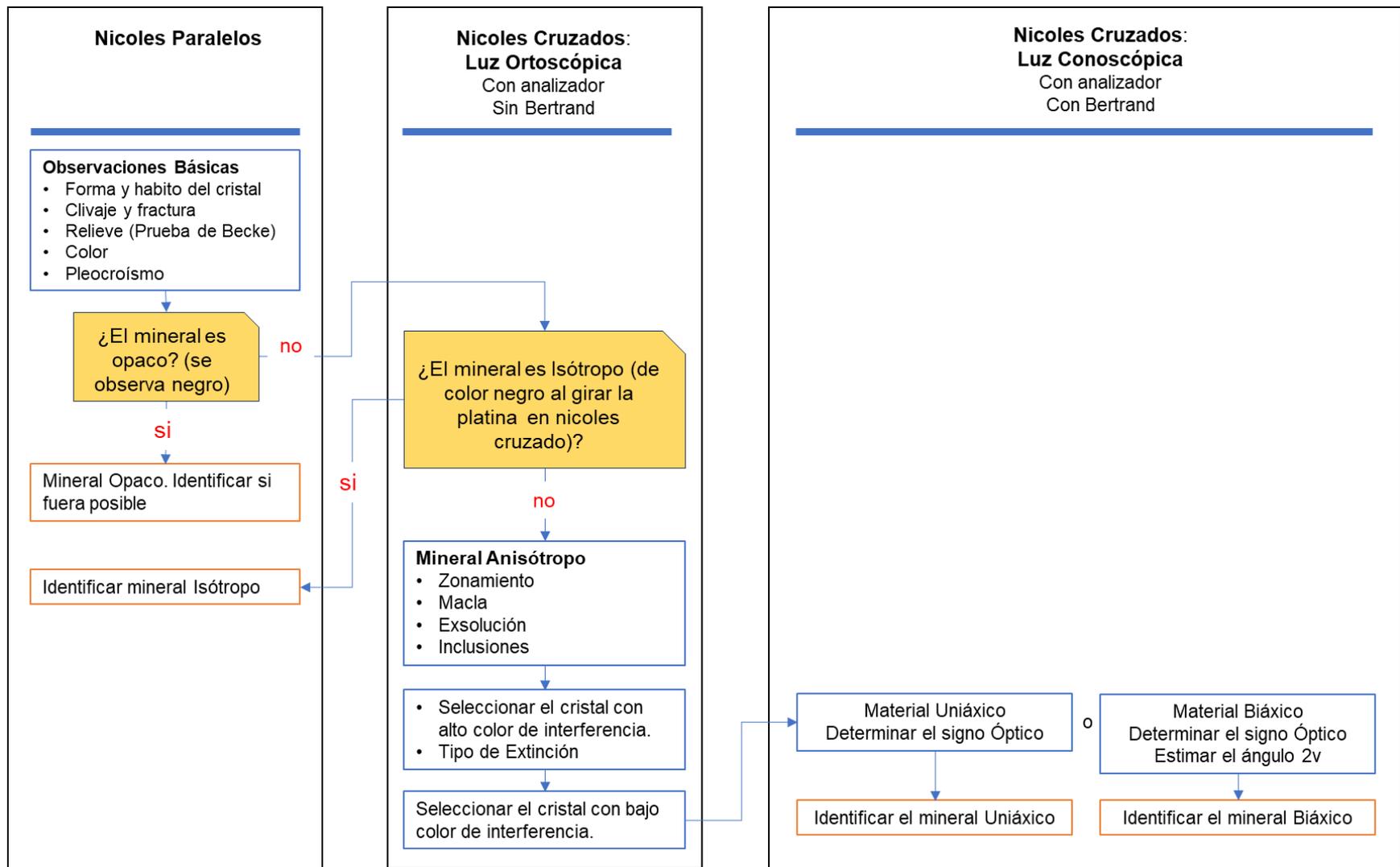


Figura 3. Procedimiento para identificar minerales en una sección delgada.
Tomado de Condorhuaman (2023).

2.2.3. Microscopía Óptica

La microscopía de polarización es una técnica de estudio de minerales que utiliza luz transmitida o reflejada para analizar sus propiedades ópticas. En el caso de la luz transmitida, se pueden observar propiedades como el color, pleocroísmo, forma, tamaño, clivaje, índice de refracción, birrefringencia, extinción, color de interferencia y maclas (Chirif, 2010; Sánchez et al., 2011 & Mukherjee, 2011). Por otro lado, la luz reflejada, se emplea para el estudio de minerales opacos que presentan una alta absorción, un índice de refracción mayor a 2,4 y una alta reflectancia. Esta técnica es muy útil para identificar asociaciones minerales y evaluación económica de los yacimientos (Chirif, 2010 & Gribble & Hall, 1985).

Tabla 2. Comparación entre luz transmitida y luz reflejada

Luz transmitida	Luz reflejada
La muestra se coloca en la trayectoria de la luz que atraviesa el cristal del objetivo del microscopio	La luz se refleja en la superficie de la muestra, que se coloca perpendicular al eje óptico del microscopio
Se observa propiedades ópticas como el color, pleocroísmo, forma y tamaño, clivaje, índice de refracción, birrefringencia, extinción, color de interferencia y maclas.	Permite la observación de propiedades como el color, la textura, el brillo, la dureza, la morfología, la reflectancia, la anisotropía y la presencia de inclusiones
Se utiliza para la identificación y el estudio de minerales transparentes o translúcidos	Se utiliza para la identificación y el estudio de minerales opacos
Se utiliza en el estudio de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas	Se utiliza principalmente en el estudio de rocas ígneas y metamórficas

Adaptada de Haldar (2020).

Existen dos tipos de microscopios ópticos: *los microscopios petrográficos*, que solo tienen luz transmitida y se utilizan para estudiar minerales transparentes, y *los microscopios universales*, que tienen tanto luz transmitida como reflejada, ideales para estudiar minerales opacos (Chirif, 2010). En la *Tabla 3* se muestran las principales aplicaciones de la Microscopía Óptica.

Tabla 3. Microscopía óptica y sus aplicaciones generales.

Estudios Petrográficos	Identificación de minerales no metálicos Textura de la roca Tipos de alteración Porcentaje y tamaños de los minerales Clasificación de la roca
Estudios Minerográficos	Identificación de minerales metálicos Reemplazamiento de minerales Porcentaje y tamaño de los minerales Posible secuencia paragenética
Estudios Petrominera-gráficos	Identificación de minerales metálicos y no metálicos Textura de la roca Tipo de alteración y reemplazamiento Porcentaje y tamaño de minerales Clasificación de la roca Posible secuencia paragenética

Tomado de Espinoza et al. (2021).

Tabla 4. Propiedades mineralógicas que se estudian con el microscopio de polarización.

Tipo de iluminación	Tipo de Propiedades	Luz Transmitida	Luz reflejada
Luz Ortoscópica	Óptica	Color	Color Pleocroísmo
		Pleocroísmo	Reflectancia
	Estructurales	Relieve	Birreflectancia
		Tamaño	Dureza Relativa
Luz Conoscópica	Óptica	Morfología	Tamaño
		Clivaje	Morfología
	Estructurales	Anisotropía de Color	Clivaje
		Interferencia	
Nicole's Cruzados	Óptica	Birrefringencia	Anisotropía
		Extinción	Reflexiones Internas
Nicole's Cruzados	Estructurales	Maclas	Maclas
		Zonamiento	Zonamiento
Nicole's Cruzados	Ópticas	Carácter Óptico	(Carácter óptico) *
		Signo Óptico	(Signo óptico) *
		Ángulo 2v	

(*) El carácter y el signo óptico con luz reflejada no se observa fácilmente.

Tomado de Chirif (2010).

Tabla 5. Principales minerales transparentes ordenados por clase, subclase, grupo y especie.

Sub clase	Grupo	Especie	Sub clase	Grupo	Especie	Sub clase	Grupo	Especie
NSILs		Olivino	FSILs	ARCs	Caolinita	HLs		Halita
		Andalucita			Dickita			Silvita
		Cianita			Illita			Cerargirita
		Silimanita			Esmectita			Bromargirita
		Topacio			Montmorillonita			Fluorita
		Circón			Pirofilita			Atacamita
		Titanita			Talco			Corindón
		Dumortierita			Muscovita			Periclasa
		Granate			Paragonita			Rutilo
SSILs		Epídota		MCs	Glauconita	OXs		Anatasa
		Vesubiana			Flogopita			Espinela
		Turmalina			Biotita			Perovskita
CSILs		Berilo			Margarita			Brookita
		Cordierita			Lepidolita			Casiterita
		Omfacita			Antigorita			Brucita
ISILs	PXs	Egirina-augita		SPTs	Crisotilo	HOXs		Gibbsita
		Jadeita			Clorita			Diaspora
		Egirina			Apofilita			Goethita
		Diópsido	CLOs	Cuarzo	Lepidocrocita			
		Hedenbergita		Cristobalita	Calcita			
		Augita		Coesita	Rodocrosita			
		Pigeonita		Estishovita	Siderita			
		Clinoenstatita		Ópalo	Smithsonita			
		Clinoferrosilita		Ortosa	Magnesita			
		Ortoenstatita		Hialofana	Aragonito			
		Hiperstena		Celsiana	Estroncianita			
		Ortoferrosilita		Sanidina	Cerusita			
		Espodumena		Microclina	Witherita			
		Rodonita		Anortoclasa	Dolomita			
		Wollastonita		TSILs	SÍlice	CGT		Anquerita
	Antofilita	Albita	Baritina					
	Cummingtonita	Oligoclasa	Celestita					
	Tremolita	Andesina	Anglesita					
	Actinolita	Labradorita	Anhidrita					
	Hornblenda	Bytownita	Yeso					
	Riebeckita	Anortita	Calcanita					
	Glaucofana	FPs	Nefelina		SFTs		Melanterita	
			Leucita				Epsomita	
			Sodalita				Goslarita	
			Noseana				Jarosita	
			Haüyna				Alunita	
			Analcita	Xenotimo				
	Cancrinita	Monacita						
	PGs	Escapolita	FFTs		Vivianita			
		Natrolita			Apatito			
		Thomsonita			Piromorfita			
		Phillipsita			Vanadinita			
		Chabasita			Lazulita			
		Laumontita			Turquesa			

Abreviaturas:
 NSILs = Nesosilicatos CBTs = Carbonatos
 ARCs = Arcillas FSILs = Filosilicatos
 HLs = Haluros FPs = Feldespatos
 SSILs = Sorosilicatos SFTs = Sulfatos
 MCs = Micas TSILs = Tectosilicatos
 OXs = Óxidos PGs = Plagioclasas
 CSILs = Ciclosilicatos FFs = Fosfatos
 SPTs = Serpentinatas PXs = Piroxenos
 HOXs = Hidróxidos FDs = Feldespatoides
 ISILs = Inosilicatos ANFs = Anfíboles
 CLOs = Cloritas ZEOs = Zeolitas

Tomado de Chirif (2010).

Tabla 6. Principales minerales opacos ordenados por clase, grupo y especie.

Clase	Grupo	Especie	Abrev.
ENs		Oro	Au
		Plata	Ag
		Cobre	Cu
		Arsénico	As
		Antimonio	Sb
		Bismuto	Bi
		Grafito	gf
SULs		Argentita	arg
		Calcosita	cc
		Digenita	dg
		Bornita	bn
		Calcopirita	cp
		Galena	gn
		Escalerita	ef
		Pirrotita	po
		Pentlandita	pnt
		Covelita	cv
		Rejalgar	rj
		Oropimente	orp
		Estibnita	stb
		Bismutinita	bmt
		Pirita	py
		Bravoita	bv
		Marcasita	mc
Arsenopirita	apy		
Molibdenita	mb		

Clase	Grupo	Especie	Abrev.	
SFSs	PGRs	Pearcita	prc	
		Polibasita	plb	
	PRJs	Proustita	pro	
		Pirargirita	pgt	
	CGRs	Tetraedrita	tet	
		Tenantita	ten	
	SFSsPb		Bournonita	bnn
			Boulangerita	blg
			Jamesonita	jm
			Enargita	en
Luzonita			luz	
OXs		Cuprita	cup	
		Tenorita	tn	
		Magnetita	mt	
		Hematina	hm	
		Ilmenita	il	
		Rutilo	rt	
		Pirolusita	prl	
		Casiterita	cst	
		Cromita	crm	
WFTs		Wolframita	Wfm	

Abreviaturas:

ENs = Elementos nativos

PGRs = Platas grises

SULs = Sufuros

PRJs = Platas rojas

SFSs = Sulfosales

CGRs = Cobres grises

OXs = Óxidos

SFSsPb= Sulfosales de plomo

WFTs = Wolframatos.

Tomado de Chirif (2010).

2.2.3.1. Guía de propiedades ópticas

El estudio de láminas delgadas es una técnica efectiva para identificar los minerales y su textura en las rocas. La textura indica el origen y las transformaciones que los minerales han sufrido en diferentes condiciones ambientales. Para evaluar cómo la luz atraviesa y se refleja en los minerales, utilizamos un microscopio petrográfico que mide las propiedades ópticas. Para determinar las propiedades ópticas con luz transmitida se examinan laminas delgadas de 30 mm de espesor (Loaiza et al., 2014).

2.2.3.1.1. Propiedades con luz polarizada

Tamaño: El conteo, la medición de las dimensiones y la asociación de los granos de oro con otros minerales nos permiten caracterizar la presencia de oro en un depósito y predecir la eficacia de la recuperación, el tamaño de los granos de oro puede ser variados y que, incluso dentro de un mismo mineral, su tamaño puede variar significativamente en función de las condiciones de formación (Londoño et al., 2010).

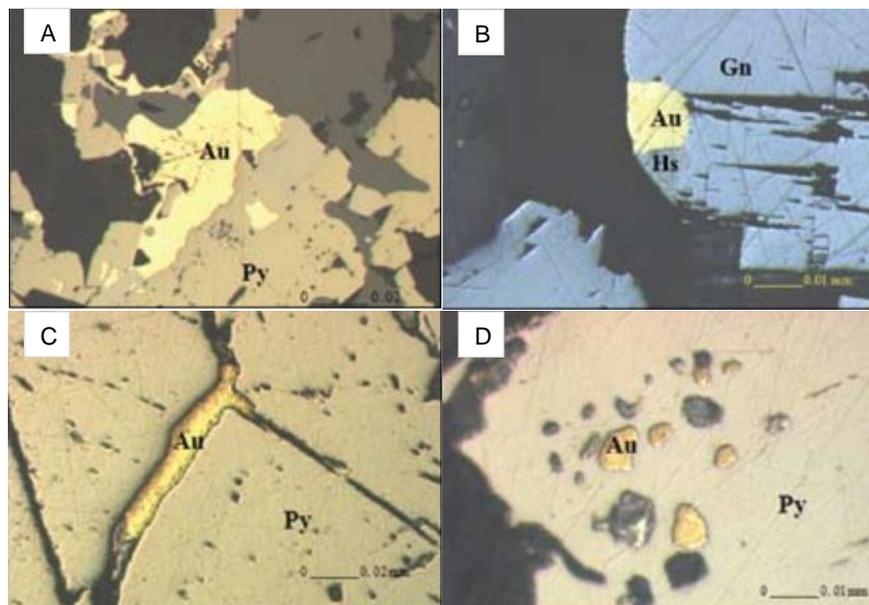


Figura 4. Variedades de muestras de oro.

A. De gran tamaño ($L_{\text{máx}} = 140 \mu\text{m}$), asociado a pirita (Py), de la mina Circasia (Marmato, Caldas). **B.** Asociado a galena (Gn) y hessita (Hs), mina La Arada (Fondas, Cauca). **C.** En fractura de grano de pirita, mina La Arada. **D.** Diseminado en grano de pirita, mina California (Fondas, Cauca). Tomado de Londoño et al. (2010).

Forma: La apariencia de los minerales depende de su sistema cristalino y puede variar considerablemente entre diferentes secciones. Cuando un mineral tiene una forma geométrica clara, se describe como *euhedral* o *idiomorfo* (Figura 5A), reflejando un crecimiento sin obstrucciones. Si la forma del mineral es solo ligeramente geométrica, se describe como *subhedral* o *hipidiomorfo* (Figura 5B). Por otro lado, si no se aprecia ninguna forma y los bordes son irregulares o redondeados, se describe como *anhedral* o *alotriomorfo* (Figura 5C). Las formas que se observan en las secciones delgadas son solo una representación bidimensional de la realidad tridimensional del mineral.

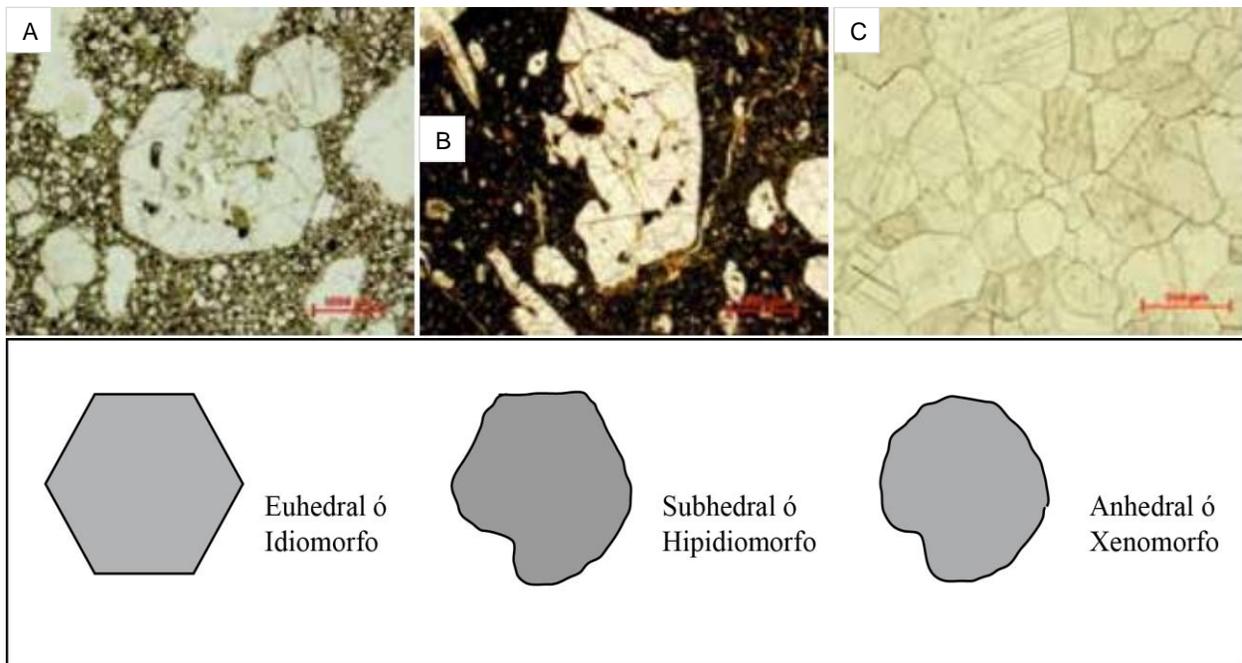


Figura 5. Forma de los cristales según el desarrollo de las caras.

A) Euhedral o idiomorfo (sección octogonal de leucita). **B)** Subhedral o hipidiomorfo (sección longitudinal olivino). **C)** Anhedral o alotriomorfo (calcita). Tomado de Chirif (2010) & Loaiza et al. (2014).

Hábito: Es la forma que adoptan los minerales durante su formación y se refleja en el mineral por una tendencia a presentar unas caras dominantes. Los tipos de hábito más comunes son: equidimensional (Figura 6A), prismático, tabular, laminar (Figura 6B), fibroso, acicular (Figura 6C) (Loaiza et al., 2014).

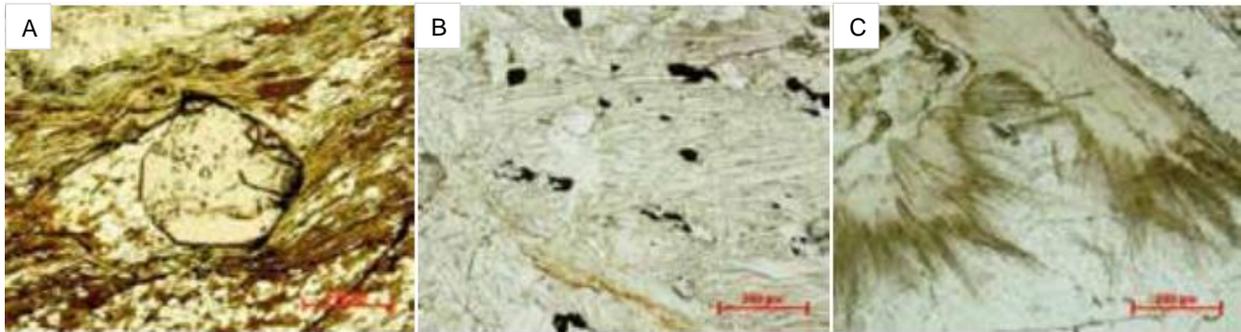


Figura 6. Habito de los minerales según sus caras dominantes.

A) Equidimensional (almandina). **B)** Laminar (moscovita). **C)** Acicular (sillimanita). Tomado de Loaiza et al. (2014).

Relieve: El relieve es un efecto óptico que se produce en minerales transparentes. La *Figura 7* muestra una metodología para estimar adecuadamente el índice de refracción y el relieve. Se indica que los contornos de los minerales con diferentes índices de refracción son claramente visibles, gracias a la refracción y la reflexión interna de la luz en la interfaz entre el grano mineral y sus vecinos. Cuanto mayor sea la diferencia entre los índices de refracción, más marcados serán los contornos y el relieve. Sin embargo, cuando los índices de refracción de los materiales adyacentes son iguales, el relieve desaparece. La intensidad de este efecto depende de la diferencia entre los índices de refracción, si usamos el bálsamo de Canadá como referencia (índice de refracción 1.55) (Chirif, 2010 & Nesse, 1986). Algunos minerales, como la calcita, son anisotrópicos y pueden tener relieve positivo y negativo a la vez (Bloss, 1970).

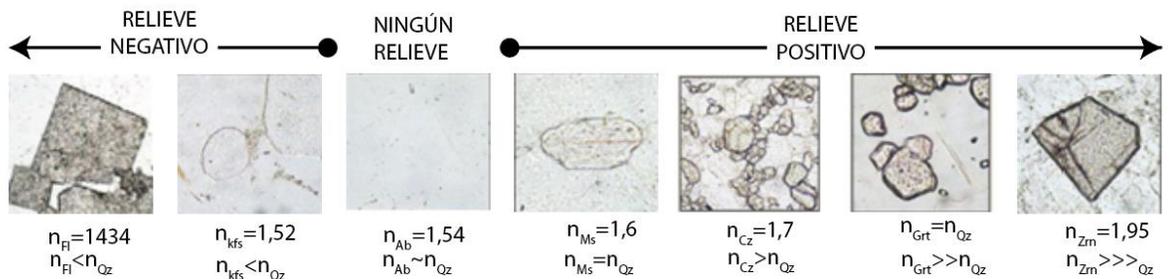


Figura 7. Relieve de los cristales.

Se muestran de negativo a positivo generado por refracción de los rayos de luz. Granos de fluorita (Fl), feldespato potásico (Kfs), albita (Ab), moscovita (Ms), clinzoisita (Cz), granate (Grt) y circón (Zr) en cuarzo ($n_{Qz} = 1,544-1,553$). Tomado de Raith et al. (2012).

Color: El color en los minerales es resultado de la combinación de la reflexión, absorción y transmisión de la luz que incide en su superficie. Esto depende de las longitudes de onda no absorbidas por la luz y de los elementos absorbentes presentes en el mineral. Algunos minerales son incoloros (*Figura 8A*), mientras que otros pueden ser de diferentes colores (*Figura 8B*) debido a la presencia de elementos como Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Ni^{2+} y Ti^{4+} (Loaiza et al., 2014). Según Chirif (2010) menciona que en láminas delgadas (30 mm), el color de un mineral puede no variar tanto debido a que las impurezas tienen un efecto mínimo (por ejemplo, tanto el cuarzo rosado como el blanco o el gris los veremos incoloros en sección delgada). La descripción del color se basa en su color principal, intensidad y tonalidad. Algunos ejemplos de colores de minerales en lámina delgada incluyen incoloros, rojizos y verdosos.

- **Incoloro:** Cuarzo, feldespato, circón, apatito, cloritoide, espinela, fluorita, calcita, dolomita, anhidrita, baritina, moscovita.
- **Rojizo:** Almandina, piropo, espesartina, circón, rutilo, esfena, biotita, hiperstena, hornblenda.
- **Verdoso:** Clorita, augita, diópsido, olivino, pumpelita, esfena, biotita, epidota, glaucofana, hornblenda, hiperstena.

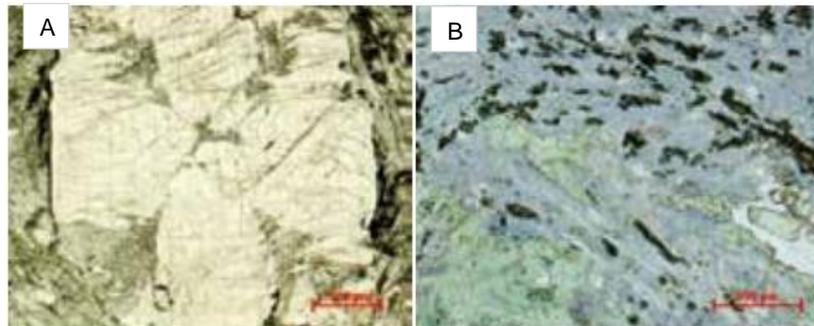


Figura 8. Color de los minerales.

A) Incoloro (sección basal de andalucita). **B)** Coloreado (glaucofana de color azul y clorita verde). Tomado de Loaiza et al. (2014).

Pleocroísmo: Es la capacidad de un mineral anisótropo de cambiar de color dependiendo de su orientación en el cristal. En minerales uniáxicos, se pueden observar dos colores al girar la platina 360° , mientras que en minerales biáxicos se pueden ver hasta tres colores diferentes. Este efecto se produce porque la luz

absorbida depende de la sección del mineral, algunas secciones cambian la dirección de vibración de la luz y otras no. Por ejemplo, en la biotita, existen secciones hexagonales que no tienen pleocroísmo (*Figura 9*) y otras longitudinales en las que el pleocroísmo es muy intenso (Loaiza et al., 2014).

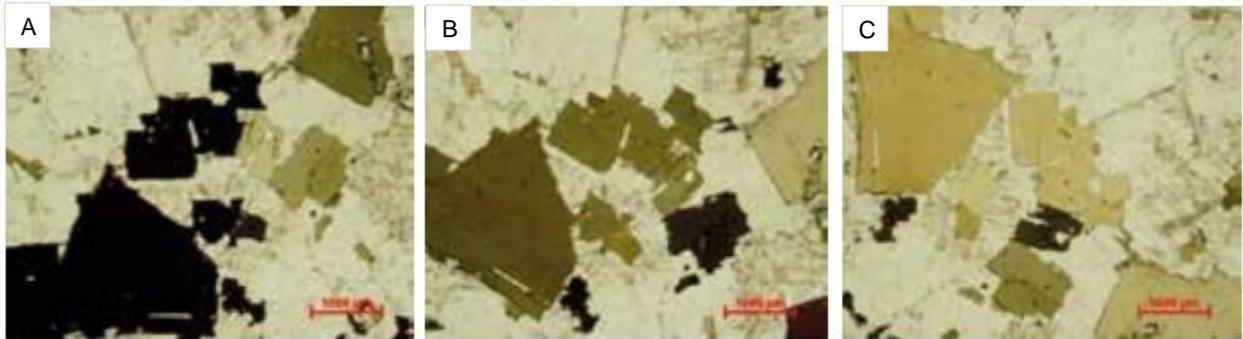


Figura 9. Pleocroísmo en secciones longitudinales de biotita al girar la platina. Tomado de Loaiza et al. (2014).

Exfoliación: La exfoliación es la propiedad de algunos minerales de partirse en direcciones específicas, basadas en su enlace químico y estructura cristalina. La exfoliación permite identificar el tipo de sección y la orientación de los ejes cristalográficos del mineral. Algunos minerales pueden tener más de una dirección de exfoliación (*Figura 10A, B*) y formar un ángulo característico, que se puede medir con un nonio en un microscopio. En algunos casos, el mineral también puede presentar una combinación de exfoliación y partición (*Figura 10C*) (Loaiza et al., 2014).



Figura 10. Exfoliación de los minerales.

A) 2 exfoliaciones en anhidrita perfecta a 90° . **B)** 2 exfoliaciones en hornblenda a 56 y 124° . **C)** 1 exfoliación perfecta paralela a la dirección de alargamiento y partición oblicua en cianita. Tomado de Loaiza et al. (2014).

Alteraciones: La alteración de los minerales se produce cuando cambian las condiciones físicas y químicas en las que fueron formados. Puede ocurrir a partir de los bordes de los granos (intercristalina) o a partir de exfoliaciones o fracturas (intracristalina) (Figura 11A, B). La alteración puede ser selectiva si el mineral presenta zonación en su composición (Figura 11C) (Loaiza et al., 2014). Los minerales secundarios son aquellos que se forman a partir de la descomposición de un mineral preexistente. La alteración producida en etapas magmáticas por los fluidos magmáticos se conoce como alteración *deutérica*, mientras que la alteración formada después de la consolidación de la roca por acción de fluidos acuosos calientes se conoce como alteración *hidrotermal*. La alteración producida en la superficie o cerca de ella por aguas meteóricas y alta concentración de oxígeno se llama alteración *supérgena*. Dependiendo de la naturaleza de los minerales secundarios, se pueden identificar diferentes tipos de alteraciones, como propilítica, argílica, potásica, silíceo, entre otros. No todos los minerales son igualmente propensos a ser alterados, y la intensidad de la alteración puede ser evaluada a través de una clasificación práctica. Cuando la alteración destruye completamente el mineral y preserva su forma externa se le denomina *seudomorfismo*. La *Figura 12* proporciona una forma práctica de clasificar la intensidad de la alteración total de una roca granítica (Chirif, 2010).

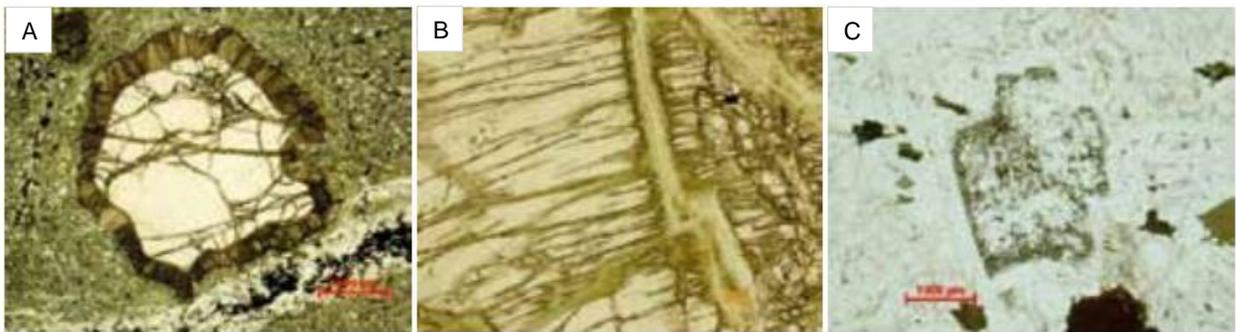


Figura 11. Alteraciones de los minerales.

A) Piroxeno con corona de reacción de piroxeno rodeado de olivino. **B)** Lizardita de alteración de piroxeno en fracturas y planos de exfoliación. **C)** Sericita en plagioclasa euhedral. Tomado de Loaiza et al. (2014)

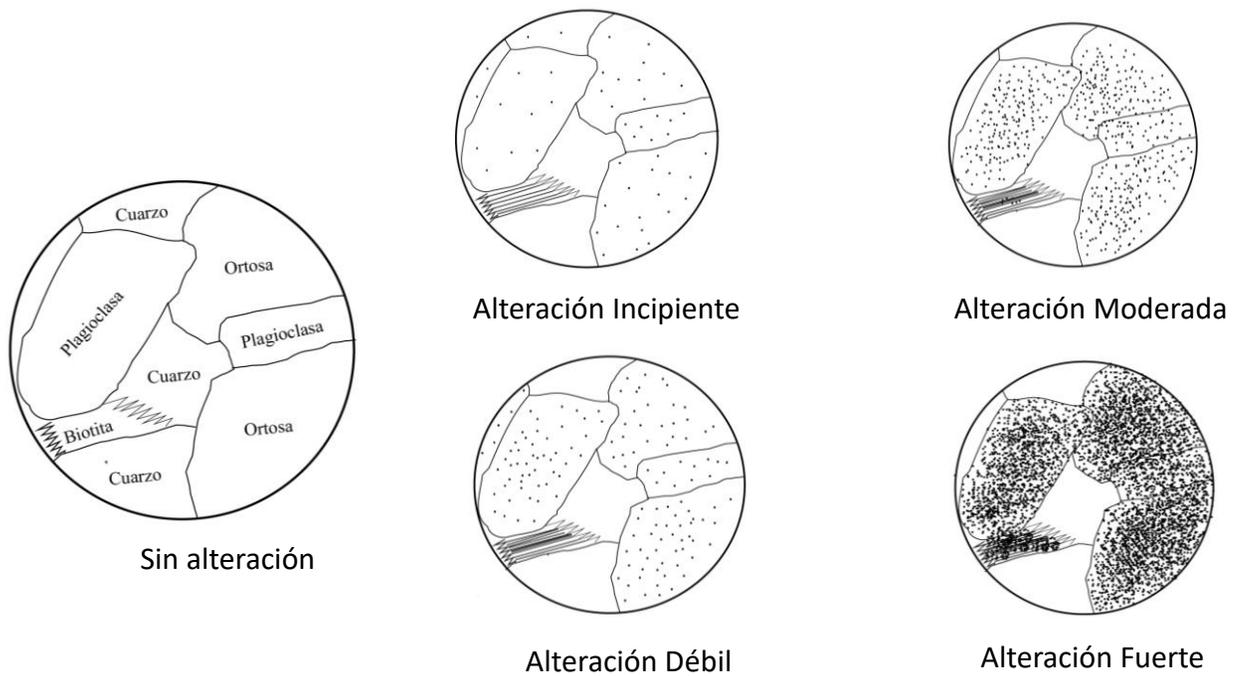


Figura 12. Diferentes grados de alteración de una roca granítica.
Tomado de Chirif (2010).

Asociaciones minerales: La identificación exacta del mineral huésped del oro es esencial, ya que esto afecta la manipulación de materiales en los procesos de trituración, molienda y concentración, así como las reacciones que ocurren durante la extracción de oro. Algunos minerales, como la arsenopirita, la pirrotina y los telururos de oro y plata (*Figura 13*), pueden aumentar la refractariedad y actuar como generadores de ácidos o consumidores de cianuro y oxígeno (Loaiza et al., 2014).

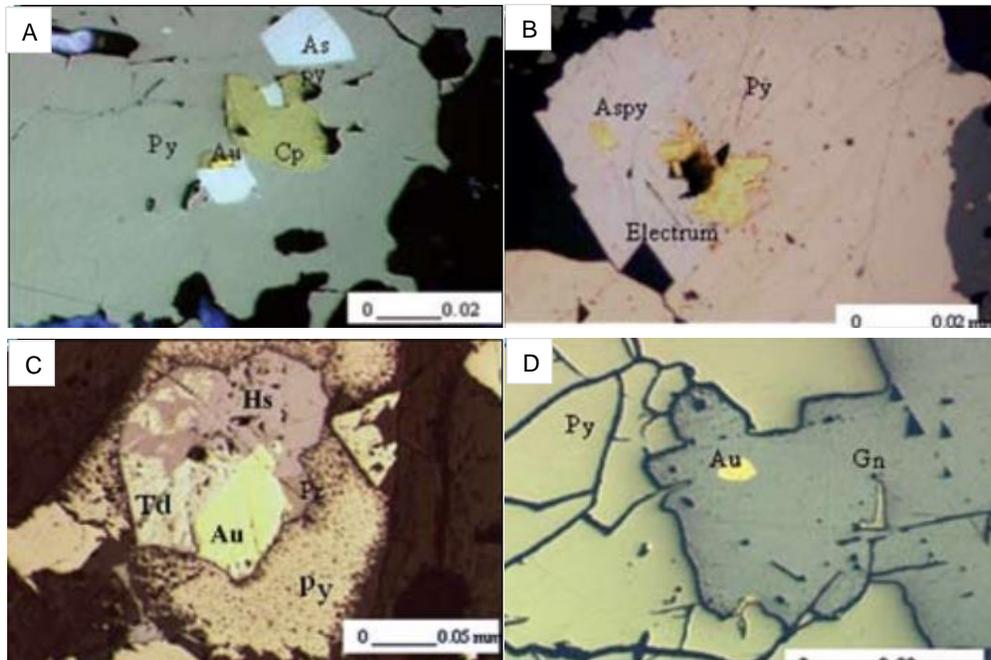


Figura 13. Oro electrum asociado a minerales consumidores de cianuro y oxígeno.

A) Arsenopirita (Aspy), incluido en cristal de pirita (Py). B) Pirita (Py) y arsenopirita (Aspy), en borde de grano, mina El Diamante (Nariño). C) Telururos de oro como hessita (Hs) y tetradimita (Td), incluido en cristales de pirita framboidal. D) Oro electrum de tamaño menor de 10 micrones, incluido en galena (Gn). Tomado de Londoño et al. (2010).

Otras propiedades: Las inclusiones en un mineral (que pueden ser de sólidos, líquidos o gases) pueden proporcionar información valiosa sobre las condiciones de formación del mineral (*Figura 14A, B*). Además, en algunos casos, las inclusiones minerales pueden generar halos metamórficos (*Figura 14C*) debido a la descomposición de elementos radioactivos presentes en su estructura (Loaiza et al., 2014).

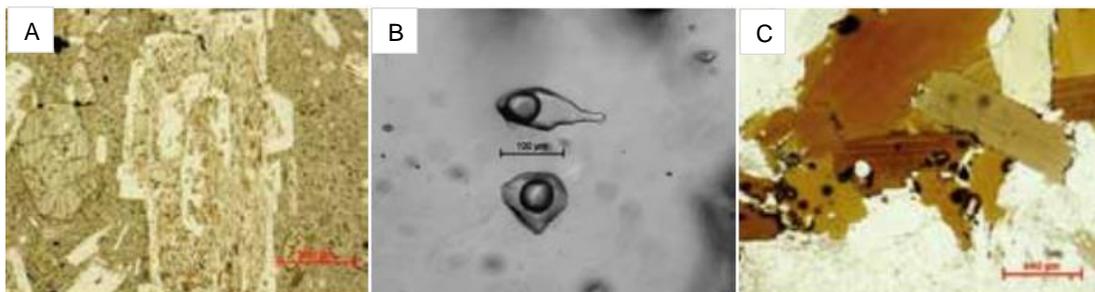


Figura 14. Propiedades adicionales de los minerales.

A) Inclusiones de vidrio en una plagioclasa. **B)** Inclusiones bifásicas en cuarzo. **C)** Aureola metamórfica producida por la desintegración radiactiva del zircón en biotita. Tomado de Loaiza et al. (2014).

2.2.3.1.2. Propiedades con luz polarizada y analizador

Birrefringencia y colores de interferencia: La birrefringencia y los colores de interferencia son propiedades de los minerales anisótropos. Estos minerales tienen un color distinto cuando son observados con un polarizador y un analizador. La tabla Michel-Lévy muestra los colores de interferencia que pueden presentar los minerales, basados en su birrefringencia, retardo (diferencia de recorrido entre el rayo rápido y el rayo lento) y espesor de la lámina. Un mismo mineral puede tener diferentes colores de interferencia dependiendo de su birrefringencia. Los colores de interferencia están divididos en órdenes según sus retardos de 0 a 550 nm (*Figura 15A*), 550 a 1100 nm y 1100 a 1650 nm (*Figura 15B*), 1650 a 2200 nm (*Figura 15C*) y así sucesivamente (Loaiza et al., 2014).

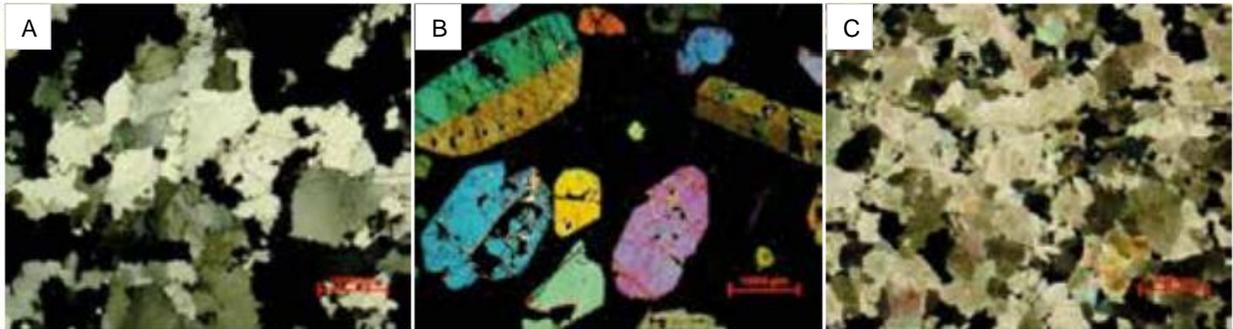


Figura 15. Birrefringencia y colores de interferencia.

A) Colores de primer orden (cuarzo anhedral). **B)** Colores de segundo orden (piroxeno con macla simple) y tercer orden (olivino). **C)** Colores de cuarto orden (dolomita). Tomado de Loaiza et al. (2014)

Maclas: Las maclas son agrupaciones de cristales de un mismo mineral que presentan elementos de simetría compartidos con orientaciones cristalográficas distintas. Se clasifican en dos categorías: las maclas de crecimiento, que se forman al inicio, y las maclas de transformación, que se producen como resultado de cambios en las condiciones de presión o temperatura del medio. Las maclas pueden ser simples, conformadas por dos cristales (*Figura 16A*), o múltiples, que incluyen más de dos cristales. Además, existen diferentes tipos de maclas, tales como las de yuxtaposición, las de compenetración (*Figura 16B*) y las polisintéticas (*Figura 16C*) (Loaiza et al., 2014).

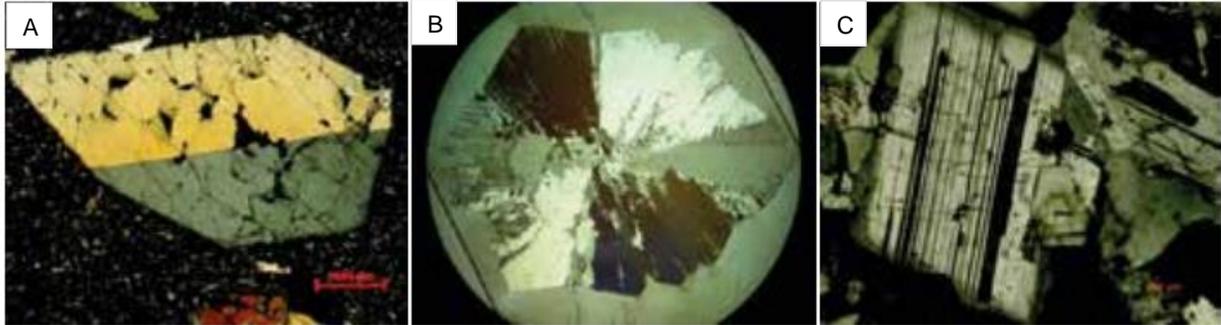


Figura 16. Distintos tipos de Maclas que presentan los minerales.

A) Macla simple en augita. **B)** Macla compenetración de aragonito. **C)** Macla múltiple polisintética de plagioclasa. Tomado de Loaiza et al. (2014).

2.2.3.2. Intercrecimientos de las partículas

El estudio de las características geométricas de los granos de un material suelto, examinan propiedades, como el tamaño, la forma y las relaciones mena y ganga. Debido a la complejidad de estas características, se han utilizado términos específicos para abordarlos de manera separada. La textura es el conjunto de características geométricas que representan a todo el grano y están influenciadas por la cristalinidad, la granularidad, la forma de los cristales y las relaciones entre ellos (MacKenzie et al., 1983).

Por otro lado, el intercrecimiento se refiere a la relación espacial entre los componentes minerales de un agregado y es una de las características geométricas más básicas de un mineral. A diferencia de las propiedades ópticas y físicas, que dependen de la naturaleza del mineral, las propiedades morfológicas, incluyendo la textura, la estructura y los intercrecimientos, varían según las condiciones de formación. El estudio objetivo de los intercrecimientos es fundamental porque nos proporciona información sobre el orden de aparición de los minerales y guías para un tratamiento metalúrgico adecuado. Por lo tanto, es importante clasificar de manera objetiva los tipos de intercrecimientos, como la clasificación de (Smirnov, 1982). En la *Figura 17* se ilustra un formato que facilita el registro de los intercrecimientos de los granos.

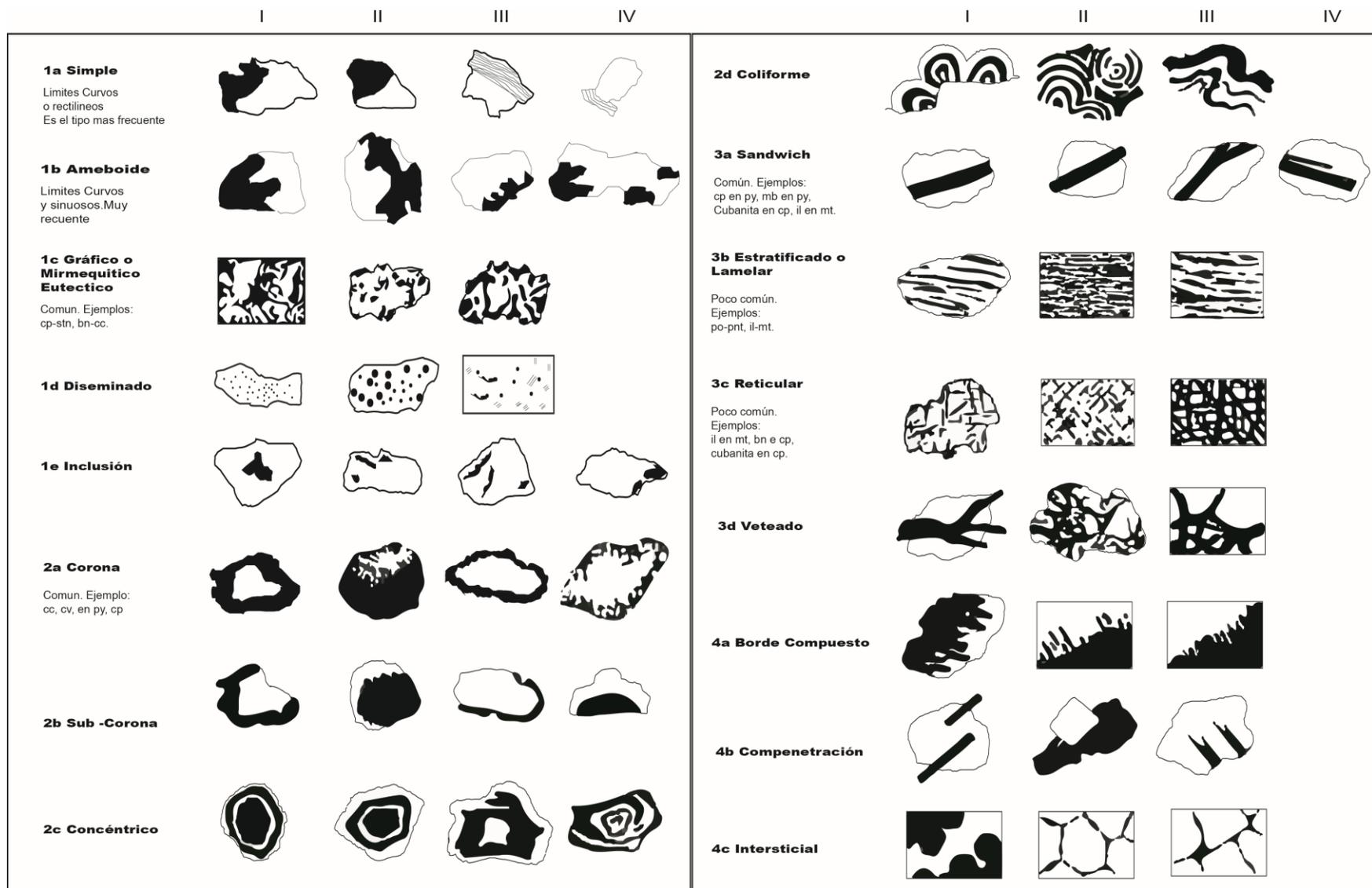


Figura 17. Registro de intercrecimientos de las partículas del mineral.

Tomado de Amstutz (1961).

2.2.4. Técnicas de beneficio aurífero

Los métodos de beneficio se relacionan con la concentración de minerales viables para su extracción y procesamiento, aumentando su tenor o porcentaje; esto es posible mediante la implementación de equipos capaces de separar dos o más especies mineralógicas y generar un concentrado con un mineral de interés. A continuación, se describen dos métodos que se emplean para la concentración de minerales (Bustamante et al., 2008).

a. Propiedades físicas o volumétricas de las sustancias minerales: Dependen del tamaño de partículas de los minerales. Se basa en la diferencia de velocidad de sedimentación (Concentración gravimétrica).

b. Propiedades físico-químicas de superficie: se refiere a la interacción que tiene las superficies de las partículas del mineral con el agua. Algunos tienen la propiedad de adsorber el agua en su superficie, llamados hidrofílicos, mientras que otros no se humectan considerándolos hidrofóbicos.

Tabla 7. Métodos de concentración de minerales y principales equipos empleados.

Método	Propiedades de Separación	Principales equipos
Concentración Gravimétrica	Diferencia de velocidades de sedimentación de los minerales.	Cono Helicoidal, Concentrador Centrifugo, Sedimentador, jig, mesa vibratoria, canalón canaletas.
Flotación Espumante	Hidrofobicidad y/o hidrofiliidad del mineral (mojamiento o no).	Celdas de flotación y columnas de flotación.
Separación Magnética	Susceptibilidad magnética (atracción o no frente a un magneto o imán)	Separador magnético de tambor, rodillos magnéticos, electroimán

Modificado de (Bustamante et al., 2008 & Merino et al., 2024).

2.2.4.1. Separación magnética

Método físico para la separación de minerales ferrosos del oro, se vale de la susceptibilidad magnética de alguno de sus componentes. Esto sucede porque se exponen los minerales ferrosos a un imán durante un lapso de tiempo. Los separadores magnéticos son usados para sacar contaminación de hierro de arenas silíceas,

feldespatos, barita, "fire-clay" y varios productos minerales refractarios. También son usados para concentrar minerales débilmente magnéticos como ilmenita, monacita, cromita, granate, wolframita (Campozano, 1991).

Los separadores magnéticos son clasificados comúnmente en dos grupos: separadores magnéticos por vía seca y separadores magnéticos por vía húmeda, según se use agua o no en su funcionamiento.

2.2.4.2. Métodos gravimétricos

Los métodos gravimétricos ayudan a separar dos o más minerales con diferentes densidades o pesos específicos, debido al movimiento relativo de las fuerzas gravitacionales que interactúan con las partículas de los minerales en un medio acuoso.

Se requiere:

- a. La distribución del tamaño de partículas para la alimentación tiene que ser adecuada, es decir que una partícula por pesada que sea, si tiene un diámetro muy pequeño se comportaría hidráulicamente como una liviana.
- b. La forma de partícula es importante ya que, si son de forma laminares y hojizas van a tener un comportamiento hidrodinámico distinto a las partículas esféricas, por más que tengan una densidad igual o parecida.
- c. Los sólidos a separar deben tener densidades distintas, ya que si no los tienen tendrán dificultades de separación.
- d. Disponibilidad de agua, esto porque la concentración gravimétrica requiere de medios acuosos, siendo el agua el fluido principal.

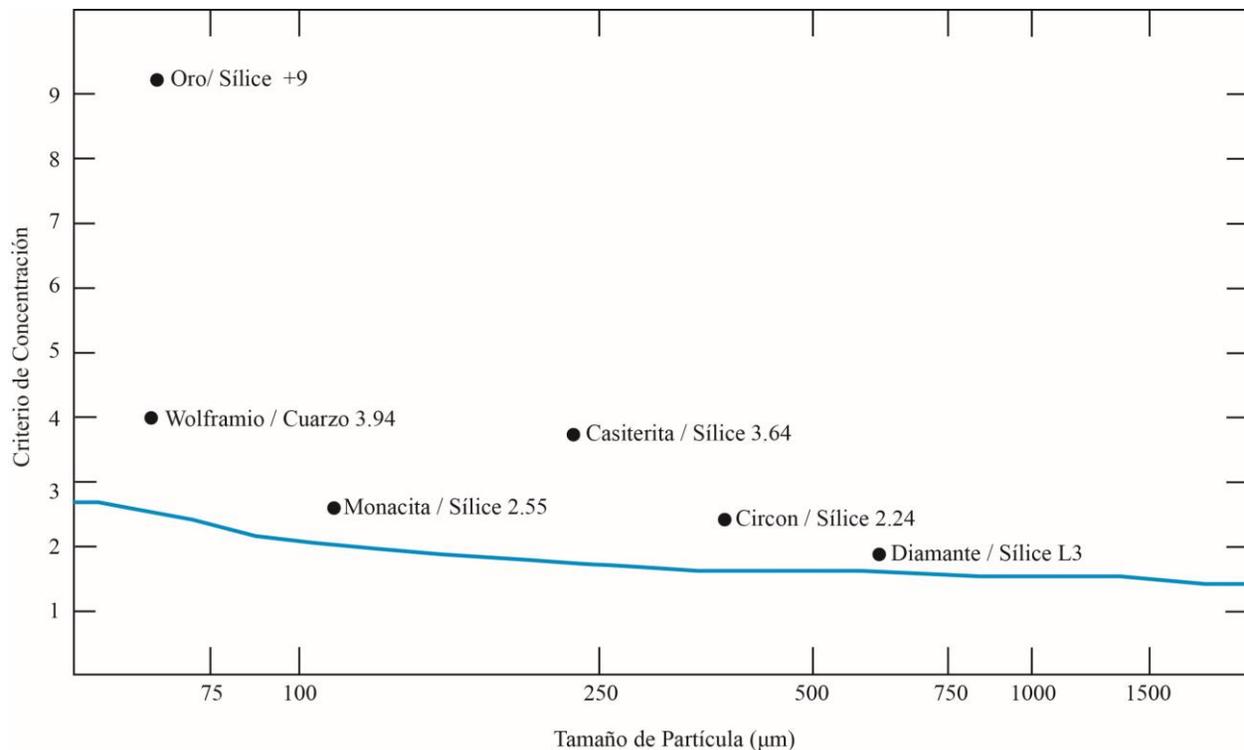


Figura 18. Criterio de concentración a diferentes tamaños de partículas. Adaptado de Burt (1987).

2.2.4.3. Flotación

La flotación es un proceso físico-químico que se utiliza para concentrar minerales en suspensiones acuosas. Las partículas sólidas hidrofóbicas se separan de las hidrofílicas mediante la inyección de burbujas de aire. La mayoría de los minerales deben ser inducidos a ser hidrofóbicos a través de la adición de tensoactivos. La flotación es un fenómeno que involucra las interfaces de líquido / gas, líquido / sólido y sólido / gas y requiere un sistema de reactivos y parámetros adecuados (Bustamante et al., 2008).

Por lo tanto, para un proceso de flotación eficientemente, deben considerarse los siguientes factores clave: calidad y pureza de los reactivos (colectores, espumantes, modificadores), dosificación adecuada, evitar la adición de depresores y colectores en el mismo punto, necesidad de remolienda en relaves, apropiado manejo de las sales solubles de cobre, definición adecuada de la granulometría de molienda, control del pH en las etapas de flotación, recuperación de agua de concentrados y relaves, y manejo adecuado de la lechada de cal. Todos estos aspectos deben ser considerados para asegurar una operación eficiente del proceso de flotación (Manzaneda, 2010).

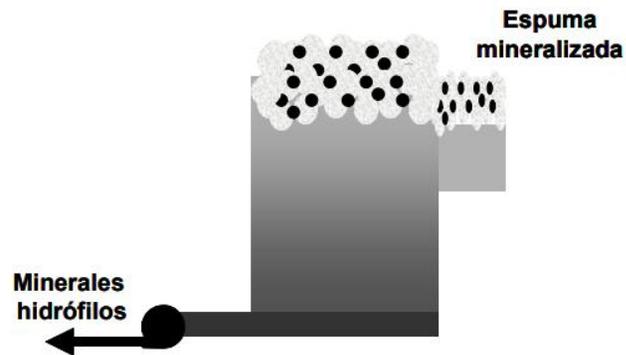


Figura 19. Celda de flotación espumante.
Tomado de Bustamante et al. (2008).

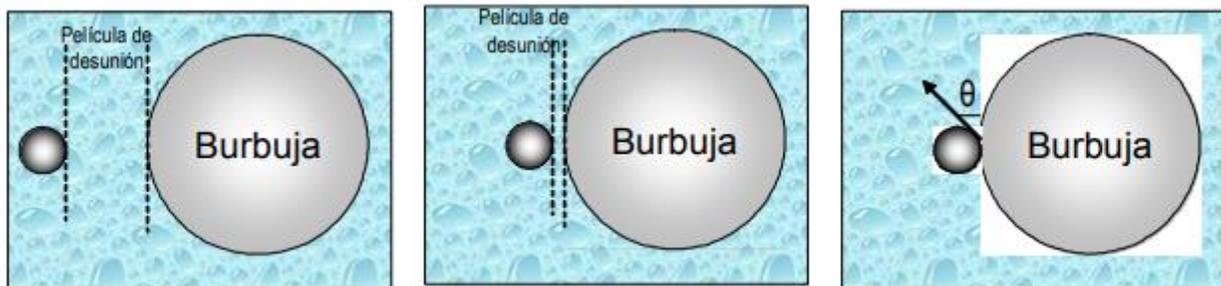


Figura 20. Proceso de adhesión partícula – burbuja.
Tomado de Bustamante et al. (2008).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Grado de liberación

El grado de liberación de un mineral es la proporción de partículas de minerales valiosos separados de la ganga. Su identificación puede ser realizada por medio de un examen visual a través de un microscopio óptico; en la que se analizan partículas completamente separadas, parcialmente separadas y partículas no liberadas. El grado de liberación es un factor determinante para evaluar la viabilidad de la extracción de un mineral. También se define como la relación entre la cantidad de mineral en partículas liberadas y la cantidad total de mineral presente, incluyendo tanto partículas liberadas como mixtas. (Pérez-Barnuevo et al., 2010).

2.3.2. Textura mineral

La textura mineral se refiere a las características espaciales que se pueden observar en la muestra a través del microscopio óptico, estas propiedades son: forma de los cristales, tamaño de grano, tipo de bordes entre minerales adyacentes, tipo de intercrecimientos y otros. Estos rasgos son cruciales para entender cómo los minerales se comportan durante los procesos de concentración mineral. La textura mineral se describe siguiendo la clasificación técnica propuesta por (Ramdohr, 1969). Esta clasificación es esencial para comprender el comportamiento de los minerales durante los procesos de concentración.

2.3.2.1. Tamaño de grano

El tamaño de grano de una muestra se lo realiza a través de la caracterización granulométrica de partículas minerales, en la cual se determina el tamaño de las partículas para verificar si los minerales están dentro del rango de tamaño requerido para el proceso de beneficio, así como para predecir la cantidad de molienda necesaria para lograr la liberación del mineral deseado (Petruk, 2000). La caracterización granulométrica debe ser expresada de manera cuantitativa y no solo descriptiva. Una mala comprensión de este parámetro puede resultar en molienda excesiva o insuficiente, lo que a su vez puede aumentar los costos de operación o reducir la eficiencia en la liberación del mineral. Por lo tanto, se considera un factor clave tanto en el control de la liberación como en el control de los costos de operación (Pérez-Barnuevo et al., 2010).

2.3.2.2. Tipos de intercrecimientos de los minerales

El tipo de intercrecimiento entre los minerales que forman una partícula mixta es crucial en la determinación de la posibilidad de liberación y concentración de los minerales. Gaudin (1939) realiza una clasificación simplificada de las partículas mixtas binarias en función del tipo de intercrecimientos y su comportamiento durante los procesos de concentración. Sin embargo, el comportamiento de las partículas con intercrecimientos de tipo I y II no siempre es predecible en función de la abundancia de cada fase. Por otro lado, las partículas con intercrecimientos de tipo III y IV requieren una evaluación más exhaustiva, ya que pueden estar experimentando pérdidas significativas del mineral encapsulado y contaminación en el concentrado (*Figura 21*).

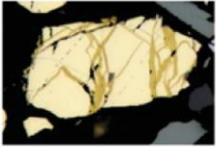
	TIPO DE INTERCRECIMIENTO	COMPORTAMIENTO ESPERADO
	TIPO I. Intercrecimiento simple. Los minerales adyacentes se encuentran unidos mediante bordes rectilíneos o suavemente curvados	La composición superficial de estas partículas es proporcional a su composición volumétrica de manera que durante la flotación se comportan de acuerdo con dicha composición. Fácil liberación
	TIPO II. Intercrecimiento vetilla o sándwich. Una de las fases minerales se encuentra incluida en la otra forma de vetilla.	La respuesta a la flotación está directamente relacionada con la abundancia relativa de cada una de las fases, mientras que la liberación es posible pero más difícil que las partículas Tipo I.
	TIPO III. Intercrecimiento corona o recubrimiento. Una de las fases se encuentra cubriendo, si no totalmente, al menos parcialmente a la otra fase.	No responde a la flotación de acuerdo con la esperada abundancia relativa de las fases, sino que su comportamiento está determinado por las propiedades del mineral de recubrimiento. La liberación es completamente imposible mediante medios físicos.
	TIPO IV. Intercrecimiento emulsión o diseminado. Una de las fases se encuentra en forma de minúsculas inclusiones en la otra fase.	Responde a la flotación de acuerdo con lo esperado para la fase más abundante. Sin embargo, la liberación es imposible.

Figura 21. Variables críticas para la concentración de minerales según la clasificación de los intercrecimientos que se presentan en los minerales.

Tomado de Gaudin (1939).

2.3.3. Concentración de Minerales

La concentración de minerales se refiere al proceso en el cual se aumenta el tenor o concentración (ley) de un mineral determinado mediante el uso de equipos de separación sólido-sólido (Bustamante et al., 2008). Para lograr esto, existen dos métodos de separación: Los métodos que se basan en diferencias en las propiedades físicas o volumétricas de los minerales y los métodos que se basan en propiedades físico-químicas de superficie. La *Tabla 7* muestra los diferentes métodos de concentración utilizados en este estudio y las propiedades diferenciales que cada uno emplea. Para lograr una separación efectiva, es necesario que exista propiedades con valores relativamente diferentes entre los minerales que se desean separar, tales como la gravedad específica, la susceptibilidad magnética, la conductividad eléctrica o una respuesta fisicoquímica superficial diferenciada. El objetivo general es enriquecer el

mineral valioso, eliminando la ganga y minimizando las pérdidas de mineral útil en la medida de lo posible (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

2.3.4. Chute o tolva

El chute es una tolva de madera de 4 a 5 m de largo por 3 m de ancho y 3 m de altura, donde se recepciona la grava aurífera provenientes del carguío desde los lechos de ríos y quebradas o desde los frentes de trabajo en las terrazas aluviales (Torres, 2006). Se desarrolla, preferentemente en la parte superior de las terrazas, se utilizan para realizar el lavado del material y se clasifique a través de las zarandas (MINEM, 2001).

2.3.5. Preconcentrado de arenas aluviales

El producto obtenido en las canaletas o sluices, después de la concentración gravimétrica en la tolva o chute se denomina pre-concentrado; en este se encuentra oro grueso y fino junto con arenas negras (Carrasco, 2022). Además, se ha determinado que los minerales presentes en el preconcentrado son: magnetita, hematita, ilmenita, granate, circón, rutilo, leucoxeno, monacita, cuarzo, y oro entre otros (Loaiza & Calderón, 2021).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la Investigación

3.1.1. Geográfica

El área de investigación se encuentra ubicada en el corredor minero de Madre de Dios en el cuadrángulo de Mazuko (27v). Con coordenadas del sistema UTM: DATUM WGS-84, ZONA 19S. El área de estudio se observa en la *Figura 22* y los vértices se especifican en la *Tabla 8 y Plano 1*.

Tabla 8. Vértices de referencia del área de investigación.

Vértice	Norte	Este
1	8 554,629.000	348,226.000
2	8 553,629.000	348,226.000
3	8 553,629.000	347,226.000
4	8 554,629.000	347,226.000

3.1.2. Política

Políticamente el área de investigación se encuentra en el Departamento de Madre de Dios, provincia de Manú, distrito de Inambari y Huepetuhe, localidad de Mazuko. En la selva amazónica peruana.



Figura 22. Ubicación e imagen satelital del área de investigación.

3.1.3. Accesibilidad

El acceso al área de investigación inicia en la ciudad de Lima, a través de un vuelo hasta Puerto Maldonado. Desde allí, se viaja vía terrestre hasta la localidad de Mazuko, por aproximadamente tres horas. Luego, en un medio de transporte local, se dirige al terminal del río Inambari y se cruza el río en bote. Finalmente, se toma una camioneta (expreso) para llegar al área de estudio en un tiempo aproximado de 25 minutos. En la *Tabla 9* se muestran más detalles de la accesibilidad al área de Investigación.

Tabla 9. Accesibilidad al área de investigación.

Tramos	Vía de transporte	Tiempo
Lima - Puerto Maldonado	Aéreo	1h 40min
Puerto Maldonado – Mazuko	Terrestre	2h 53min
Mazuko – Terminal Rio Inambari	Terrestre	5 min
Terminal Rio Inambari – Terminal Rio Punkiri	Marítimo	8 min
Terminal Rio Punkiri – Área de Estudio	Terrestre	15 min

3.1.4. Hidrografía

La Región de Madre de Dios se destaca por su amplia red hidrográfica, encabezada por los ríos Manu y Madre de Dios o Amarumayo, que cruzan tres países: Perú, Brasil y Bolivia (IIAP, 2006).

Por el área de investigación pasa el río Inambari el cual tiene una extensión de 437 km, recibe el agua de los ríos Huyaqui y Guacamayo principalmente por su margen derecha. El río Inambari es un curso de agua de origen glaciar, que nace en la región de Puno y fluye a lo largo de unos 370 km hasta desembocar en la región de Madre de Dios. Durante su recorrido, atraviesa importantes centros poblados como Mazuko y Puerto Carlos, que es el segundo puerto más relevante del departamento. En la microcuenca del río Caychive, ubicada en la región de Madre de Dios, se encuentra una de las actividades mineras más intensas, con extracción de oro a lo largo de sus playas y ríos tributarios como Marcapata (Araza), San Gabán y Caychive. Además, la quebrada Huacamayo es otro centro de intensa extracción minera desde 2006.

La subcuenca del río Inambari es compartida por los distritos de Madre de Dios, Huetupe, Inambari y Laberinto, y cuenta con dos importantes centros poblados, Mazuko con 581 viviendas y Santa Rosa/Puerto Carlos con 150. También existen en la subcuenca las comunidades nativas de Arzairé y Boca Inambari. La zona sur de la subcuenca es parte de la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata.

En cuanto a los derechos mineros en la zona, actualmente hay 372 concesiones tituladas y 343 en proceso de tramitación. Las concesiones tituladas ocupan el 41% de la subcuenca y las que se encuentran en trámite cubren el 46% (Mosquera et al., 2009).

3.2. Procedimientos

Etapas preliminares de Gabinete: En esta etapa se eligió el tema de investigación y se identificó el problema de la investigación. Se buscaron fuentes de información tanto primarias como secundarias. Posteriormente se realizó un plan de trabajo, estableciendo todo el cronograma de actividades. Además, se investigó sobre el área de estudio elegida, como los accesos y permisos, finalmente se dejó todo listo para pasar a la siguiente etapa.

Etapa de Campo: En esta etapa se visitó el área de estudio, se observaron y recolectaron datos sobre los procesos de obtención del oro que realizan los mineros artesanales. Posteriormente por medio de un cuarteador tipo Jones y bolsas de muestreo se recolectaron muestras de preconcentrado de arenas aluviales auríferos para realizar el estudio de caracterización mineralógica.

Etapa Final de Gabinete: En esta etapa se procesará la información obtenida en campo, realizando la interpretación de los datos obtenidos de la caracterización mineralógica. Para ello, se usarán fichas mineralógicas, donde se describen los intercrecimientos de las partículas del mineral, y cómo influyen en los procesos de concentración.

3.2.1. Metodología

Nivel: esta investigación es del **tipo descriptiva** porque dará detalles sobre las características mineralógicas de los preconcentrados de arenas aluviales auríferos, donde se identifican los intercrecimientos, el tipo, textura, reemplazamientos y asociaciones mineralógicas. Además, será **explicativa** porque analizará el motivo o razón por la cual las recuperaciones del oro en la localidad de Mazuko son bajas.

Diseño: la investigación es de tipo **no experimental** porque no se manipula ninguna variable independiente para ver sus efectos en las variables dependientes, solo se observa los fenómenos tal como se dan en la naturaleza, en este las características mineralógicas de los preconcentrados de arenas aluviales.

Naturaleza: la investigación será **cualitativa** porque se describe las características mineralógicas de los preconcentrados de arenas aluviales de la localidad de Mazuko en la región de Madre de Dios. La información como los intercrecimientos, tipo, textura, forma y tamaño de las partículas del oro van a permitir elegir el método más adecuado para su óptima recuperación. La investigación a la vez es **cuantitativa** porque se cuantificará el porcentaje de las partículas libres de los minerales.

Finalidad: la investigación es **aplicativa** porque la información obtenida de campo y laboratorio. Se aplicarán para determinar el método más adecuado para el beneficio del oro.

Tabla 10. Nivel, diseño, naturaleza y finalidad.

Clasificación	Tipo de investigación
Nivel	Descriptivo, explicativa
Diseño	No experimental
Naturaleza	Cualitativo y cuantitativo
Finalidad	Aplicada

Tomado de Supo (2016).

3.2.2. Población de estudio

La población de estudio comprende los suelos aluviales con una extensión de 100 Ha, perteneciente a la localidad de Mazuko, departamento de Madre de Dios.

3.2.3. Muestra

La muestra estudiada es los preconcentrados de arenas aluviales auríferas.

3.2.4. Unidad de Análisis

Constituida por los intercrecimientos, tipo, textura, reemplazamientos, asociaciones mineralógicas, tamaño y morfología de las partículas de oro.

3.2.5. Identificación de variables

Para la investigación se han planteado variables independientes y dependientes los cuales se especifica en la *Tabla 11*.

Tabla 11. Definición de las variables de la investigación.

Variables Independientes	Variable dependiente
Características mineralógicas	Beneficio del oro
Métodos de procesamiento Metalúrgico	

3.2.6. Técnicas

Las técnicas empleadas se basan en la observación, para ello se utiliza un microscopio óptico como instrumento, y a través de formatos como el registro de intercrecimientos, tamaños y texturas, se analizará las partículas de los minerales encontrados en los preconcentrados de arenas aluviales.

3.2.7. Instrumentos de recolección de datos

Los materiales a usar para la recolección de datos son:

GPS Navegador Garmin: utilizado para la obtención de coordenadas para la ubicación de puntos.

Cámara fotográfica Canon Powershot: utilizada para el registro fotográfico de los afloramientos para luego ser anexado en el presente trabajo.

Computadoras de escritorio y laptop: máquina usada para el procesamiento de datos y redacción de la tesis.

Formatos de intercrecimientos de minerales: Utilizados como guías para la identificación de las partículas de los minerales.

Libretas de campo, lapiceros y lápices: utilizados para anotaciones de los parámetros geotécnicos y el cartografiado de la zona.

ArcMap v10.8: Software utilizado para la creación de los planos

Microsoft Office v2019 (Word, Excel, PowerPoint): Procesadores de datos utilizados para la elaboración de los informes y presentaciones.

3.3. Geología

3.3.1. Depósitos aluviales

Los depósitos aluviales se han formado por la acumulación de sedimentos que el río Inambari arrastró de aguas arriba. Está compuesto por sedimentos de diferentes tamaños que han sido transportados por el agua y depositados donde la velocidad ha disminuido. Se puede observar diferentes capas subhorizontales de distintos tamaños, en la que se han acumulado gravas, arenas, limo y arcillas. Tiene clastos que oscilan entre 2 a 40 cm, se caracterizan por ser desde subagulosos hasta angulosos. Este tipo de depósitos se observan mejor en los frentes de explotación abandonados, además muchos de ellos aún están cubiertos por la vegetación. Representan el 53.03% del área de investigación.



Figura 23. Depósitos aluviales, conformado por gravas, arenas, limo y arcillas.
(Coordenadas UTM 347550 E; 8553890 N)

3.3.2. Formación Ipururo

Esta formación separa las corrientes fluviales que van de un lado a los ríos Tambopata y Malinowsy y del otro al río Inambari. En el área se puede observar una secuencia de capas subhorizontales grises rojizas, con estratos de distintos espesores. Están conformados por areniscas limosas, arcillitas calcáreas, margas y conglomerados compuestos de clastos como guijarros, gravas y menor proporción bloques. Esta formación representa el 46.97% del área de investigación.



Figura 24. Formación Ipururo, conformados por capas subhorizontales rojizas de areniscas limosas, arcillitas calcáreas, margas y conglomerados.

(Coordenadas UTM 347830 E; 8553632 N)

La distribución de la geología se muestra en la *Tabla 12* y en el *Plano 3*.

Tabla 12. Distribución de la geología en el área de investigación.

Litología		Area (Ha)	Área (%)
Depósitos aluviales	Qh-al	53.03	53.03
Formación Ipururo	Nmp-i	46.97	46.97
		100	100

3.4. Explotación y beneficio del oro en el área de investigación

El procedimiento de la extracción del material aluvial aurífero se realiza en la llanura aluvial del área de investigación, la explotación es simple y comprende las siguientes etapas:

Remoción de la sobrecarga: se remueve la cobertura vegetal por medio de maquinaria pesada y facilitar la extracción del material aurífero.

Remoción y extracción de gravas y arenas: Por medio de una retroexcavadora se carga el material aluvial aurífero en un volquete de una capacidad de 15m³, estos se encargan de transportar el material hasta el chute o tolva para el lavado del material.

Clasificación granulométrica del oro, clastos y arenas: los volquetes descargan el material en el chute, donde los huaychuleros usan mangueras de alta presión de agua para lavar el material, separando las partículas más finas de las más gruesas, el material excedente o estéril se lleva a la zona de desmonte.

Concentración del preconcentrado. En la parte inferior del chute se encuentra una zona denominada caja de turbulencia, que recoge el material fino después de ser clasificado por la zaranda, este material es desviado por canales hacia las alfombras, donde se atrapan la arenilla aurífera o “alce”, posteriormente se recoge en baldes de 18 litros, en estos se recolectan entre 5 a 10 kg en un turno de 8 horas. Tener en cuenta que en esta etapa se realizó el muestreo por medio de un cuarteador tipo Jones.

Amalgamación. Este proceso se realiza en las pozas de amalgamación de la operación minera, donde el encargado agrega una cierta cantidad de mercurio (no se mide) directamente al balde obtenido en el proceso anterior, después se homogeniza el alce con el Hg usando las manos o una hélice eléctrica para generar movimientos circulares, con el fin de separar y eliminar los materiales no aprovechables, y formando una amalgama. El proceso dura aproximadamente 1 hora.

Refogado. La amalgama obtenida se transporta al área de refogado, donde se utiliza una retorta para quemar la amalgama y liberar el oro. Este proceso también dura aproximadamente 1 hora.

Obtención del oro. Para la obtención del oro puro se lleva a un proceso de fundición en la cual usan sopletes para calentar el oro en un crisol que contiene Tetraborato de Sodio (bórax) y se alcanza temperaturas muy altas, superiores a 1064° C. Cuando el oro alcanza su punto de fusión se vierte en lingoteras para darle forma y así posteriormente venderlo.

Este proceso ocurre en un turno de 8 horas, en la que se procesan 500 TM aproximadamente de material aluvial, de las cuales se concentran y se obtiene entre 5 a 10 kg de preconcentrado o alce. El proceso de obtención de la muestra de

preconcentrado aluvial aurífero se ilustra en color azul en la *Figura 25*, así mismo se muestra un flujograma de la obtención del dore en el área de investigación.

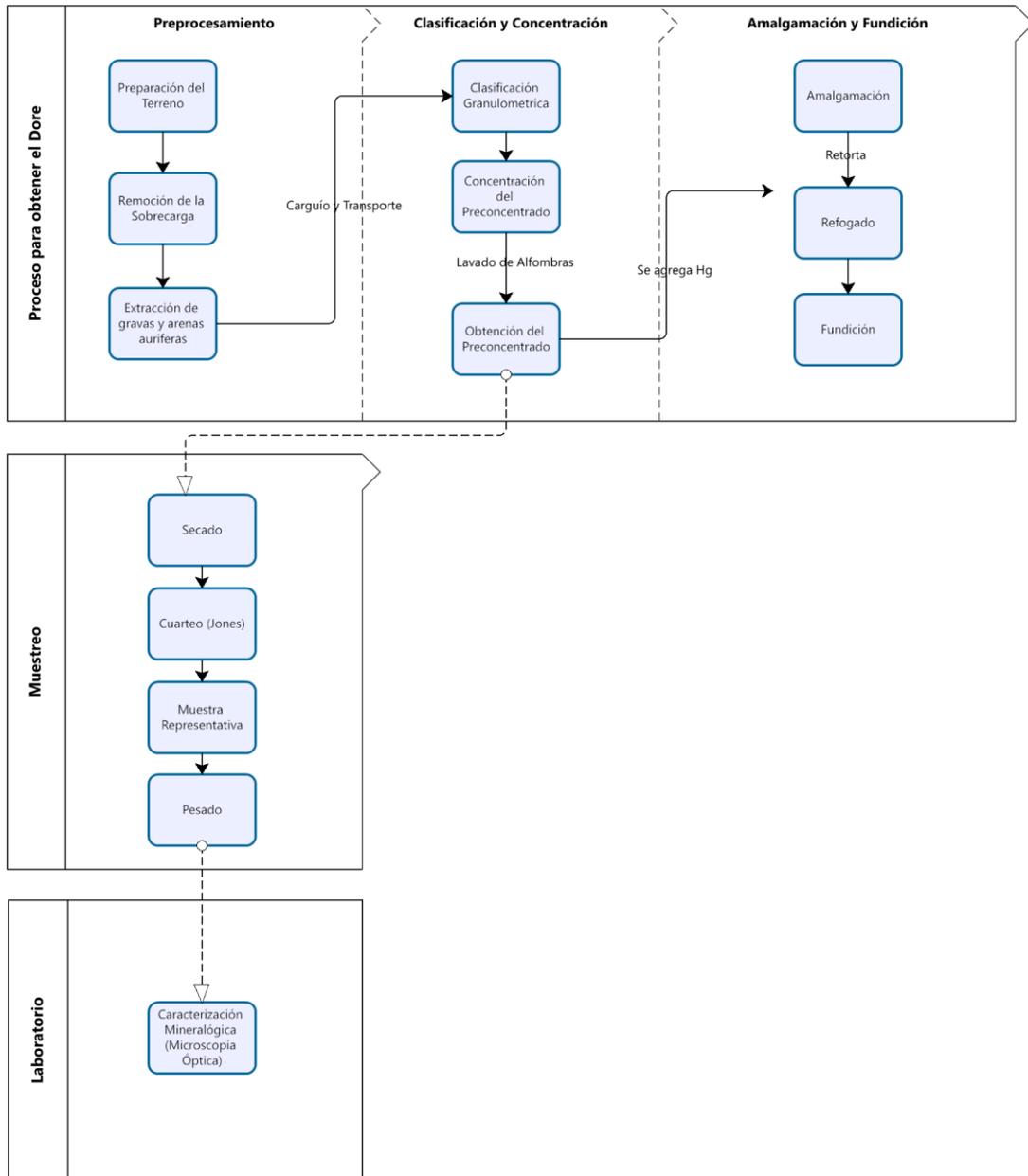


Figura 25. Proceso de recuperación del oro en el área de investigación.

En color azul representa el proceso de obtención de la muestra de preconcentrado para la caracterización mineralógica.



Figura 26. Proceso de explotación y beneficio en el área de investigación.

a. Carguío y acarreo. **b.** descarga de material aurífero. **c.** lavado y separación del material aurífero en la tolva. **d.** clasificación granulométrica en la zaranda por medio de gravedad del material grueso y fino (menor a $\frac{1}{4}$ "). **e.** recepción y concentración del material fino en las alfombras. **f.** carguío y traslado del excedente a la zona de desmonte.

3.5. Descripción de las características mineralógica de los preconcentrados

El estudio se ha realizado mediante una caracterización calcográfica (luz reflejada) y una caracterización petrográfica (luz transmitida) de una muestra de preconcentrado de arenilla aurífera o “alce” proveniente de la localidad de Mazuko, distrito de Huepetuhe, departamento de Madre de Dios.

La muestra para el análisis en el laboratorio fue extraída del preconcentrado o “alce”, el cual es obtenido del lavado de alfombras (*Figura 26e*) durante un turno de trabajo de 8 horas. En este caso se tiene un total de 6.6 kg de preconcentrado y por medio de un muestreo con el cuarteador tipo Jones se extrae 1036.5 g (*Figura 27*). Tener en cuenta que con esta cantidad de muestra se realizara varios análisis de laboratorio como Difracción de Rayos X (XRD), Fluorescencia de Rayos X (XRF), Oro Fire Assay, Malla Valorada, Espectrometría de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y Microscopía óptica; sin embargo, esta investigación solo se enfocara en el último análisis.



Figura 27. Muestreo del preconcentrado aluvial aurífero en las instalaciones del área de investigación.

a. Muestreo de preconcentrado por medio un cuarteador tipo Jones. **b.** muestra representativa del preconcentrado.

La caracterización mineralógica de los preconcentrados identificara datos de los intercrecimientos, el tipo, textura, reemplazamientos y asociaciones mineralógicas. Así mismo, estimar el porcentaje de granos libres y analizar el tamaño y morfología de las partículas de oro. Con esta información se va a elegir el método de procesamiento más adecuado para el beneficio del oro (*Figura 28*).

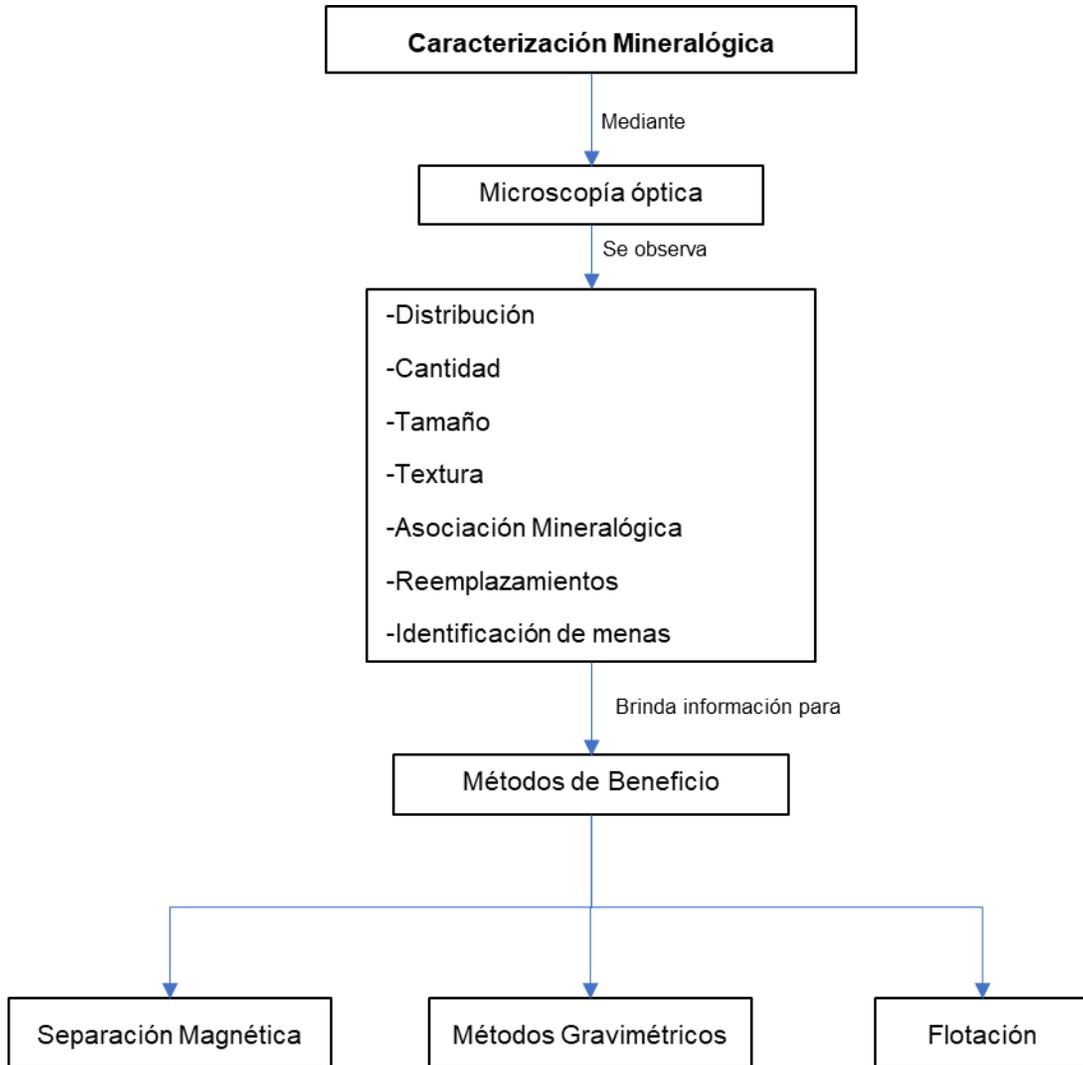


Figura 28. Evaluación mineralógica para elegir el mejor método de procesamiento.

3.5.1. Descripción calcográfica (Luz Reflejada)

Esta descripción se realiza mediante el análisis de luz reflejada a través del estudio de una briqueta pulida para estudiar la mineralogía de la mena. En este apartado los minerales no metálicos se denominarán gangas.

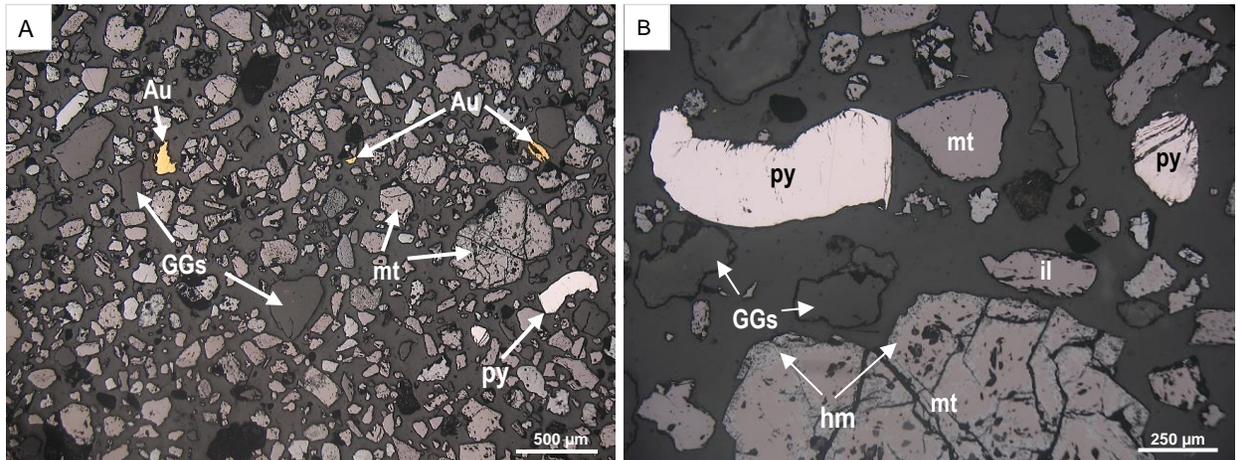


Figura 29. Partículas de oro acompañado de pirita y óxidos de hierro.

A) Se aprecian 03 partículas libres de oro con tamaños que oscilan entre 50 y 150 µm, las partículas son alargadas y aplastadas en forma de laminillas u hojuelas, con bordes irregulares y sinuosos. Asimismo, presenta un cristal subhedral libre de pirita (py) que fluctúa entre 50 y 300 µm. Además, hay cristales anhedrales y subhedrales fracturados de magnetita (mt) de 200 a 500 µm con inclusiones de Gangas (GGs). **B)** Se observan dos cristales subhedral libres de pirita (py) de 250 a 800 µm, también destaca un cristal anhedral ubicado a la derecha que posee una textura estratificada. En la parte inferior se identifica un cristal subhedral mixto de magnetita (mt) quien presenta varias inclusiones de gangas (GGs) y señales de fracturamiento, a lo largo del cual se inicia la hematización (hm). Por último, se observa cristales anhedrales libres de ilmenita (il) y de gangas (GGs).

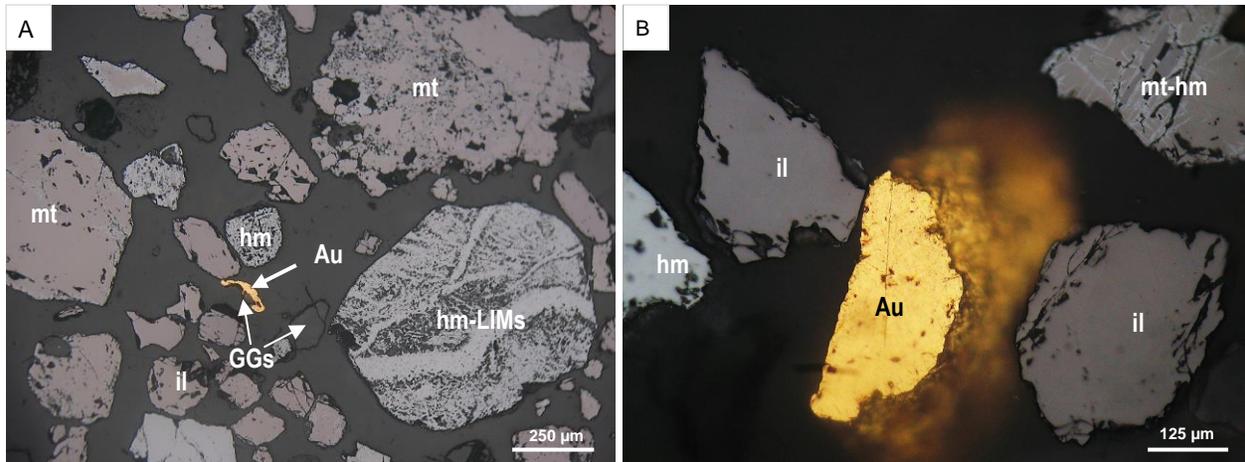


Figura 30. Partícula de oro y un cristal donde la magnetita está pasando a hematita por un proceso de martitización.

A. Se aprecian cristales con relieves positivos. Hay una partícula mixta de oro (Au) con inclusiones de gangas (GGs), con un tamaño que oscila entre 20 a 150 µm. Asimismo, se presentan cristales anhedrales de hematita de 150 µm. Un cristal notablemente más grande se sitúa a la esquina inferior derecha, con un tamaño de 650 µm y se caracteriza por tener una textura vetada asociado a limonitas (hm-LIMs). También se distinguen cristales subhedrales de magnetita granular (mt) con bordes compuestos de hematita. Por último, se observan cristales subhedrales libres de ilmenita (il) de 150 µm. **B.** Se aprecia una partícula libre de oro (Au) con un tamaño que fluctúa entre 150 y 450 µm, la partícula presenta una baja esfericidad, es subangulosa y su superficie es aplastada, por último, tiene bordes irregulares y sinuosos. A la izquierda se muestra parcialmente un cristal anedral libre de hematita (hm). En la esquina superior derecha se aprecia un cristal anedral en la que la magnetita está pasando a hematita (mt-hm) por un proceso de martitización. Por último, se presentan cristales anhedrales libres de ilmenita de 150 y 250 µm.

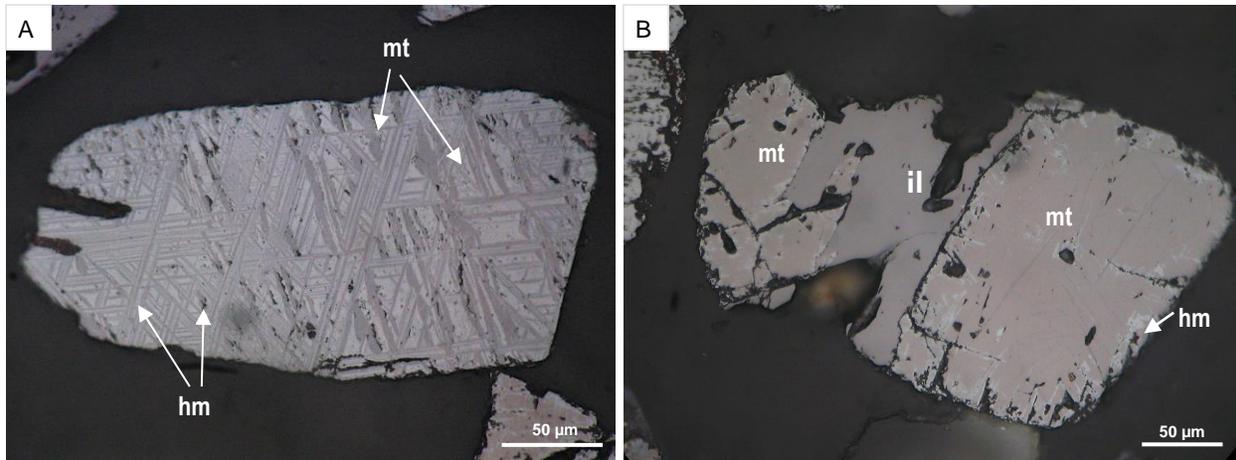


Figura 31. Partículas de magnetita–hematita con intercrecimientos reticular, y magnetita – ilmenita con intercrecimientos tipo sándwich y ameboide.

A. Se aprecia un cristal mixto anhedral de magnetita (mt) y hematita (hm) con un tamaño de 150 x 350 μm , con intercrecimiento reticular (líneas de cristalización). **B.** Se observa un cristal mixto con intercrecimiento tipo sándwich y ameboide de magnetita (mt) e ilmenita (il) en el centro que oscila de 150 x 350 μm . Además, se identifica hematización (hm) en los bordes de la magnetita con algunos intercrecimientos aparentemente tipo corona.

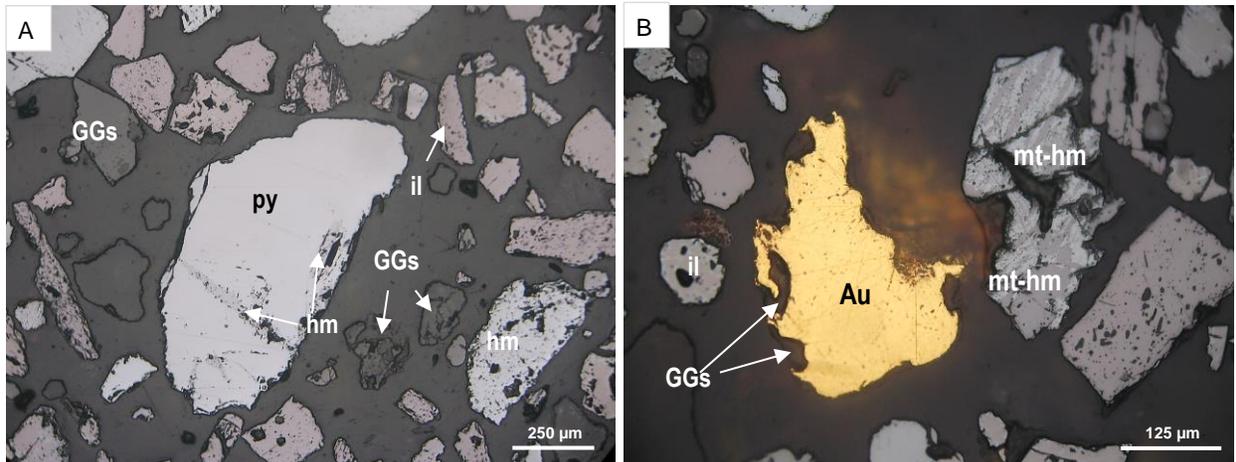


Figura 32. Pirita con inclusiones de hematita y oro con inclusiones de gangas.

En las Microfotografías se observan cristales libres con relieves positivos. **A.** Se observa un cristal anhedral de pirita (py) con un tamaño de 500 a 900 μm , con inclusiones de hematita (hm) y de tipo ameboide en algunas zonas del cristal. Asimismo, cristales libres de hematita (hm) que oscilan entre 200 a 250 μm . Además, cristales de ilmenita (il) que fluctúan entre 200 a 300 μm . Por último, se aprecian gangas (GGs). **B.** Se aprecia una partícula de oro libre que oscila entre 200 a 450 μm con inclusiones de gangas (GGs), tiene bordes irregulares, sinuosos, cóncavos y convexos, y con baja esfericidad. Asimismo, se observan cristales subhedrales de magnetita-hematita (mt-hm) que oscilan entre 200 a 500 μm , con intercrecimientos tipo simple, vetado, gráfico y corona. Además, cristales anhedrales de magnetita que fluctúan entre 100 a 200 μm . Por último, se aprecia a la izquierda un cristal subhedral de ilmenita de 80 μm y a la derecha de 180 μm .



Figura 33. Partículas de ilmenita, magnetita y limonita con inclusiones de gangas.

Se aprecia cristales con relieve positivo. En la izquierda se aprecia un cristal de Ilmenita (il) compenetrado por gangas, la forma de los cristales es prismática. A la derecha de la foto se observa parcialmente con cristal subhedral de limonita (LIMs) que oscila entre 400 a 1000 μm , con una textura terrosa o entremezcladas con gangas. Además, se aprecia un cristal de magnetita (mt) de 200 a 300 μm .

3.5.2. Descripción petrográfica (Luz Transmitida)

Esta descripción se realiza a través de luz transmitida por medio de una sección delgada para estudiar la mineralogía de la ganga, y registrar las asociaciones presentes entre ambas. Los minerales de mena se denominarán minerales opacos y se usará el término “traza” para hacer referencia a las ocurrencias esporádicas de minerales que se encuentran por debajo del umbral de estimación de <1%.

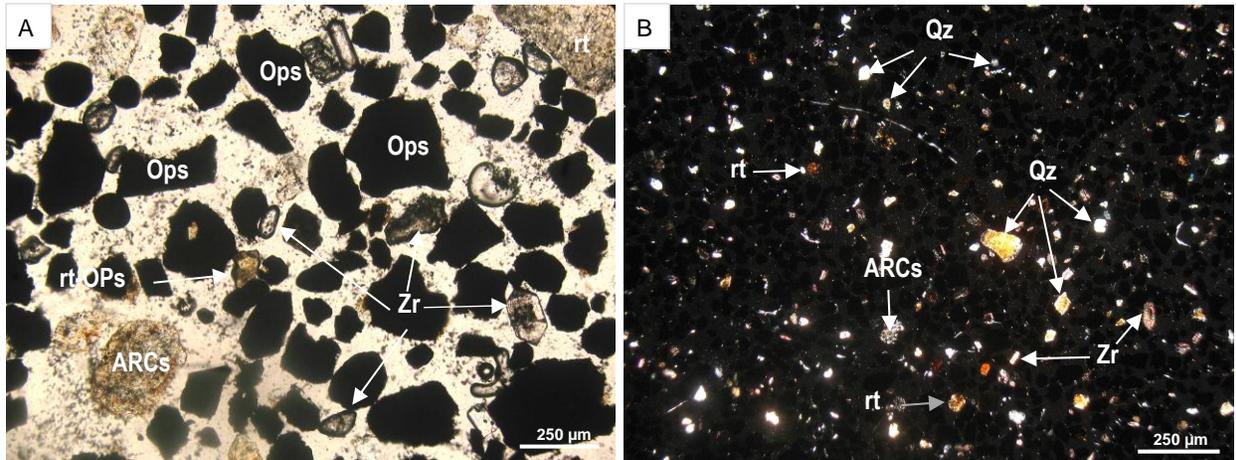


Figura 34. Partículas de zircón, cuarzo, rutilo y minerales opacos (N//).

Microfotografías vistas por medio de Luz transmitida y nicoles paralelos. **A.** Se aprecia varios cristales euhedrales de zircón (Zr) con relieves positivos altos que oscilan de 100 a 200 µm. A la izquierda se aprecia cristales de arcillas (ARCs) de 250 µm. También se identifica un cristal mixto euhedral de rutilo de 350 µm con inclusiones de un mineral opaco (rt-OPs) de 150 µm con intercrecimiento aparentemente del tipo gráfico y corona. **B.** Se observan cristales euhedrales de cuarzo (Qz), zircón (Zr) y rutilo (rt) que oscilan entre 100 a 300 µm con relieves bajos a medios. Asimismo, se aprecia cristales libres de minerales opacos de color negro, que se pueden confundir con la briqueta. Por último, se identificaron cristales de arcillas (ARCs) de 100 µm.

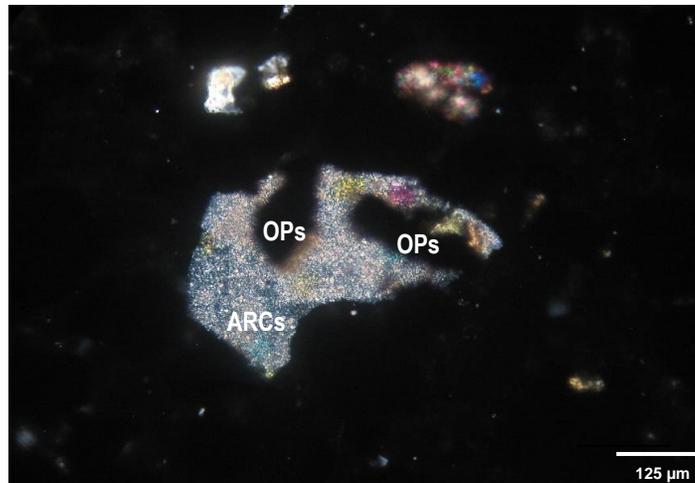


Figura 35. Cristal de arcilla con intercrecimientos tipo corona y bordes compuestos por minerales opacos (NX).

Microfotografía vista por medio de nicols cruzados, se aprecia un cristal mixto anhedral de arcilla (ARCs) que oscila entre 200 y 250 μm con intercrecimientos tipo corona, inclusiones y bordes compuestos de minerales opacos (OPs).

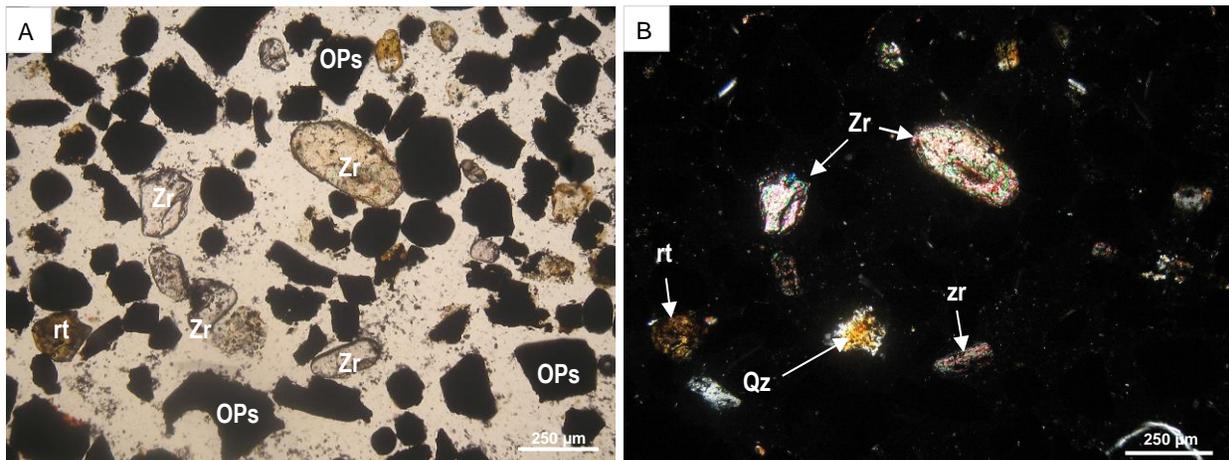


Figura 36. Cristales de zircón, cuarzo y rutilo acompañados de minerales opacos (N// y NX).

A. En la microfotografía 12 vista por medio de *nicols paralelos*, en la cual se aprecian varios cristales euhedrales y subhedrales de Zircón (Zr) con relieves positivos altos, que oscilan entre 100 a 250 μm. Asimismo, se observa un cristal anhedral de Rutilo (rt) con relieves positivos medios que fluctúan entre 100 a 150 μm. Por último, se aprecia numerosos cristales opacos que oscilan entre 150 a 250 μm. **B.** En la microfotografía 13 vista por medio de *nicols cruzados*, se aprecian cuatro cristales subhedrales de Zircón (Zr) con relieves positivos de medios a altos, que oscilan entre 150 a 250 μm. Asimismo, un cristal subhedral de Cuarzo (Qz) con relieve positivo medios que fluctúan entre 100 y 150 μm. Por último, se observa un cristal anhedral de rutilo (rt) con relieve positivo medios que oscila entre 100 a 150 μm.

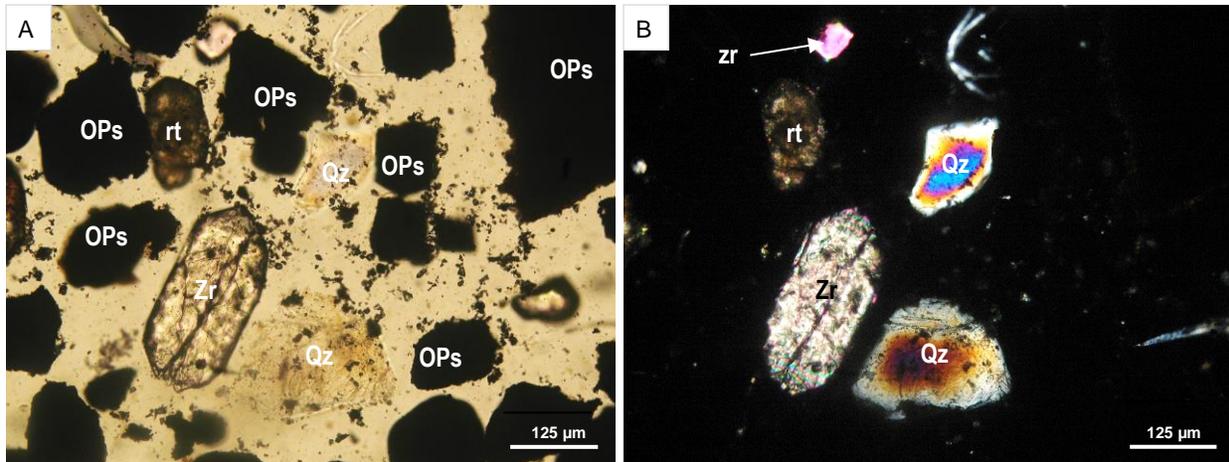


Figura 37. Cristales de zircón, rutilo y cuarzo (N// y NX).

A. En la microfotografía 14, vista por medio de *nicoles paralelos*, se observa un cristal de Zircón (Zr) euhedrales con un relieve positivo alto, que oscila entre 170 a 250 µm. Asimismo, se aprecian dos cristales de cuarzo (Qz) subhedrales, que fluctúan entre 120 a 200 µm. Además, hay un cristal de rutilo euhedral de 100 a 125 µm. Por último, se aprecia numerosos cristales opacos (OPs) de 100 a 400 µm. **B.** En la microfotografía 15 observada a través de *nicoles cruzados*, se aprecia en el centro dos cristales subhedral y euhedral de cuarzo (Qz) con relieves positivos medios, que oscilan entre 100 a 150 µm. Asimismo, dos cristales de zircón euhedrales, con relieves positivos altos, que fluctúa entre 100 a 200 µm. Por último, un cristal de rutilo (rt) con relieve positivo medio a alto que oscila entre 100 a 125 µm.

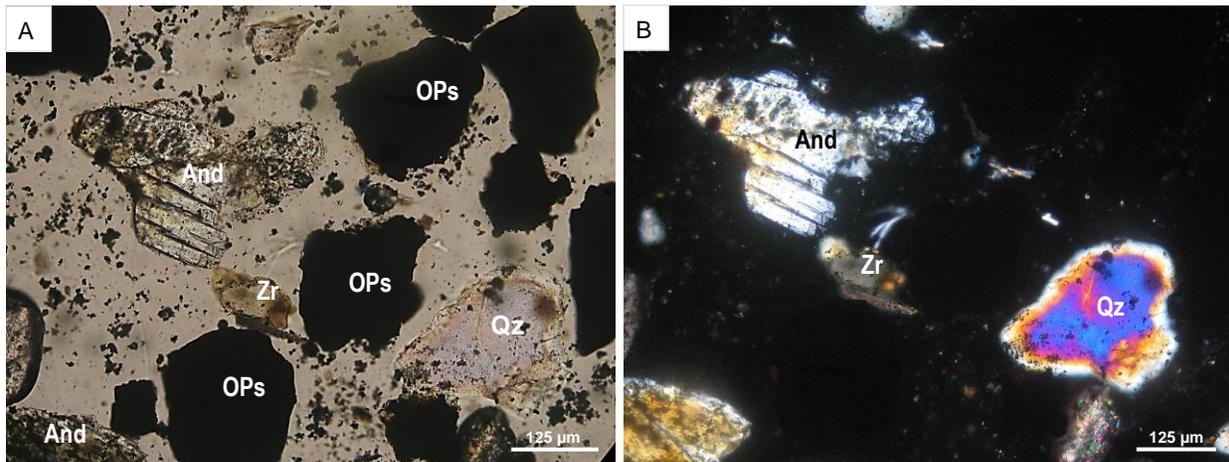


Figura 38. Cristales de zircón, andalucita y cuarzo (N// y NX).

A. microfotografía 16, vista por medio de *nicoles paralelos*, se observa un cristal anhedral de cuarzo (Qz), que oscila entre 100 a 150 µm. Asimismo, dos cristales subhedrales de andalucita, en la cual se aprecia clivaje en las caras del cristal superior que fluctúa entre 125 a 200 µm. Además, hay un cristal subhedral de Zircón (Zr) de 80 a 125 µm. Por último, se identifica varios cristales subhedrales de minerales opacos (OPs), que fluctúan entre 125 a 180 µm **B.** En la microfotografía 17, vista a través de *nicoles cruzados*, se observa un cristal subhedral de andalucita (And), en la cual se aprecia clivajes en sus caras, este fluctúa entre 125 a 200 µm. Asimismo, hay un cristal anhedral de Cuarzo (Qz) de 125 a 150 µm. Por último, se identifica un cristal subhedral de Zircón (Zr) de aproximadamente 120 µm.

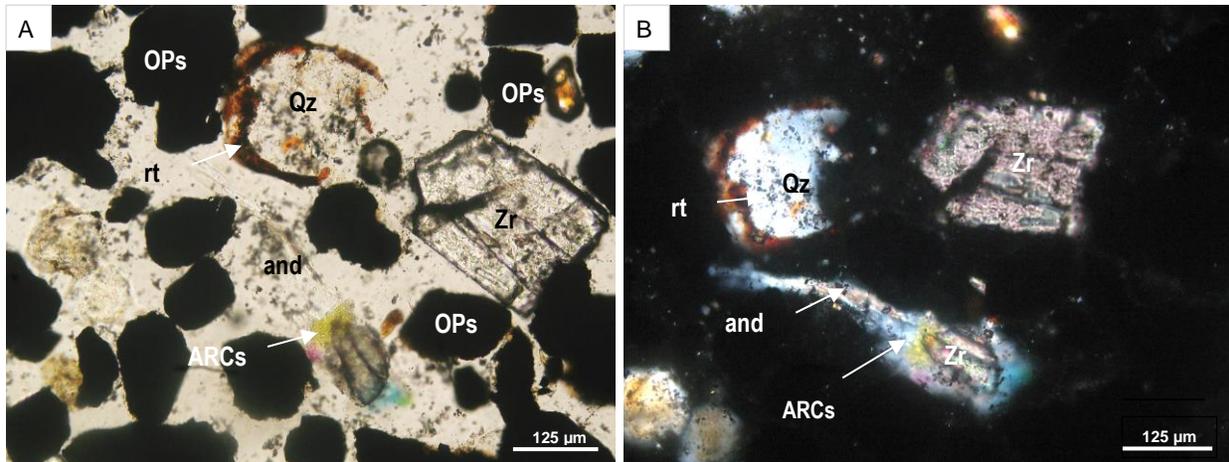


Figura 39. Cristales de cuarzo, andalucita, rutilo y zircón (N// y NX).

A. En la microfotografía 18 vista por medio de *nicoles paralelos*, se observa un cristal subhedral de Zircón (Zr), en la cual se aprecia clivaje en una de sus caras, este fluctúa entre 125 a 180 µm. Además, se observa un cristal arcillas que fluctúa entre 80 a 125 µm. Asimismo, un cristal de Andalusita de 100 a 125 µm. Por último, se identifica un cristal anhedral mixto de cuarzo-rutilo de 125 a 150 µm. **B.** En la microfotografía 19 vista a través de *nicoles cruzados*, se observa un cristal subhedral de zircón (Zr) que oscila entre 125 a 180 µm, y granos mixtos de: arcillas-zircón-andalucita (ARCs-Zr-and), cuarzo-rutilo.

3.7. Hipergénesis y mecanismos de formación de los depósitos de placer

La Cordillera Suroriental y el corredor minero de Madre de Dios en el Perú, son conocidos por su actividad minera, la cual consiste en la explotación de material aurífero. Los mecanismos de formación de la mineralización en la localidad de Mazuko son complejos. Por ello, es necesario examinar los distintos aspectos geológicos involucrados. Aspectos como la geomorfología, erosión, transporte, deposición y otros procesos permitirá una comprensión más completa de los eventos que han dado lugar a la mineralización.

La cuenca de Inambari (Ver *Plano 4*) corresponde a un importante metalotecto, debido a que representa un reservorio natural de oro detrítico, como nivel de base local, convergiendo los afluentes y direcciones de transporte detrítico. Las unidades geomorfológicas también son responsables de haber trasladado y acumulado la mineralización rica en oro, entre ellas tenemos a la Cordillera Oriental, la Faja Subandina y la Llanura de Madre de Dios (Ver *Plano 6*). Esto se puede ver en las franjas metalogénicas (Ver *Plano 5*) que pasan por la cuenca de Inambari, donde procesos magmáticos, hidrotermales o sedimentarios han hecho posible la formación de depósitos minerales ricos en oro.

3.7.1. Metalogenia

En la cordillera suroriental se encuentran unidades geomorfológicas en la que existen pequeñas cuencas intramontañosas con distintos tipos de depósitos ricos en oro, los rellenos de estos depósitos pueden ser aluviales, palustres, volcánicos y acumulaciones glaciares y fluvioglaciares. Estos yacimientos auríferos primarios están relacionados a los ciclos Paleozoicos (Formación Sandia y Ananea) y posiblemente Precámbricos (Complejo Iscaybamba) (Bonnemaison et al., 1985 & Palacios et al., 1996). Las franjas metalogénicas también cumplen un rol vital para entender la mineralización que existe en la cordillera oriental. En la cuenca de Inambari se emplazan tres franjas relevantes: **La Franja I**, alberga depósitos de Au en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico y Silúrico-Devónico; **la Franja III**, cuenta con depósitos de Li- U-W-Sn-Mo, Au-Cu-Pb-Zn relacionados con intrusivos y pórfidos-skarn de Cu-Ag del Pérmico

Triásico; y finalmente la **franja XIX** contiene depósitos de Sn-Cu-W relacionados con intrusivos del Oligoceno- Mioceno y epitermales de Ag-Pb-Zn (Au) (*Plano 5*).

La Franja I: Está ubicada en la Cordillera Oriental del territorio peruano, con una dirección NW a SE a lo largo de la cuenca de Inambari. Abarca las localidades de Quincemil, Sandia y Masiapo (Ver *Plano 5*). Está formada por rocas hospedantes formadas en el Paleozoico inferior principalmente de pizarras y esquistos. Las estructuras mineralizadas están conformadas por vetillas y mantos lenticulares de cuarzo y oro, controlados principalmente por fallas inversas con una dirección de NW-SE. Es posible que la mineralización de esta Franja Metalogénica este vinculada a eventos magmáticos ocasionados en el Ordovícico y del Siluro Devónico. Los depósitos que se pueden encontrar son: Suches, Flor de Jesús, Estrella del Sur, Yanacocha, Santiagopata, El rebelde, Lucky Strike, Korincancha N° 1, Santa Josefina, Los Dorados y Chaupiorco.

La Franja III: Está ubicada en la Cordillera Oriental del territorio peruano, al Oeste de la Franja I, con una dirección NW-SE a lo largo de la cuenca de Inambari. Abarca las localidades de Marcapata, Ollachea, Coasa y Pahra. La mineralización está vinculada al Carbonífero, y se emplaza en mantos y vetas conformadas por lutitas y calizas. Los depósitos que se pueden encontrar son: Crucero, Chaupiorco, Ollachea, Sanca y Oscocache.

La Franja XIX: Esta franja se ubica en la Cordillera suroriental del territorio peruano, al oeste de la Franja III con una dirección NW-SE a lo largo de la cuenca de Inambari. Abarca la localidad de Macusani. El principal depósito en el área de la cuenca Inambari esta Corani.

La cuenca de Inambari tiene un área de 20282.51 km², abarca los departamentos de Madre de Dios, Puno y Cusco. Su principal colector es el río Inambari con una longitud aproximada de 300 km. En la Tabla 13 se detallan los principales afluentes del río Inambari.

Tabla 13. Principales afluentes del río Inambari.

Departamento	Margen Izquierda	Margen Derecha
Madre de Dios	Quimiri	Dos de Mayo
	Caychive	-
Puno	San Gaban	Loromayo
	Charumayo	Chiaspa
	Esquilaya	Centiono
	Parani	Chiveni
	Huari Huari	
Cusco	-	Río Araza

En la *Tabla 14* se enumeran distintos tipos de yacimientos ubicados en la cuenca de Inambari, que se clasifican como placeres, vetas y diseminados. Algunos de ellos aparecen como ocurrencias, prospectos, minas o proyectos. Estos depósitos contienen mineralización de oro que probablemente hayan aportado a la formación de los depósitos de placer en la localidad de Mazuko y el corredor minero de Madre de Dios.

Observando los distintos tipos de depósitos en la Cordillera Oriental es evidente que los principales agentes que han ayudado a la degradación, transporte y deposición son las corrientes fluviales.

Tabla 14. Yacimientos minero ubicados en la cuenca de Inambari.

Unidad Minera	Tipo	Tipo de Yacimiento	Región	Provincia
Puerta Falsa (Terraza)	Ocurrencia	Placer	Cusco	Cusco
Cerro Camanti (Veta 1)	Ocurrencia	Vetas	Cusco	Cusco
Araza	Ocurrencia	Placer	Cusco	Cusco
Cadena	Ocurrencia	Placer	Cusco	Cusco
Huacyumbre I	Ocurrencia	Placer	Cusco	Cusco
San Gabriel	Prospecto	Placer	Madre de Dios	Tambopata
Santa Elena	Prospecto	Placer	Madre de Dios	Tambopata
Volcan	Prospecto	Placer	Madre de Dios	Tambopata
Bellavista	Prospecto	Placer	Madre de Dios	Tambopata
Carmen Grande	Prospecto	Placer	Madre de Dios	Tambopata
Cesar	Prospecto	Placer	Madre de Dios	Tambopata
33 Narices	Prospecto	Placer	Madre de Dios	Tambopata
Kimiri	Prospecto	Placer	Madre de Dios	Tambopata
Manoa	Prospecto	Placer	Madre de Dios	Tambopata
Lechemayo	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
San Antonio	Mina	Placer	Puno	Carabaya
Pirhuamayo	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Coasupo	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Chocayaje	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Corimayo	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Anana	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Angel	Prospecto	Placer	Puno	Carabaya
Balcón De Oro	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Alto Inambari	Prospecto	Placer	Puno	Carabaya
Tumatumani	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Minasmia	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Ochuhuma	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Oromayo	Prospecto	Placer	Puno	Carabaya

Adaptado de (GEO GPS PERÚ, s.f).

Tabla 14. Yacimientos minero ubicados en la cuenca de Inambari.

Unidad Minera	Tipo	Tipo de Yacimiento	Región	Provincia
Oshuhuma	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Taiticunca	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Huacolcota	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Huaycco	Ocurrencia	Vetas	Puno	Carabaya
Isillumá 1	Ocurrencia	Vetas	Puno	Sandia
Chabuca	Ocurrencia	Placer	Puno	Sandia
Cuchini	Ocurrencia	Vetas	Puno	Sandia
Yanacocha	Ocurrencia	Placer	Puno	Sandia
Estrella Del Sur	Mina	Placer	Puno	Sandia
Flor De Jesus	Mina	Placer	Puno	Sandia
Lucky Strike	Mina	Placer	Puno	Sandia
Inambari	Ocurrencia	Vetas	Puno	Sandia
Isillumá	Ocurrencia	Vetas	Puno	Sandia

Adaptado de (GEO GPS PERÚ, s.f).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El estudio mineralógico se ha realizado a través una caracterización calcográfica (luz reflejada) y una caracterización petrográfica (luz transmitida) de una muestra de preconcentrado o “alce” proveniente de la localidad de Mazuko. Con el objetivo de determinar la composición mineralógica (metálicos y no metálicos), estimar el porcentaje de granos libres, identificar los intercrecimientos, clasificar los tipos y textura de las asociaciones mineralógicas. Y, por último, analizar el tamaño y morfología de los granos para elegir el mejor método de procesamiento en la recuperación del oro.

El análisis se ha realizado mediante el estudio de una briqueta pulida en luz reflejada para estudiar la mineralogía de la mena, y una sección delgada en luz transmitida para estudiar la mineralogía de la ganga, y registrar las asociaciones presentes entre ambas. Es importante destacar que, en el estudio de *luz reflejada*, los minerales no metálicos se denominaran gangas, mientras que, en el estudio de *luz transmitida*, los minerales de mena se denominaran minerales opacos. Además, el término “traza” se utilizó para hacer referencia a las ocurrencias esporádicas de minerales que se encuentran por debajo del umbral de estimación de <1%.

4.1. Resultados de la caracterización calcográfica (Luz Reflejada)

La muestra consiste principalmente en magnetita e ilmenita, estas se presentan como granos libres, y en menor porcentaje se observan minerales mixtos en asociación con gangas o hematita. Asimismo, se observa la presencia de partículas de oro en niveles trazas tanto libres como mixtos, así también la pirita como granos libres. En cuanto a los minerales de gangas se identifican en forma de granos. La distribución porcentual aproximada se detalla en la *Tabla 15*, *Tabla 16* y la *Figura 41*.

Tabla 15. Análisis de minerales libres por luz reflejada.

Minerales Libres	Porcentajes (96%)	Diámetro (μm)
Magnetita	38	<500
Ilmenita	25	<300
Gangas	16	<1200
Hematita	15	<1000
Limonitas	2	<1000
Pirita	Trz	<1000
Oro	Trz	<450

Tabla 16. Análisis de minerales mixtos por intercrecimientos en luz reflejada.

Minerales Mixtos	Porcentaje (4%)	Diámetro (μm)
mt-hm	3	<1000
mt-GGs	<1	<900
hm-GGs	1	<1200
mt-GGs-hm	Trz	<1200
mt-il	Trz	<500
mt-LIMs-hm	Trz	<1000
GGs-LIMs	Trz	<1200
GGs-Au	Trz	<500
Py-hm	Trz	<1000
Py-GGs	Trz	<1000

La magnetita se presenta en forma de granos libres con tamaños menores a 500 μm . Es común encontrar reemplazamiento a hematita (martitización) en la magnetita, especialmente a lo largo de las líneas de clivaje y bordes. También se presenta como granos mixtos con hematita, ilmenita o gangas, con intercrecimientos tipo reticular (siguiendo líneas de cristalización) y vetado, como bordes compuestos de ilmenita-magnetita y tipo simple.

La ilmenita se presenta principalmente como granos libres con tamaños de hasta 300 μm y algunos granos mixtos son de ilmenita-magnetita. No se ha observado reemplazamiento en la ilmenita.

La hematita se presenta como producto del reemplazamiento de la magnetita en forma de granos libres con tamaños menores a 1000 μm , o como granos mixtos de hematita-limonitas, y como magnetita-hematita con texturas de reemplazamiento como la reticular, gráfica, semicorona o vetada.

En cuanto al oro, se presenta como escasos granos libres con tamaños menores a 450 μm , mientras que la asociación oro-gangas ocurre en forma de trazas. La pirita es muy esporádica en la muestra y se presenta como granos libres de diferente tamaño, desde 50 μm hasta 1000 μm , y en algunos sectores hay inclusiones de hematita.

Por último, se encuentra limonitas, que se refiere a los óxidos/hidróxidos de Fe que no presentan cristalización y tienen una textura terrosa o entremezclada con gangas terrosas. Se presentan como granos libres o mixtos junto a la hematita, magnetita u oro. En cuanto a las gangas, se presentan como granos libres de diversos tamaños menores a 1200 μm y algunos contienen inclusiones de magnetita o ilmenita, también se observan como granos mixtos con el oro. En la *Tabla 19* se detallan los tipos de intercrecimientos y minerales mixtos que se identificaron por medio de luz reflejada.

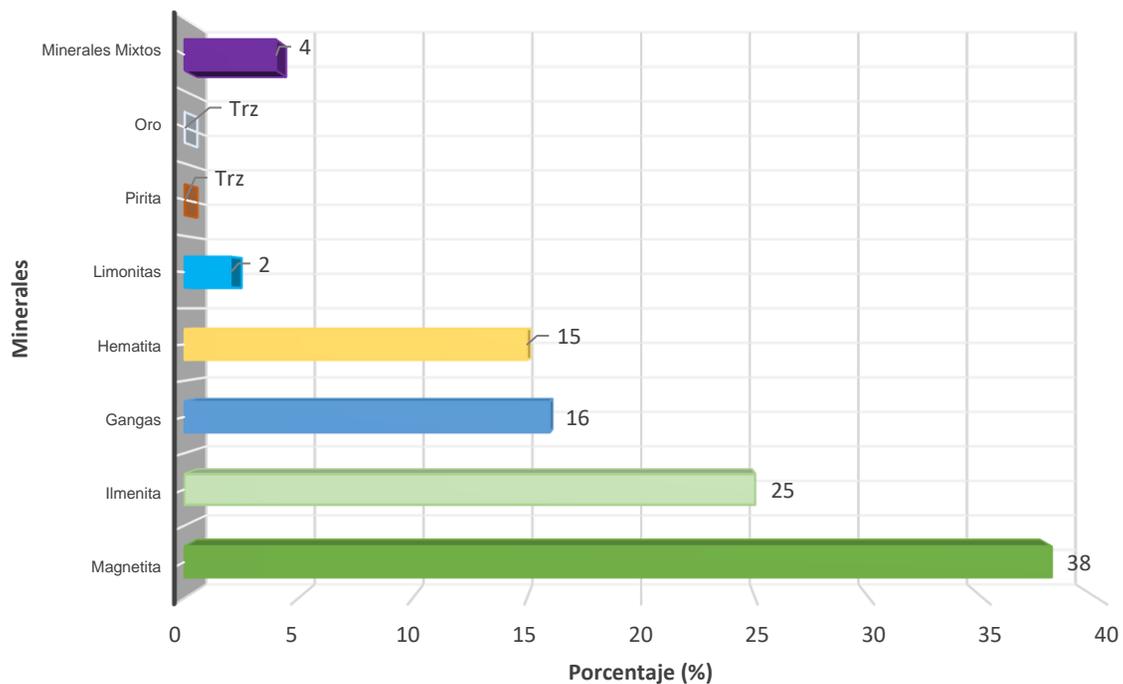


Figura 41. Minerales libres vistos por luz reflejada.

4.2. Resultados de la caracterización petrográfica (Luz Transmitida)

La muestra está compuesta principalmente por minerales opacos, y en menor proporción se identifican partículas libres de zircón, cuarzo, rutilo, andalucita, micas y

pequeños agregados de arcilla. La distribución porcentual aproximada se detalla en la *Tabla 17*, *Tabla 18* y la *Figura 42*.

Tabla 17. Análisis de minerales libres por luz transmitida.

Minerales Libres	Porcentajes (98%)	Diámetro (μm)
OPs	75	<500
Cuarzo	10	<300
Zircón	4	<350
Rutilo	4	<400
Andalucita	2	<200
Arcillas	2	<250
Micas	Trz	<100

Tabla 18. Análisis de minerales mixtos por intercrecimientos en luz transmitida.

Minerales Mixtos	Porcentaje (2%)	Diámetro (μm)
ARCs-Ops	1	<250
ARCs-rt	1	<400
OPs-rt	<1	<400
ARCs-Qz	TRZ	<300
ARCs-Qz -rt	TRZ	<400
ARCs-rt-Zr	TRZ	<400
ARCs-Zr-And	TRZ	<350
Micas-Qz	TRZ	<300

La muestra cómo se observa contiene diversos tipos de minerales. Los minerales opacos son los minerales metálicos más abundantes, tienen un tamaño de partícula de hasta 500 μm y suelen aparecer como granos libres. No obstante, también se pueden encontrar como inclusiones dentro de agregados de arcillas, o asociados al rutilo formando coronas o intercrecimientos simples.

Por otro lado, el cuarzo es el mineral de ganga más predominante en la muestra, y se presenta principalmente como granos libres con formas anhedrales y tamaños menores a 300 μm . Además, se puede encontrar como granos mixtos en asociación con arcillas o rutilo.

El rutilo se encuentra en la muestra en forma de granos libres con tamaños de hasta 400 μm , pero también se presenta como granos mixtos en asociación con el cuarzo, arcillas o minerales opacos.

En cuanto al zircón se encuentra en forma de granos euhedrales tabulares, prismáticos o subredondeados, con tamaños menores a 350 μm . Generalmente se encuentra como grano libre, aunque se pueden observar intercrecimientos esporádicos con arcillas y cuarzo.

La andalucita se presenta en la muestra como granos libres anhedrales con tamaños menores a 300 μm , aunque en menor proporción que los otros minerales mencionados. Además, se ha observado un intercrecimiento con arcillas y zircón.

Las micas, específicamente la moscovita, aparece como pequeños y esporádicos cristales anhedrales con tamaños menores a 100 μm , con una textura plumosa y asociados en textura simple con el cuarzo.

Por último, las arcillas se presentan en la muestra como granos mixtos, así como en agregados asociados con cuarzo, rutilo o inclusiones de minerales opacos. En la *Tabla 19* se detalla los tipos de intercrecimientos y que minerales mixtos se identificaron por medio de Luz Transmitida.

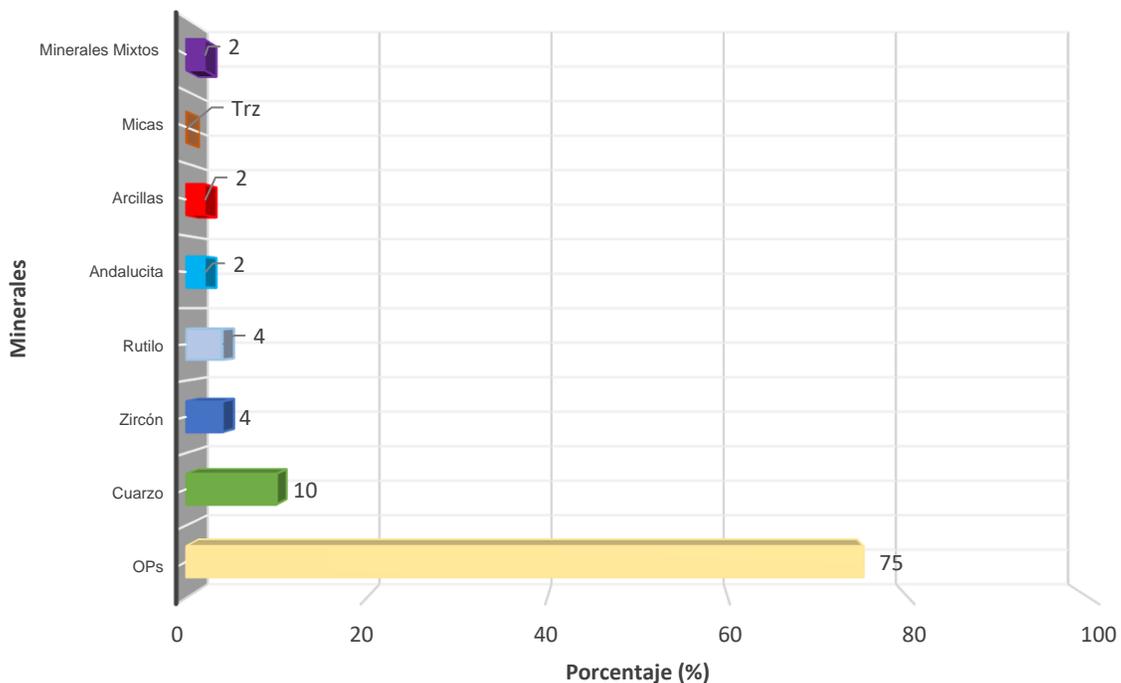


Figura 42. Minerales libres vistos por luz transmitida.

4.3. Características mineralógicas que influyen en el beneficio del oro

En esta investigación, al hablar de textura haremos referencia a la clasificación realizada por Gaudin (1939), Amstutz (1961) & Ramdohr, (1969); quienes nos presentan un registro de Intercrecimientos de las partículas de minerales, que tienen influencia en los procesos de concentración. Esta clasificación es importante para comprender el comportamiento del oro y los minerales que lo acompañan durante el proceso de beneficio, ya sea mediante métodos gravimétricos, flotación u otros. Para ello se analizará características como el tamaño de grano, tipo de bordes y tipo de intercrecimientos; características importantes que influyen en la liberación del oro.

4.3.1. Intercrecimientos y asociaciones minerales con gangas

Los intercrecimientos representan un aspecto importante en el beneficio del oro, representan la relación espacial en la cual se presenta el oro y los minerales encontrados en la muestra de preconcentrado aluvial estudiada, en ella se describirán las características geométricas de los cristales. En este caso nos interesa los intercrecimientos que forman parte de las partículas de oro. Por lo tanto, las micrografías estudiadas muestran partículas de oro con un grado de liberación del 99% (*Figura 43*), lo demás son inclusiones de oro – gangas que se presentan como trazas. En la *Tabla 19* se detallan los intercrecimientos encontrados en la muestra de preconcentrado, siendo los más importantes el simple, reticular, gráfico, sándwich, ameboide, coliforme, inclusión, vetado y corona.

En cuanto a las asociaciones minerales, la muestra consiste principalmente en óxidos de hierro, como la magnetita, ilmenita, hematita; y en menor porcentaje se observa minerales mixtos en asociación con gangas o hematita, mostrándose esta última como mineral de reemplazamiento bastante significativa. En la *Tabla 19* también se detallan los tipos de minerales mixtos identificados en la muestra. Los que destacan son magnetita-hematita (mt-hm), magnetita-gangas (mt-GGs), magnetita-ilmenita (mt-il), oro-gangas (Au-GGs), arcillas – rutilo (ARCs-rt), arcillas-rutilo-zircón (ARCs-rt-Zr), arcillas-zircón-andesita (RCs-Zr-And), micas-cuarzo (Micas-Qz) y otros.

Tabla 19. Minerales mixtos con sus respectivos intercrecimientos.

Minerales Mixtos	Intercrecimiento
Luz Reflejada	
mt-hm	Simple, reticular, gráfico, veteado, corona
mt-GGs	Simple, gráfico
hm-GGs	Gráfico, inclusión,
mt-GGs-hm	Inclusión
mt-il	Sadwich, ameboide
mt-LIMs-hm	Coliforme
GGs-LIMs	Coliforme
GGs-Au	Simple
Py-hm	Ameboide
Py-GGs	Simple
Luz Transmitida	
ARCs-Ops	Simple, gráfico, corona
ARCs-rt	Simple, gráfico
OPs-rt	Gráfico, inclusión, corona
ARCs-Qz	Simple
ARCs-Qz -rt	Simple, inclusión
ARCs-rt-Zr	Simple
ARCs-Zr-and	Simple
Micas-Qz	Simple

4.3.2. Grado de Liberación

El grado de liberación se refiere a la cantidad de minerales libres y valiosos (Au) existen después de separarse del material estéril durante el proceso de molienda. En este caso por ser un preconcentrado o “alce” proveniente de materiales aluviales, las partículas están libres, debido a los procesos de transporte y erosión que sufrieron dichos minerales (ver el apartado de Hipergénesis y mecanismos de formación de los depósitos de placer). Por ello no fue necesario hacer una molienda previa. Además, según los estudios de microscopía, el 99 % de los minerales están en estado libre, lo demás están asociados a gangas. Para el caso del oro, esto es conveniente ya que facilita su recuperación. En la *Figura 43* y *Figura 44* se muestran gráficos del grado de liberación de cada mineral identificado en la muestra.

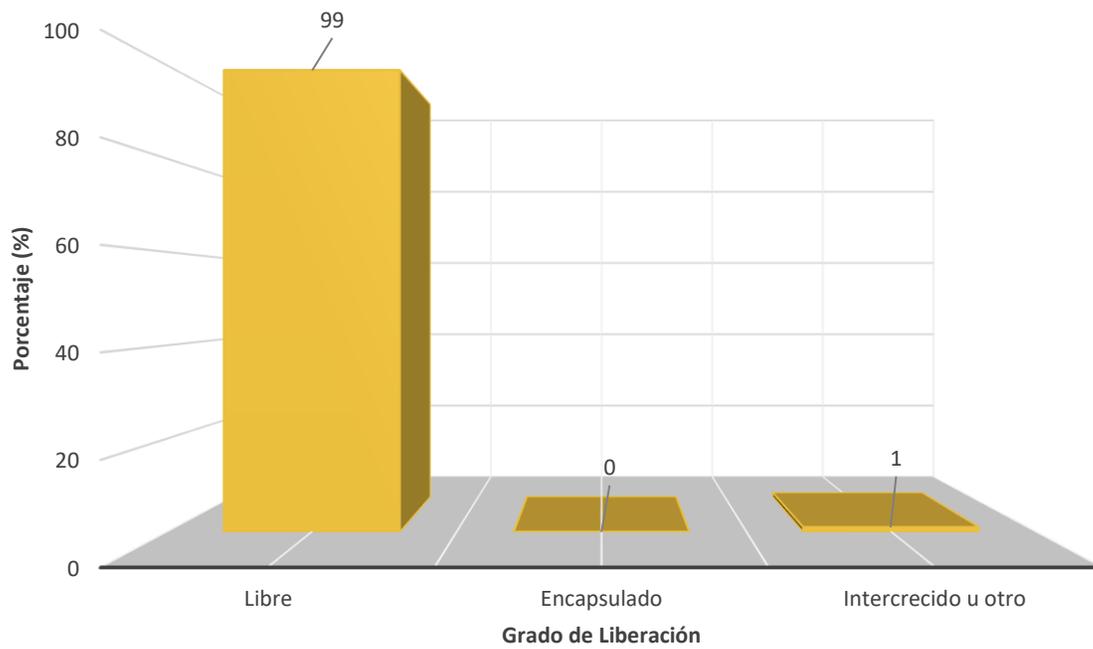


Figura 43. Grado de liberación del oro en base a las microfotografías estudiadas.

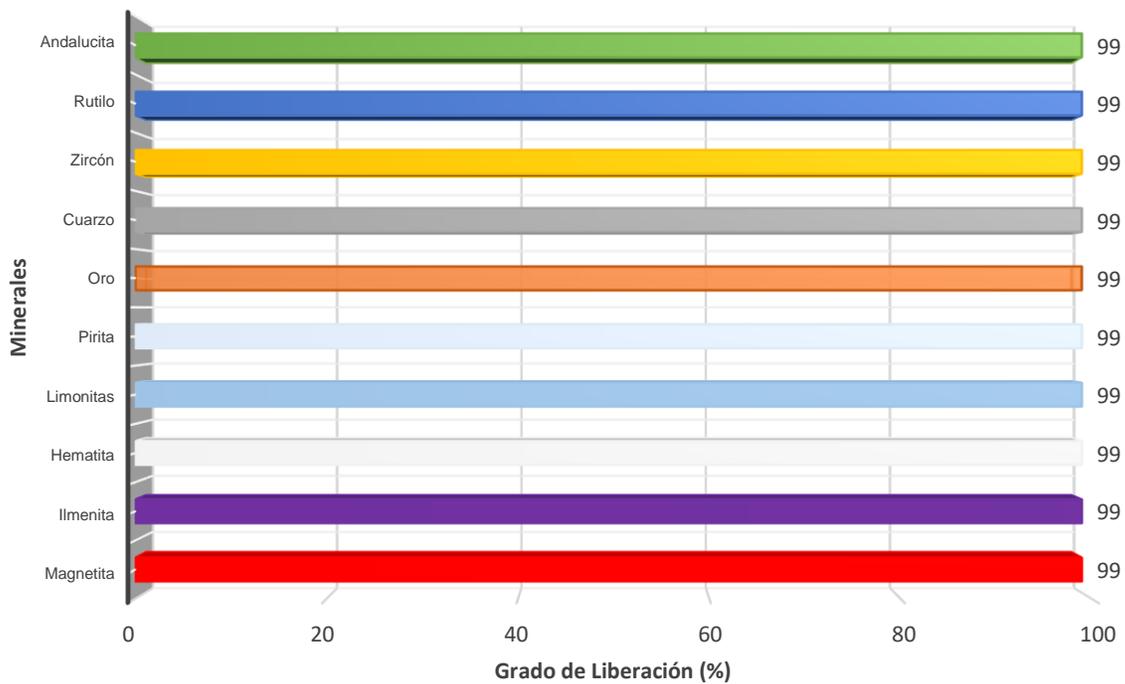


Figura 44. Grado de liberación de los minerales encontrados en base a las Microfotografías estudiadas.

4.3.3. Forma de las partículas del oro

La forma de las partículas del oro es un factor importante al momento de concentrar el mineral, afectando o ayudando su beneficio. En el caso de las partículas del oro tienen forma alargadas y aplanadas en forma de laminillas u hojuelas, tienen bordes irregulares, sinuosos y subangulosa, algunas partículas son cóncavas y convexas. Estas formas pueden influir en el método de recuperación; por ejemplo, la forma plana y ancha tienden a sedimentar más lento que las partículas que son un poco esféricas, influyendo en la separación por gravimetría. Por el contrario, si la forma de la partícula es más angular, es posible que sean más afines a los reactivos que se usan en la flotación.

4.3.4. Tamaño de partícula de oro

El tamaño de las partículas de oro es un aspecto muy importante para determinar el método de beneficio más óptimo en un proceso de recuperación. Para ello nos enfocaremos en las descripciones de las micrografías presentadas en la *Descripción de las características mineralógica de la muestra de preconcentrado o "alce"*. Así, en las microfotografías 1 y 3 se observan partículas de oro que oscila entre 20 a 150 μm , y en las microfotografías 4 y 7 se identifican partículas de oro que fluctúan entre 200 a 450 μm . Tomando como referencia 75 μm , las partículas de oro menores a este valor, el método más adecuado para su recuperación es la flotación, mientras que las partículas cuyos tamaños son mayores, el método más adecuado es la gravimetría.

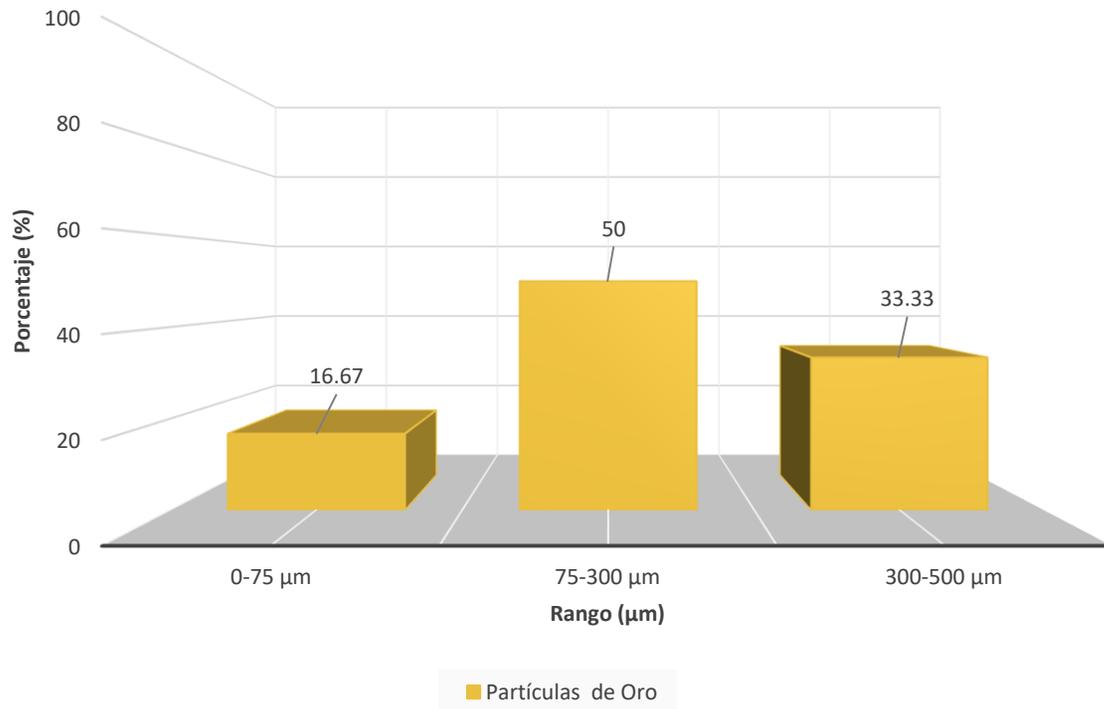


Figura 45. Porcentaje de partículas de oro encontradas en la muestra aluvial, clasificadas por un rango de tamaños en micras.

4.4. Proceso optimizado de recuperación aurífera

En el área de investigación y sus alrededores, el oro se extrae de los ríos o terrazas aluviales, en su gran mayoría por mineros que emplean métodos artesanales para la explotación del material aluvial aurífero.

Pastor (1991) estima que la cuenca del río Madre de Dios contiene aproximadamente 46,86 millones de onzas de reservas auríferas. Y la Dirección Sub-regional de Energía y Minas de Madre de Dios, estima 816.40 TM, contenidas en 2 946,74 mil millones de metros cúbicos de material aurífero (Pérez et al., 2003).

Las leyes de oro en estos yacimientos fluviales promedian en 0.30 gr/m³, donde su principal fuente proviene de la cordillera suroriental, principalmente de la zona de Quincemil. En esta zona se encuentran varios filones auríferos ubicados a lo largo del complejo de Iscaybamba, siendo el más sobresaliente el cerro kamanti (Zegarra & Galoso, 1983). En la *Tabla 20* se muestra el potencial aurífero en la llanura de Madre de Dios con más detalle.

Tabla 20. Potencial aurífero en la llanura de Madre de Dios

	Área	Grava Aurífera		Gravas	
		Probado probable en millones m ³	+ Ley Promedio gr/m ³	Auríferas (potencial estimado en m ³)	Ley Promedio gr/m ³
Llanura de Madre de Dios	Laberinto	30.0	1.00	37.5	0.8
	Tambopata	50.0	0.60	125.0	0.5
	Colorado	0.7	0.118	5.0	0.09
	Madre de Dios	625.0	0.20	850.0	0.12
	Inambari	150.0	0.35	225.0	0.18
	Nusiniscato	24.0	2.30	30.0	1.0
	Malinowsy	25.0	0.18	32.0	0.12

Tomado de Zegarra & Galloso (1983).

Nota: La tabla muestra el potencial aurífero de la llanura de Madre de Dios, está clasificada por cada área minera en la que se muestra su ley promedio en gr/m³.

En la *Figura 46*, se muestra las soluciones de extracción para el oro, teniendo en cuenta la forma, tamaño, intercrecimientos y microestructuras de los minerales que se identificaron en la muestra de preconcentrado o “alce”.

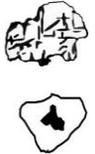
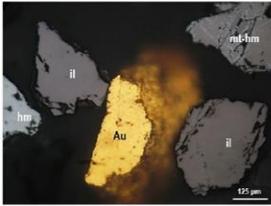
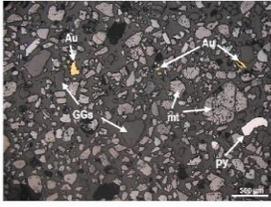
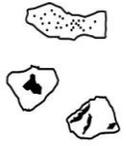
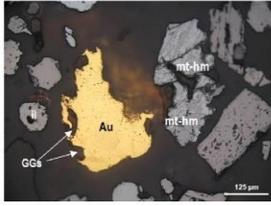
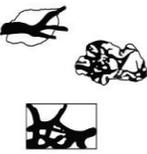
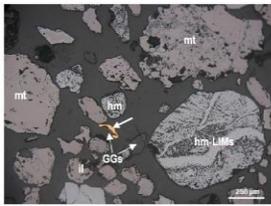
Tipo	Micro-estructuras Típicas	Descripción	Ejemplos en Mazuko	Solución de Extracción
3c y 1e	Reticular e inclusiones 	<p>Se aprecia una partícula libre de oro (Au) con un tamaño que fluctúa entre 150 y 450 µm, la partícula presenta algunas inclusiones de gangas, además presenta una esfericidad sub-angulosa y su superficie es aplastada, por último, tiene bordes irregulares y sinuosos.</p> <p>A la izquierda se muestra parcialmente un cristal anhedral libre de hematita (hm). En la esquina superior derecha se aprecia un cristal anhedral con una textura reticular en la que la magnetita está pasando a hematita (mt-hm) por un proceso de martitización. Por último, se presentan cristales anhedrales libres de ilmenita a ambos lados de la partícula de oro con tamaños que flutuan de 150 a 250 µm.</p>		<p>-Partículas de oro en el rango de 150 a 450 µm: El método de extracción más óptimo es la gravimetría, adecuado para partículas de oro que superan las 75 µm.</p> <p>-Cuando existe un alto porcentaje de óxidos de hierro, se recomienda el uso de un electroimán antes de continuar con el proceso gravimétrico. Esto es esencial para mejorar la eficacia del proceso y garantizar la concentración del material aurífero.</p>
1e	Inclusiones 	<p>Se aprecian 03 partículas libres de oro con tamaños que oscilan entre 50 y 150 µm, las partículas presentan inclusiones de gangas (GGs), además son alargadas y aplastadas en forma de laminillas u hojuelas, con bordes irregulares y sinuosos.</p> <p>Asimismo, a la derecha presenta un cristal subhedral libre de pirita (py) que fluctúa entre 50 y 300 µm. Además, hay cristales anhedrales y subhedral fracturados de magnetita (mt) de 200 a 500 µm con inclusiones de Gangas (GGs)</p>		<p>-Partículas de oro en el rango de 50 a 150 µm: El método de extracción más óptimo implica la combinación de dos técnicas. En primer lugar, se aplica la gravimetría, que puede recuperar partículas superiores a 75 µm. Luego, se emplea el proceso de flotación para las partículas que se encuentran por debajo de este rango.</p> <p>-Cuando existe un alto porcentaje de óxidos de hierro, se recomienda el uso de un electroimán antes de continuar con el proceso gravimétrico. Esto es esencial para mejorar la eficacia del proceso y garantizar la concentración del material aurífero.</p>
1d y 1e	Inclusiones y Diseminado 	<p>Se aprecia una partícula de oro libre que oscila entre 200 a 500 µm con diseminaciones de gangas (GGs), además tiene bordes irregulares, sinuosos, cóncavos y convexos.</p> <p>Asimismo, se observan cristales mixtos subhedral de magnetita-hematita (mt-hm) que oscilan entre 200 a 500 µm. A la derecha se identifica un cristal anhedral de magnetita con inclusiones de hematita que fluctúan entre 100 a 200 µm.</p> <p>Por último, se aprecia a la izquierda se observa un cristal subhedral de ilmenita de 80 µm y a la derecha de 180 µm.</p>		<p>-Partículas de oro en el rango de 200 a 500 µm: El método de extracción más óptimo es la gravimetría. Para partículas de oro contienen inclusiones de ganga y no han podido ser recuperadas por gravimetría, se puede aplicar el proceso de flotación para obtener resultados eficientes.</p> <p>-Cuando existe un alto porcentaje de óxidos de hierro, se recomienda el uso de un electroimán antes de continuar con el proceso gravimétrico. Esto es esencial para mejorar la eficacia del proceso y garantizar la concentración del material aurífero.</p>
3d y 1e	Veteado 	<p>Se aprecian cristales con relieves positivos. Hay una partícula mixta de oro (Au) con inclusiones de gangas (GGs), con un tamaño que oscila entre 20 a 150 µm. Asimismo, se presentan cristales anhedrales de hematita de 150 µm.</p> <p>Un cristal notablemente más grande se sitúa a la esquina inferior derecha, con un tamaño de 650 µm y se caracteriza por tener una textura veteada asociado a limonitas (hm-LIMs). También se distinguen cristales subhedral de magnetita granular (mt) con bordes compuestos de hematita. Por último, se observan cristales subhedral libres de ilmenita (il) de 150 µm.</p>		<p>-Partículas de oro en el rango de 20 a 150 µm: El método de extracción más óptimo implica la combinación de dos enfoques. En primer lugar, se aplica la gravimetría, que puede recuperar partículas superiores a 75 µm. Mientras que las partículas menores a este rango, y donde la mayoría de las partículas de oro contienen inclusiones de ganga, se puede aplicar el proceso de flotación para obtener resultados eficientes.</p> <p>-Cuando existe un alto porcentaje de óxidos de hierro, se recomienda el uso de un electroimán antes de continuar con el proceso gravimétrico. Esto es esencial para mejorar la eficacia del proceso y garantizar la concentración del material aurífero.</p>

Figura 46. Ejemplos de texturas en Mazuko que podrían impactar en el proceso de recuperación del oro.

Las descripciones se basan en las clasificaciones realizada por Gaudin (1939), Amstutz (1961) & Ramdohr (1969); quienes presentan un registro de Intercrecimientos de las partículas del mineral, que tienen influencia en los procesos de concentración (*Figura 17 y Figura 21*).

La industria minera usa diferentes técnicas de recuperación del oro, como gravimetría, flotación, lixiviación y otros. En la minería artesanal y de pequeña escala (MAPE), los mineros usan el mercurio como método de beneficio del oro. Este método según Azañero (1998), las recuperaciones de oro son inferiores al 50%, perdiéndose oro fino en los relaves o llamados también arenas negras.

Según lo mencionado anteriormente es recomendable primero aplicar una separación magnética, con el fin de liberar el oro de la magnetita. Seguidamente aplicar la concentración gravimétrica, método eficiente para partículas superiores a 75 μm , posteriormente para las partículas de oro que no pudo recuperar el método anterior y se perdieron en el relave, se puede aplicar la flotación, método eficiente para partículas muy finas. Por último, se puede aplicar la fundición y así generar el dore de una manera más eficiente y sin contaminación. A continuación, se detalla los pasos para una eficiente recuperación del oro. En la *Figura 47* indica el proceso de recuperación del oro.

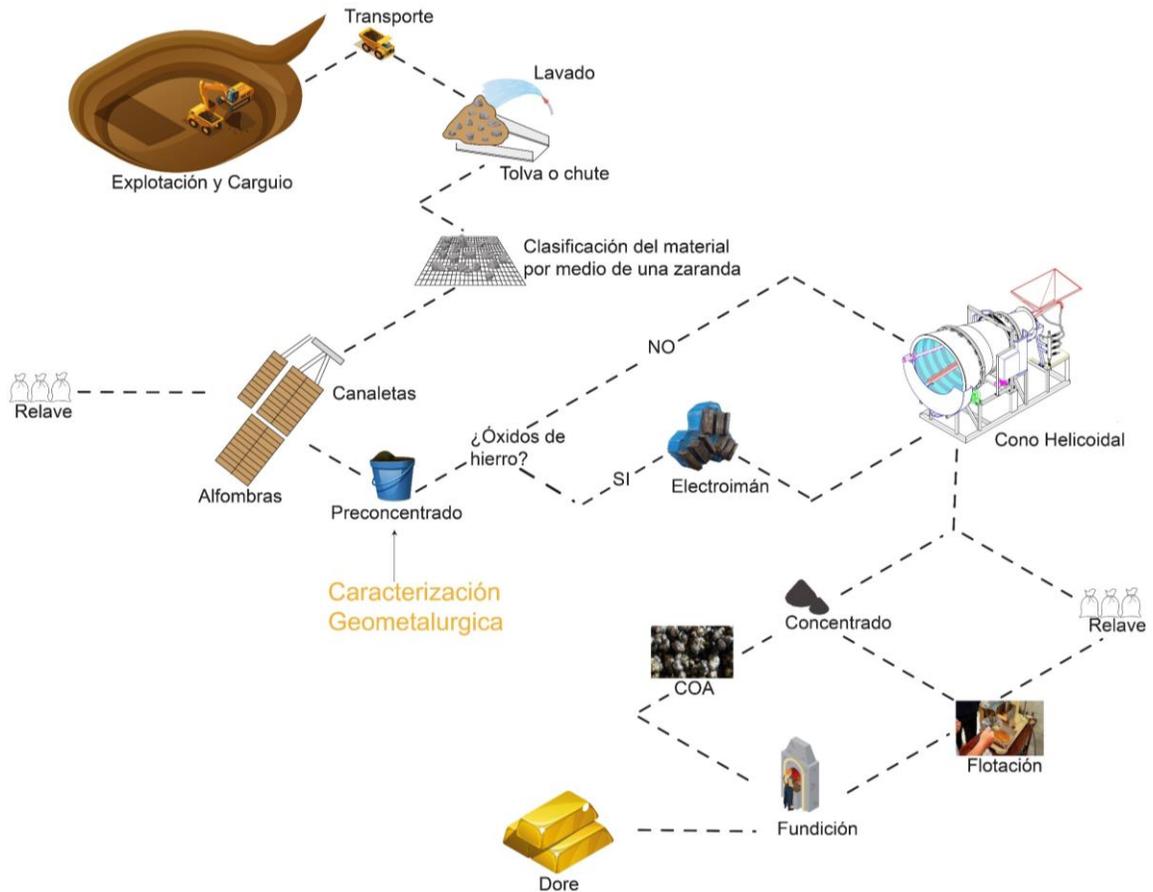


Figura 47. Proceso de recuperación del oro combinando técnicas alternativas de procesamiento.

Fuente: Adaptado y modificado de AGC (2022).

4.4.1. Separación magnética

Los resultados (*Figura 41* y *Figura 42*) indican un porcentaje elevado de óxidos de hierro, entre ellos magnetita con un 38%. Por ello, lo recomendable es iniciar con un método basado en magnetismo, ya que la magnetita al ser un mineral pesado igual que el oro, cuando se use la concentración gravimétrica también se concentrará, por eso el preconcentrado o “alce” se debe someter a un electroimán para que las fuerzas magnéticas y mecánicas obtengan fracciones de magnetita en sus paredes, dejando el material aurífero con menos minerales ferrosos, que disminuyen el porcentaje de recuperación.



Figura 48. Electroimán atrapando partículas de magnetita.

4.4.2. Concentración gravimétrica

Este método se usa después de haber aplicado el método magnético, es conveniente ya que va a concentrar minerales pesados como el oro dejando los minerales de baja densidad en las colas. En el área de investigación se ha empleado el Cono Helicoidal, equipo gravimétrico eficiente, que se utiliza para procesar grandes cantidades de materiales ricos en oro de una manera rápida y eficiente, tiene recuperaciones en preconcentrados aluviales superiores al 90%, y una capacidad de procesamiento entre 250 a 500kg/h. Su metodología consiste en separar materiales densos de los ligeros a través de una rotación inversa, en su interior contiene rifles y sistemas de aspersion longitudinal y radial que atrapan, dirigen y concentran partículas de oro fino y grueso.

El proceso consiste en encender el equipo, hacerlo girar entre 40 y 50 Hz, regular las llaves de agua y posteriormente agregar por la tolva el preconcentrado libre de minerales ferrosos (10-20kg) y después 10 a 15 min el equipo va a concentrar el material aurífero (300-500 g).



Figura 49. Uso del Cono Helicoidal para concentrar partículas de oro finas y gruesas.
 a. Concentración del preconcentrado por medio del Cono Helicoidal. **b.** oro concentrado.

4.4.3. Flotación

Este método es apropiado para concentrar partículas de oro libre finas y muy finas, se puede aplicar tanto al concentrado o a las colas en las que existe aún oro muy fino. El concentrado o colas que ha generado el Cono Helicoidal se agrega en celdas de flotación y con la ayuda de un agitador industrial junto con aditivos se generan movimientos rotacionales para generar burbujas y adhieren a las mismas, partículas de oro. Para ello se debe crear condiciones de hidrofobicidad, mediante la adición de reactivos que modifiquen su naturaleza hidrofílica. Para lograr este propósito se usan colectores, espumadores, activadores, depresores, modificadores de pH y otros. Estos reactivos provocaran que los minerales con superficies hidrófobas se fijen en la interfase aire-líquido. Por el contrario, los minerales con propiedades hidrófilas, permanecerán sumergidos en la pulpa.

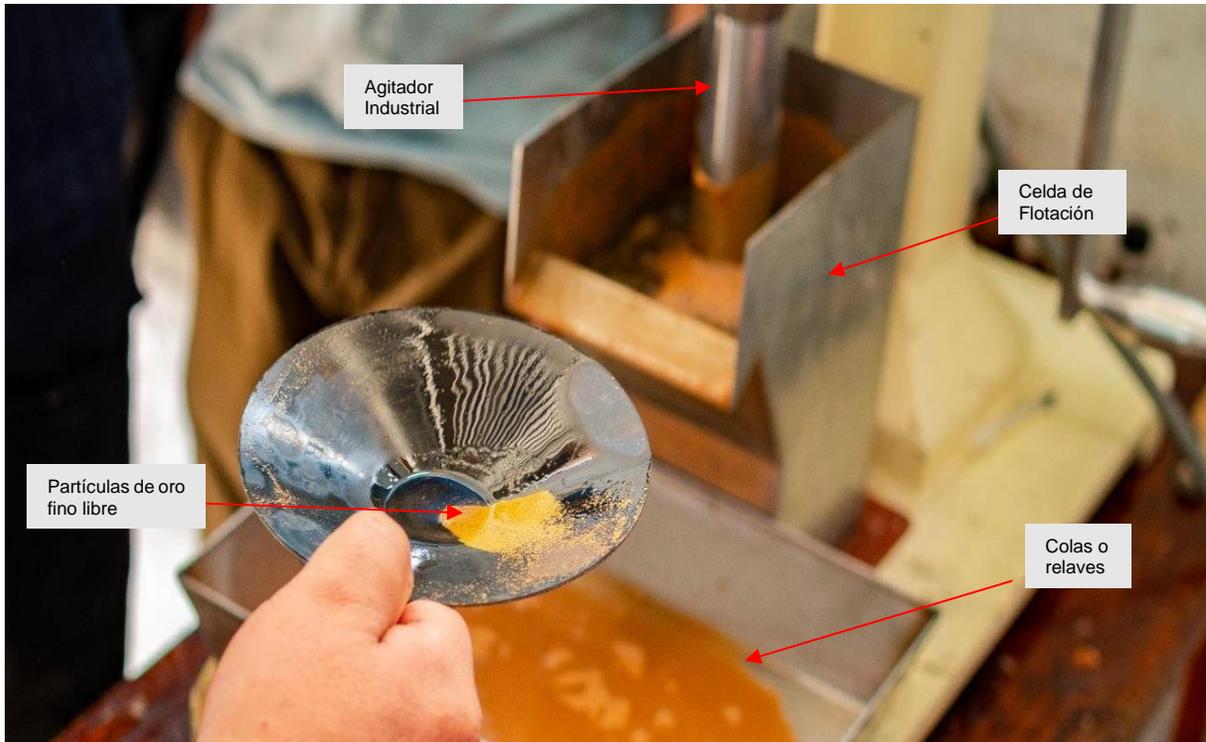


Figura 50. Oro concentrado después del proceso de Flotación.

4.4.4. Fundición

La fundición es el paso final para obtener el dore, para esta técnica es necesario que el oro atrapado en el COA sea llevado a un horno, donde se aplicara temperaturas superiores a los 1100 °C, con esta técnica se obtendrá el dore (Figura 51), el cual estará listo para la comercialización. En este proceso se puede usar bórax.



Figura 51. Obtención del dore por medio de la Fundición.

4.5. Discusión

En esta investigación se ha realizado una caracterización mineralógica de una muestra de preconcentrado o alce, extraída de los depósitos aluviales auríferos ubicado en la llanura aluvial, en el corredor minero de Madre de Dios; específicamente en la localidad de Mazuko.

El área de investigación se caracteriza por la explotación de oro en los ríos y llanuras aluviales, donde según Lanckneus (1991) menciona que el oro está presente en arcillas arenosas y arenas con gravas de los sedimentos aluviales; identificándose más contenido de oro en la llanura aluvial, que, en los cauces actuales, pero siendo su explotación más difícil debido a la vegetación y sobrecarga de varios metros de sedimentos aluviales.

Los mecanismos de formación de estos depósitos comprenden varios aspectos, entre ellos la geomorfología, erosión, transporte, deposición entre otros. En ese sentido, tanto las unidades geomorfológicas, yacimientos minerales y los ríos cumplen un rol crucial para entender cómo estos minerales se erosionaron, transportaron y acumularon. Así, la cuenca de Inambari (*Ver Plano 4*) cumple un papel fundamental, ya que en ella fue donde ocurrieron todos estos procesos.

Los diferentes estudios realizados en esta zona, determinan una gran acumulación de oro; por ejemplo Pérez et al. (2003) dice que, sobre la base de 160 sondajes eléctricos verticales, en la zona de Huepetuhe-Caychihue se ha determinado la presencia de 744 millones de m³ de grava aurífera con ley de 0,20 g/m³. Así mismo Zegarra & Galloso (1983) menciona que las leyes de oro promedian en 0.30 gr/m³ y su principal fuente proviene de la cordillera oriental, principalmente de la zona de Quincemil. También, Pastor (1991) estima que la cuenca del río Madre de Dios contiene aproximadamente 46,86 millones de onzas de reservas auríferas. Por último, la Dirección Sub-regional de Energía y Minas de Madre de Dios, estima 816.40 TM, contenidas en 2 946,74 mil millones de metros cúbicos de material aurífero (Pérez et al., 2003).

4.5.1. Parámetros críticos en la caracterización mineralógica para la recuperación aurífera en placeres

En el análisis por luz reflejada se identificaron partículas de oro libre menores a 450 μm con un grado de liberación del 99% y con una pureza según Merino et al. (2024) del 99%, siendo el 1% plata. Estas partículas están acompañadas por trazas de pirita inferiores a 1000 μm , coexistiendo con un gran porcentaje de minerales de óxidos de hierro entre ellos la magnetita (38%), que se presenta como partículas libres con tamaños menores a 500 μm y la ilmenita (25%) con tamaños de hasta 300 μm . Además, se identificaron gangas (16%) menores a 1200 μm . En menor porcentaje hay minerales mixtos que están asociados a gangas o hematita (15%). Además, existe una cantidad significativa de partículas donde la magnetita está siendo reemplazada por la hematita por un proceso de martitización. Este proceso probablemente haya ocurrido por la erosión y desgaste que ha generado el transporte de los ríos, formándose además varios tipos de texturas entre ellos la reticular, veteado y otros. Así Merino et al. (2024) refuerza la idea que los reemplazamientos en esta zona posiblemente pueden ocurrir por la erosión, transporte y desgaste, formando texturas de reemplazamiento en las líneas de clivaje, los bordes, y las grietas, reemplazando totalmente a la magnetita. De igual manera, el estudio de Huamán et al. (2020) realizado por medio de Difracción de rayos X (XRD) para una caracterización de arenas negras, revela una alta intensidad de dos fases predominantes de cuarzo y goetita acompañado de minerales en menor proporción como ilmenita, moscovita, caolinita, antimonio y rutenio. Esto tendría relación con el análisis realizado por luz transmitida que se hizo por medio de una sección delgada, para estudiar la mineralogía de la ganga. Aquí los minerales de mena se denominarán opacos. El estudio indica que la muestra está compuesta por partículas menores a 1000 μm , los minerales opacos son los más predominantes (75%), en menor proporción hay minerales como cuarzo (10%) menores a 300 μm , zircón (4%) inferior a 250 μm , rutilo (4%) bajo las 200 μm , andalucita (2%) menor a 200 μm , arcillas (2%) inferior a 250 μm y por último micas como trazas. Esto concuerda con Azañero (1998), quien identificó minerales pesados como: hematita, magnetita y abundante material de cuarzo; probablemente

los óxidos de hierro estén asociados a valores de tungsteno, estaño, rutilo y metales raros.

Además del oro, Bohorquez et al. (2012) revela la existencia de minerales de tierras raras en los depósitos fluviales de la región Madre de Dios. Por ejemplo, la monacita se reportó con el 4.7% en el río Malinowsky, 2.2% en el río Tambopata, 0.9% en el río Madre de Dios y 0.8% en el río Inambari Bajo. Otros elementos reportados son titanio y zirconio en las arenas negras remanentes de las labores auríferas. Así también lo reafirma Ledesma (2021), donde los depósitos fluviales con mayores leyes de tierras raras totales fueron las barras de punto (0.27 %) y las colas de las islas (0.43 %); además se detectó leyes de tierras raras más elevadas en la temporada de sequía, 0.37 % para barras de punto y 0.93 % para las colas de las islas. Por último, los residuos mineros presentaron leyes de tierras raras totales de 0.68%.

4.5.2. Optimización del proceso de recuperación aurífera

La caracterización mineralógica tiene una estrecha relación con los procesos metalúrgicos, debido a que brinda información beneficiosa al momento del procesamiento del mineral. Algunos aspectos importantes son: el tamaño de grano, tipo de textura, asociaciones mineralógicas, reemplazamientos, sustituciones y porcentaje estimado de granos libres e intercrecidos. Información que ayuda a comprender sobre las diferentes clases de minerales y sus peculiaridades. Todos estos datos van a potenciar o afectar el proceso metalúrgico. Por lo tanto, una caracterización mineralógica adecuada del yacimiento minero será valioso, dado que conoceremos que minerales valiosos existen, a que tipo de gangas está asociado y que características mineralógicas tiene. Esta información va a permitir conocer qué factores físico-químicos intervendrán en la recuperación de la mena.

A diferencia de metales como el cobre o zinc, el oro muy rara vez se encuentra en la naturaleza formando compuestos, su presentación habitual es en estado nativo, o en aleaciones con la plata (electrum). En la superficie terrestre y cerca de ella, los sulfuros que contienen oro normalmente están oxidados, dejándolo libre y haciendo así su extracción muy fácil (Ros, 2017). Por lo tanto, una planificación cuidadosa y detallada de cada una de sus características es importante para elegir el método más

apropiado. Las microfotografías del preconcentrado de arenas aluviales muestra partículas de oro libre en un 99%, coincidiendo parcialmente con Azañero (1998) donde menciona que el oro en la zona de Madre de Dios es de muy buena calidad, y aproximadamente el 80% el oro total está libre.

Las partículas de oro según las microfotografías oscilan entre 20 a 450 μm . El tamaño de partículas coincide con los estudios realizados por Lanckneus (1991) donde el tamaño promedio de partículas de oro contenidas en los sedimentos de los principales ríos de la cuenca de Madre de Dios (Inambari, Tambopata, Madre de Dios y Malinowsky) oscilan entre 135 a 155 μm . De igual manera Merino et al. (2024) en su estudio por microscopía electrónica de Barrido menciona que las partículas de oro oscilan entre 50 a 400 μm y que tienen una morfología alargada y subredondeada con bordes subredondeados a subangulosos; información que coincide con este estudio, donde la morfología del oro es alargada y aplanada en forma de laminillas u hojuelas, con bordes irregulares y sinuosos, baja esfericidad, cóncavas y convexas. Estas características pueden influir en el método de recuperación. Por ejemplo, la forma plana y ancha tienden a sedimentar más lento que las partículas que son un poco esféricas, influyendo en la separación por gravimetría. Por el contrario, si la forma de la partícula es más angular, es posible que sean más afines a los reactivos que se usan en la flotación.

Teniendo en cuenta estos aspectos se ha decidido combinar una serie de procesos que ayuden a recuperar el oro. La primera información relevante de la investigación es el gran porcentaje de óxidos de hierro que acompañan al oro, minerales que pueden disminuir su recuperación, por ello primero se usara una separación magnética, y así dejar el oro libre de minerales con esta propiedad y mejorar la recuperación.

Posteriormente se debe continuar con el cono helicoidal, equipo que separa dos o más minerales, generalmente de diferente gravedad específica (Burt, 1987). Esto es ideal ya que el oro tiene un peso específico de 19.3 gr/cm^3 y de la ganga solo fluctúa alrededor de 2.6 gr/cm^3 (Ros, 2017). El cono helicoidal tiene eficiencias en preconcentrados aluviales superiores al 90%, recuperando partículas de oro con

tamaños superiores a 75 μm ; esto coincide con el estudio de Teschner et al. (2017), donde menciona que los métodos gravimétricos pueden recuperar aproximadamente el 91% de oro que oscila entre 75-450 μm . De igual manera Lobe (2018) llegó a recuperar oro libre con un 76,36% de eficiencia. Los equipos gravimétricos que se usan para este fin son: las esclusas, Cono o Concentrador Helicoidal, Concentrador Falcon, Mesas Gravimétricas y otros equipos gravimétricos diseñados para estos propósitos. Por ejemplo Chaucayanqui (2012), reporta que métodos gravimétricos como el concentrador Falcon tiene recuperaciones entre el 57,97% y el 94,16%, un Jig mayor al 50,87%. Por otro lado, el concentrador Knelson consigue recuperaciones muy altas de oro libre en una amplia gama de tamaños; pero es ineficaz en la recuperación de oro muy fino (<15 μm). También menciona que el Falcon discontinuo es eficaz en el rango de finos, normalmente menos de 37 μm para el oro (Laplante, 1993). Por último AGC (2022), realizó pruebas pilotos en Madre de Dios con el Cono Helicoidal, llegando a tener eficiencias superiores al 90%, recuperando partículas de oro fino y grueso.

Sin embargo, aun la información en cuanto al tamaño de partículas de oro en Madre de Dios es insuficiente, por ello se ha complementado con los estudios de Malla Valorada realizados por Pérez et al. (2003), quien señala que el 81,82% y 99,19% del total de oro contenido en las muestras de Huepetuhe y Tres Islas son partículas de oro inferiores a M100 (<150 μm). Así mismo Lanckneus (1991) indica que aproximadamente, el 38% de las partículas de oro libre son de tamaño menores de M200 (<74 μm). De igual manera Merino et al. (2024), menciona que, por microscopia óptica, encontró que el 18 % de partículas de oro oscilan 33 a 75 μm , y el 82 % serian mayores a 106 μm . Además, su estudio por medio de malla valorada reporta que el 80.98 % de partículas de oro libre se concentran sobre M60 (>250 μm), el 2.40 % se encuentra debajo de M60 y encima de M100 (<250 μm y >149 μm), el 1.60 % se encuentra debajo de M100 y encima de M150 (<149 μm y >105 μm) el 2.14 % se encuentra debajo de M150 y encima de M200 (<105 μm y >74 μm), el 5.01 % se encuentra debajo de M200 y encima de M325 (<74 μm y >44 μm), y el 7.87 % se encuentra por debajo de M325 (>44 μm). Estos datos confirman que hay una gran variedad de rangos en las partículas de oro en el área de investigación. Por ello los métodos más adecuados para recuperar las partículas de oro superiores a 75 μm son

los de gravimetría y menores a este rango se puede hacer por medio de la Flotación, método apropiado para concentrar partículas de oro libre muy finas. Esta información se plasma mejor en la *Figura 52*.

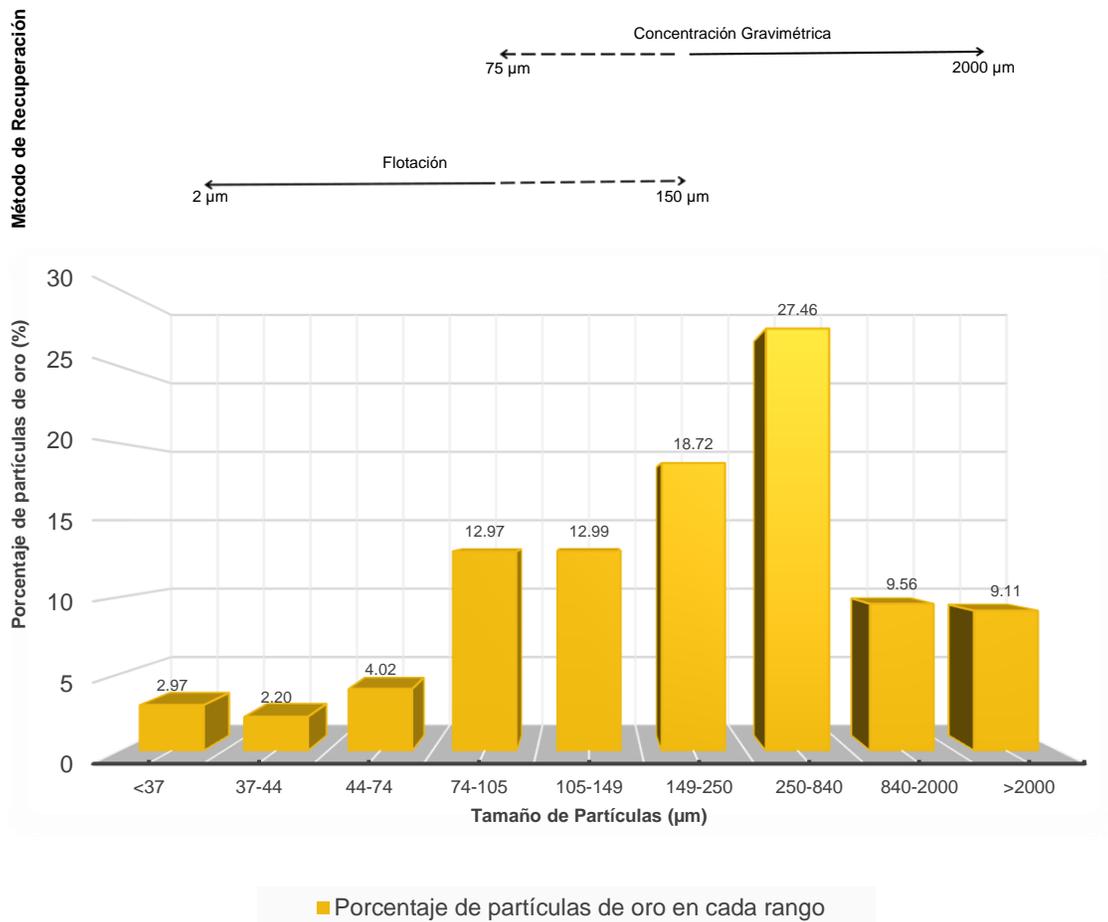


Figura 52. Distribución de partículas de oro nativo en Madre de Dios y su relación con los métodos de recuperación.

Adaptado y modificado de Grade (1994); Azañero (1998); Pérez et al. (2003) & Merino et al. (2024)

Nota: En la *Figura 52* se combinó la información del análisis microscópico de esta investigación con los datos obtenidos de Malla Valorada que realizaron varios autores en Madre de Dios, en la que efectuaron análisis granulométricos de las partículas del oro. La información recolectada brinda datos de la distribución de partículas de oro libre en cada tamiz, su equivalente en micras. Posteriormente se calculó el promedio y se procedió a normalizarlos, el resultado fue obtener evidencia de cómo es la distribución por tamaño de partículas en el

área de investigación. Finalmente se propone el método metalúrgico de acuerdo al rango de aplicabilidad.

Las partículas de oro muy finas, que los equipos gravimétricos no han concentrado y escaparon en las colas, se pueden recuperar por medio de la flotación. Allan & Woodcock (2001) & Governia (2006) sugiere que se use este método cuando las partículas sean como límite inferior de 2-5 μm y límite superior de 200 μm . Por eso, el proceso metalúrgico debe tener condiciones físicas y químicas adecuadas. Entre las condiciones físicas del oro se incluye a su tamaño, forma, composición y recubrimientos superficiales. Mientras que las condiciones químicas involucran los aditivos que ayudan a mejorar la flotabilidad del oro, entre ellos tenemos a los colectores, espumadores, activadores, depresores, modificadores de pH, y otros. Estos modifican las propiedades superficiales del mineral, garantizando la hidrofobicidad selectiva de las partículas de oro. Otro aspecto importante es la adhesión de la partícula y la burbuja, que controla la energía libre superficial, y su medida es el ángulo de contacto, que permite cuantificar la humectación de la superficie (Bustamante et al., 2012). Las pruebas de flotación son muy eficientes ya que según Chaucayanqui (2012) pueden llegar a tener recuperaciones del 96,88%.

Por lo tanto, combinar varios procesos metalúrgicos aumentaron la recuperación del oro. Por ejemplo Cabrera (2014) al combinar el proceso metalúrgico, por medio de una mesa concentradora (Yucra, 2014), y luego para el relave emplear un concentrador centrífugo Knelson obtuvo un rendimiento del 87,95%. También Villachica et al. (2010), aplica una combinación 3 etapas para la recuperación de oro: la separación magnética, recuperación gravimétrica (mesa gravimétrica) rápida del oro grueso y recuperación de oro fino mediante flotación.

Los métodos mencionados brindan altos beneficios de recuperación, siempre y cuando el oro se encuentre libre (Coyago & Piña, 2021). Las tecnologías limpias apropiadas deben generar beneficios económicos, fáciles de usar y tener una recuperación eficaz (Hinton et al., 2003).

4.6. Contrastación de Hipótesis

Se ha demostrado que información como la estimación del porcentaje de granos libres, intercrecimientos de los minerales, tipo, textura, reemplazamientos, asociaciones mineralógicas, tamaño y morfología de las partículas de oro, ayudan a cualificar y evaluar el área de manera precisa, resultando beneficioso al momento de procesar el mineral.

La estimación de porcentajes de granos libres, los intercrecimientos y la asociación mineralógica permitió saber cómo el oro se representa espacialmente en la muestra, así como también de los minerales que lo acompañan. El grado de liberación de las partículas de oro se observan al 99%, ya que están en estado libre sin asociarse químicamente con otros minerales, solo algunas inclusiones con gangas que se presentan como trazas. De igual manera estas partículas no presentan intercrecimientos, tan solo en los minerales que lo acompañan. También se observó que existe un gran porcentaje de óxidos de hierro (80%), siendo la magnetita (38%) perjudicial para la recuperación del oro, por ello como primer método de recuperación se ha elegido a la separación magnética.

El tamaño y la morfología de las partículas de oro ha permitido elegir si la flotación, la gravimetría u otro eran los más adecuadas para la recuperación. De esa manera se ha determinado que para partículas mayores a 75 μm se debe procesar mediante gravimetría, mientras que inferiores a este rango se debe procesar mediante flotación. Además de la información proporcionada por el análisis microscópico, se ha tomado data de algunas investigaciones realizadas por malla Valorada en el corredor minero de Madre de Dios, con el fin de tener una mayor certeza de cómo es la distribución de las partículas de oro en un determinado rango, de esa manera tener una mayor amplitud en cuanto a la aplicabilidad de los métodos metalúrgicos. De esa manera hemos contrastado la hipótesis propuesta al inicio de la investigación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se identificaron partículas de oro libre con inclusiones de gangas, asociado a magnetita, ilmenita, goetita, pirita, cuarzo y otros. Las texturas e intercrecimientos son simples, reticulares, gráfico, vetado y otros. Además, existe reemplazamiento de magnetita a hematita (martitización) en las líneas de clivaje y bordes.

Se estimaron un 99 % de granos libres, entre ellos destaca partículas de oro, óxidos de hierro, sílice, sulfuros y titanio.

Las partículas de oro tienen un tamaño que oscilan entre las 20 y 450 μm . Tienen una morfología alargada y aplanada en forma de laminillas u hojuelas, con bordes irregulares, sinuosos, subangulosa, cóncavas o convexos.

El método de procesamiento más adecuado para el beneficio del oro involucra la combinación de métodos. El primer método es la separación magnética. A continuación, se usará un método gravimétrico. Por último, el concentrado producto de la gravimetría se puede recuperar por flotación, para finalmente llevarlo a fundición.

5.2. Recomendaciones

Se invita a los investigadores complementar los datos de esta investigación con análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF), Difracción de Rayos X (XRD) y Malla Valorada. Con el fin de realizar una caracterización mineralógica más detallada del preconcentrado de arenas aluviales.

Se sugiere a los mineros artesanales adoptar las nuevas metodologías de beneficio del oro presentadas en esta investigación para optimizar y mejorar su recuperación, así como a las autoridades como la DREMEH y otras autoridades competentes a promover estas técnicas para alcanzar mayores eficiencias en los procesos de extracción.

Referencias Bibliográficas

- AGC. (2022). *Reporte Interno N°001. Actividades de Campo y Gabinete - Delta 1 (Concentrador Helicoidal)*.
- Allan, G. C., & Woodcock, J. T. (2001). A review of the flotation of native gold and electrum. *Minerals Engineering*, 14(9), 931–962. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(01\)00103-0](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(01)00103-0)
- Amstutz, G. (1961). Microscopy applied to mineral dressing. In *Quarterly of the Colorado School of Mines* (Vol. 56, pp. 445–481).
- ANA. (2011). *Diagnóstico y Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca de Madre de Dios*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/3634>
- Azañero, A. (1998). Oro aluvial: Alternativas de Beneficio Metalúrgico. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 1(1), 31–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v1i1.2303>
- Baum, W., Lotter, N. O., & Whittaker, P. J. (2004). Process Mineralogy – A New Generation for Ore Characterization and Plant Optimization. In: *SME Annual Meeting*, 1–5.
- Bloss, F. D. (1970). *Introducción a los Métodos de Cristalografía Óptica* (Quinta). Holt, Rinehart and Winston.
- Bohorquez, J., Jara, R., Mamani, Y., Guerrero, L., & Villafranca, A. (2012). Ocurrencia de Tierras Raras en el Perú. *Congreso Peruano de Geología*.
- Bonnemaison, M., Fornari, M., Galloso, A., Grandin, G., Herail, G., Jungbluth, R., Laubacher, G., Rodriguez, W., Vergara, J., & Zegarra, J. (1985). Evolución Geomorfológica y Placeres de Oro en los Andes Surorientales del Perú. *Boletín de La Sociedad Geológica Del Perú*, 75, 13–32.
- Burt, R. O. (1987). Gravity concentration technology. In B. Yarar (Ed.), *Mineral Processing Design* (pp. 106–137). Springer Netherlands.
- Bustamante, M., Gaviria, A., & Restrepo, O. (2008). *Concentración de Minerales*. Instituto de Minerales CIMEX.

- Bustamante, M., Tobón, C., & Naranjo, D. (2012). Estudio de Hidrofobicidad del Oro Nativo. *Dyna*, 79(175), 48–52.
- Cabrera, S. (2014). *Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija “Condominio Sur”* [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Cameron, E. (1961). *Ore Microscopy* (Wiley). Universidad de Michigan.
- Campozano, M. (1991). *Concentración de Oro por separación magnética por vía seca de los concentrados del río Paute* [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Carrasco, A. (2022). *Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental de Explotación de Gravas Auríferas con Equipo Mecanizado Tractor - Cargador Frontal y Monitor Hidráulico - Concesión Minera Jesús 2004 Tres Ananea, Puno* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Castillo, R. (1996). Los placeres Auríferos en el Perú, Prospección, Exploración y Producción. *Boletín de La Sociedad Geológica Del Perú*, 85(105), 73.
- Chaucayanqui, B. (2012). *Modelo de planta piloto para recuperación del Oro de la pequeña minería y minimizar los impactos ambientales* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2342902>
- Chávez, L. (2020). *Caracterización Petro-Mineralógica de Las Vetas Cercanas al Distrito Minero San Juan de Chorunga – Arequipa – Perú - 2020* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/c267ded7-71b2-4594-86fb-1f49a32b222d>
- Chirif, L. (2010). *Microscopía óptica de minerales. INGEMMET. Boletín, Serie J: Tópicos de Geología; n° 1, 123 p.* <https://hdl.handle.net/20.500.12544/379>
- Chudoba K. (1933). Die Feldspäte und ihre praktische Bestimmung. *Nature*, 131(3307), 384–384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/131384a0>
- Condorhuaman, A. (2023). *Petrología y Vulcanología* [Diapositivas de Power Point]. Sociedad Geológica del Perú (Programa de Entrenamiento Explora Perú - 2023).

- Contreras, L. (2015). *Caracterización Mineralógica del Proceso Metalúrgico y su Impacto en la Producción de Concentrados de Cu y Mo en CMDIC* [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/132728>
- Coyago, J., & Piña, L. (2021). *Propuesta para la concentración de oro aluvial que combine métodos gravimétricos y de lixiviación en la concesión minera la misionera, Gualaquiza-Morona Santiago* [Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11219>
- Dos Santos, K., Barrios, S., Gómez, J., Merinero, R., & Compañía, J. M. (2020). Morphological and compositional analysis of alluvial gold: The Fresnedoso gold placer (Spain). *Ore Geology Reviews*, 121, 103489. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103489>
- Espinoza, L., Iriarte, G., Espinoza, L., Gutarra, R., Herrera, M., Zamalloa, J., Aramburú, V., & Torres, J. (2021). Importancia de la mineralogía en la geometalurgia: aplicación en Perú. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 85–100. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21707>
- Gaudin A. (1939). *Principles of Mineral Dressing*. McGraw-Hill.
- GEO GPS PERÚ. (n.d.). *Mapa de Yacimientos Mineros SHAPEFILE GRATIS*. Geogpsperu.Com. Retrieved May 15, 2023, from <https://www.geogpsperu.com/2020/10/mapa-de-yacimientos-mineros-shapefile.html>
- Governia, H. (2006). *Proyecto del Circuito de Flotación Flash en Mejora de la Recuperación de oro Grueso* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/5274072>
- Grade. (1994). *Estudio de Minería Informal y Medio Ambiente, Zona Madre de Dios*.
- Gribble, C. D., & Hall, A. J. (1985). *A Practical Introduction to Optical Mineralogy*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-7804-4>
- Guadalupe, E. (2015). La mineralogía en el negocio minero metálico. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias*

Geográficas, 18(35), 139–142.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11852>

Hinton, J. J., Veiga, M. M., & Veiga, A. T. C. (2003). Clean artisanal gold mining: a utopian approach? *Journal of Cleaner Production*, 11(2), 99–115.
[https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00031-8)

Huamán, F., Palma, G., & Flores, L. (2020). Caracterización preliminar de residuos de minería aluvial en la región Madre de Dios – Perú. *Revista Cubana de Química*, 32(2), 232–244. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212020000200232

IIAP. (2006). *Estrategia Regional de Diversidad Biológica de Madre de Dios*.

Kotze, W., & Petersen, F. (2000). Free gold recovery by coal-oil agglomeration. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 57–62.

Kummel, B. (1948). Geological reconnaissance of the Contamana Region, Perú. Bulletin 58. *Geological Society of America*, 1217–1266.

Lanckneus, J. (1991). Placeres de Madre de Dios (SE del Perú). *Actas Del Simposio Internacional Sobre Yacimientos Aluviales de Oro*, 89–102.

Laplante, A. (1993). *A Comparative Study of Two Centrifugal Concentrators*.

Ledesma, P. (2021). *Caracterización de Oro y Minerales de Tierras Raras en Depósitos Fluviales Tipo Placer del Río Madre de Dios* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/22420>

Loaiza, E., & Calderón, C. (2021). *Actividad minera artesanal en la región Madre de Dios*. *INGEMMET, Boletín, Serie E: Minería*, 15, 111 p., 6 mapas.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3540>

Loaiza, J., Stoops, G., & Poch, R. (2014). *Manual de Micromorfología de Suelos y Técnicas Complementarias*. Fondo Editorial Pascual Bravo.

Lobe, C. (2018). *Concentración De Magnetita Y Oro Libre, En Los Suelos Aluviales De Inguro (Bellavista, Jaén, Cajamarca) Por L Método Gravimétrico, Como Una*

- Alternativa Ambiental* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca].
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/2445>
- Londoño, J., Mojica, J., Molano, J., Cañón, Y., Mosquera, G., Ruiz, V., Pérez, N., Gutiérrez, H., González, M., Concha, H., Galindo, B., Londoño, S., & Buritica, J. (2010). *Técnicas Mineralógicas, Químicas y Metalúrgicas para la Caracterización de Menas Auríferas. Guía Metodológica*. Servicio Geológico Colombiano.
<https://doi.org/10.32685/9789589789667>
- MacKenzie, W. S., Donaldson, C., & Guilford, C. (1983). Atlas of Igneous Rocks and their Textures. *Mineralogical Magazine*, 47(345), 569–569.
<https://doi.org/10.1180/minmag.1983.047.345.22>
- Manzaneda, J. (2010). *Aplicación de microscopía en el procesamiento de minerales por flotación* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería].
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/611>
- Melgarejo, C., Proenza, J., Gali, S., & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 62(1), 1–23.
- Merino, D., Gómez-Marroquín, M., Telmer, K., & Paccha, C. (2024). Mineralogical characterization of gold alluvial sands preconcentrates in the mining districts of Huepetuhe and Delta 1, Madre de Dios Department, Peru. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 42(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/igc.20072902e.2025.2.1857>
- MINEM. (2001). *Minería Aurífera Aluvial. Exposiciones Técnicas*.
- Moses, L. B., & Petersen, F. W. (2000). Flotation as a separation technique in the coal gold agglomeration process. *Minerals Engineering*, 13(3), 255–264.
[https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(00\)00005-4](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00005-4)
- Mosquera, C., Chavez, L., Pachas, V., & Moschella, P. (2009). Estudio Diagnóstico de la Actividad Minera Artesanal en Madre De Dios. *CooperAccion, Caritas Madre de Dios, Conservación Internacional*.

- Mukherjee, S. (2011). *Applied Mineralogy*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1162-4>
- Nesse, W. D. (1986). *Introduction to optical mineralogy*. Oxford University Press.
- Nna, D., Ndjigui, P., Atangana, J., Abolo, A., & Ndongue, C. (2020). Sedimentological Characterization of Alluvial Gold Deposits of Betrare-Oya and Its Surroundings (Cameroon Eastern Region). *International Journal of Geosciences*, 11(12), 783–799. <https://doi.org/10.4236/ijg.2020.1112040>
- Palacios, O., Molina, O., Galloso, A., & Reyna, C. (1996). *Geología de los cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Reserva Tambopata. Hojas: 26-u, 26-v, 26-x, 26-y, 27-u, 27-v, 27-x, 27-y. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional; n° 81, 81, 189 p., 8 mapas.* <https://hdl.handle.net/20.500.12544/37>
- Pastor, D. (1991). XX Convención de Ingenieros de Minas del Perú. *XX Convención de Ingenieros de Minas Del Perú*.
- Pérez, C., Castro, M., & Loaiza, E. (2003). *Reconocimiento de las Actividades Mineras y Metalúrgicas en la Cuenca de los ríos Madre de Dios e Inambari. Informe de visita técnica de campo. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A6114, 91 p. 191.* <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4724>
- Pérez-Barnuevo, L., Brea, C., & Castroviejo Bolibar, R. (2010). Innovación en las técnicas de microscopía óptica aplicadas a la industria minera. In *Nuevos retos en la prospección e investigación de los recursos minerales. Libro homenaje al Profesor Jesús García Iglesias* (pp. 521–562). <https://oa.upm.es/11069/>
- Petruk W. (2000). *Applied Mineralogy in the Mining Industry*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50077-9.X5000-7>
- Pincheira, M. (2013). *Curso Mineralogía Aplicada*.
- Raith, M., Raase, P., & Reinhardt, J. (2012). *Guía para la Microscopía de Minerales en Lámina Delgada*.
- Ramdohr P. (1969). *The Ore Minerals and their Intergrowths*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-10027-X>

- Ros, A. (2017). *Recopilación sobre la Metalurgia del Oro*.
- Sánchez, N., Luque, F., & Piña, R. (2011). Mineralogía II de Grado en Geología. Prácticas. 1. Introducción al microscopio de luz reflejada I: Propiedades ópticas de minerales de mena. *Reduca (Geología). Serie Mineralogía*, 3(4), 1–16.
- SENAMHI. (2023). *Madre de Dios*.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Beneficio y transformación de minerales. Aplicaciones de La Geología*.
https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html
- S.K. Haldar. (2020). *Introduction to Mineralogy and Petrology*. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/C2019-0-00625-5>
- Smirnov Vladimir. (1982). *Geología de Yacimientos Minerales* (Moscú, Ed.). Mir.
- Teschner, B., Smith, N. M., Borrillo-Hutter, T., John, Z. Q., & Wong, T. E. (2017). How efficient are they really? A simple testing method of small-scale gold miners' gravity separation systems. *Minerals Engineering*, 105, 44–51.
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.005>
- Torres, V. (2006). *Minería Artesanal y a Gran Escala en el Perú: el Caso del Oro. Acción Solidaria Para El Desarrollo – Cooperacion*.
- Valdivia, P. (2017). *Explotación del Oro y Caracterización Microscópica del Mineral para su Recuperación Óptima Sostenible en la Pequeña Minería y Artesanal del Sur del Perú* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/dc297597-aa96-4f0f-834c-ca08d55fcb91/full>
- Viladevall M. (2004). *La Prospección de Placeres de Oro y otros Minerales Densos* [Diapositivas de Power Point]. Facultad de Geología, Universidad de Barcelona.
- Villachica, C., Llamosas, J., & Villachica, L. (2010). *Oro Ecológico Tecnología para la Obtención de Oro sin Mercurio en la Minería de Pequeña Escala*.

- Yagua, J., Molina, O., Prado, M., Zevallos, O., & Cadenas, J. (2014). Caracterización Geometalúrgica en los Yacimientos Minerales. *Boletín de La Sociedad Geológica Del Perú*, 109, 162–165.
- Yucra, C. (2014). *Informe de experiencia profesional en la mina corporación minera Santa Teresa–Puno* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2625>
- Zegarra, J., & Galloso, A. (1983). Yacimientos Auríferos de la Zona Sur Oriental del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 71, 125–133.

ANEXOS



Mineragrafía
De 02 muestras de material aluvial

JENNY MIRANDA MONTEAGUDO

Ingeniera Geóloga Microscopista

CIP 106297

I. INTRODUCCIÓN

Se ha realizado dos análisis mineralógicos por microscopía óptica (luz transmitida y luz reflejada) de una muestra de material aluvial.

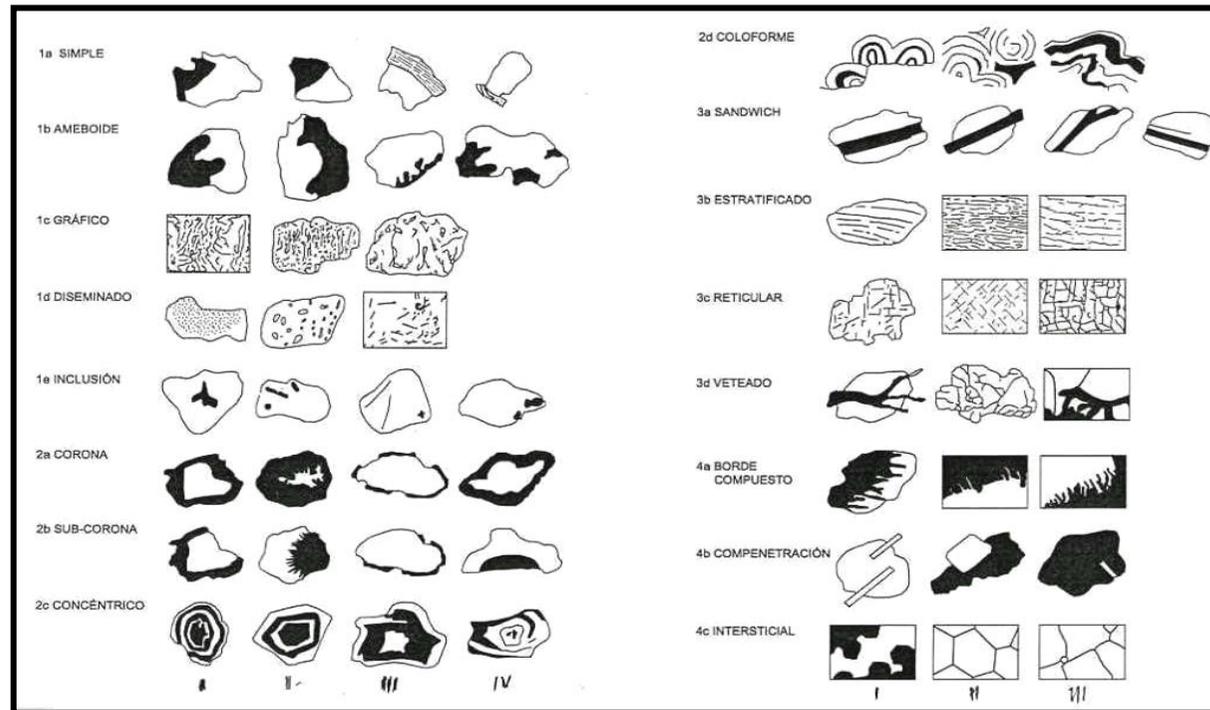
El objetivo del estudio es determinar los minerales presentes (metálicos y no metálicos), estimación porcentual de los granos libres y de los intercrecimientos, tipos y textura de las asociaciones, tamaño y morfología de los granos.

El análisis se ha realizado mediante el estudio de una briqueta pulida en luz reflejada para estudiar la mineralogía de mena y una sección delgada en luz transmitida para estudiar la mineralogía de la ganga, y registrar las asociaciones presentes entre ambas.

En el estudio de luz reflejada los minerales no metálicos se denominarán como gangas. En el estudio de luz transmitida los minerales de mena se denominarán como minerales opacos. El término traza equivale a ocurrencias esporádicas de minerales por debajo de la estimación de <1%.



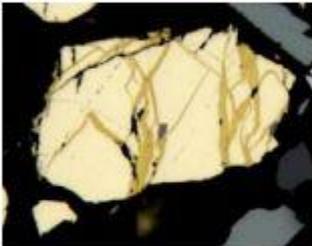
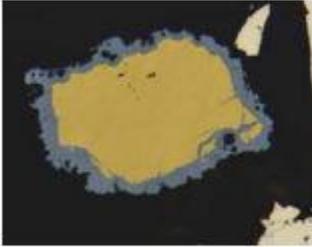
II. Tipos geométricos de intercrecimientos entre minerales



Amstutz (1962)



III. Tipos de intercrecimientos y grado de liberación

TIPO DE INTERCRECIMIENTO	COMPORTAMIENTO ESPERADO	
	<p>TIPO I. Intercrecimiento simple. Los minerales adyacentes se encuentran unidos mediante bordes rectilíneos o suavemente curvados.</p>	<p>La composición superficial de estas partículas es proporcional a su composición volumétrica, de manera que durante la flotación se comportan de acuerdo con dicha composición. Fácil liberación.</p>
	<p>TIPO II. Intercrecimiento vetilla o sándwich. Una de las fases minerales se encuentra incluida en la otra en forma de vetilla.</p>	<p>La respuesta a la flotación está directamente relacionada con la abundancia relativa de cada una de las fases, mientras que la liberación es posible pero más difícil que en las partículas del tipo I.</p>
	<p>TIPO III. Intercrecimiento corona o recubrimiento. Una de las fases se encuentra cubriendo, si no totalmente, al menos parcialmente a la otra fase.</p>	<p>No responde a la flotación tal y como cabría esperar por la abundancia relativa de las fases, sino que se comporta según las propiedades del mineral de recubrimiento. Liberación completa imposible por medios físicos.</p>
	<p>TIPO IV. Intercrecimiento emulsión o diseminado. Una de las fases se encuentra en forma de minúsculas inclusiones en la otra fase.</p>	<p>Responde a la flotación tal y como cabría esperar para la fase más abundante. Liberación imposible.</p>

Geopersa Exploraciones SAC



IV. ESTUDIO MINERALOGICO

IV. 1.- Muestra Dat -02

la muestra está constituida principalmente por magnetita e ilmenita, como granos libres, y un menor porcentaje como minerales mixtos, en asociación con gangas o hematita, también es abundante la presencia de hematita, como mineral de reemplazamiento.

La magnetita está sufriendo proceso de martitización (reemplazamiento a hematita), la ilmenita generalmente está libre de este proceso. Hay presencia a nivel de trazas de oro como granos libres y mixtos y pirita como granos libres.

Los minerales de gangas ocurren principalmente como granos

Minerales Libres	Porcentajes (96%)
Magnetita	38
Ilmenita	25
Gangas	16
hematita	15
Limonitas*	2
Pirita	TRZ
Oro	TRZ

Minerales Mixtos	Porcentajes (4%)	Intercrecimientos (Amstutz (1962))
mt-hm	3	Simple, reticular, gráfico, veteado, corona
mt-GGs	<1	Simple, gráfico
hm-GGs	1	Gráfico, inclusión,
mt-GGs-hm	TRZ	Inclusión
mt-il	TRZ	Sadwich, ameboide
mt-LIMs-h	TRZ	Coloforme
GGs-LIMs	TRZ	Coloforme
GGs-au	TRZ	Simple
Py-hm	TRZ	Ameboide
Py-GGs	TRZ	Simple

Nota.- Los porcentajes han sido estimados.



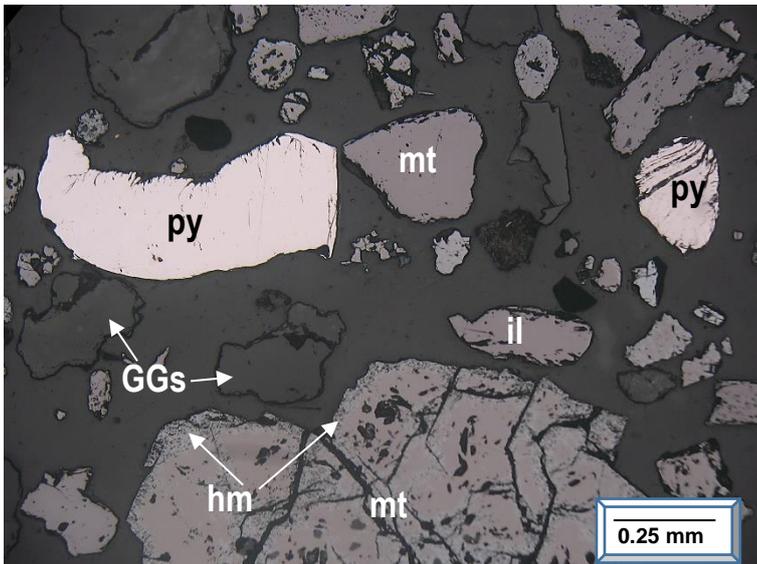
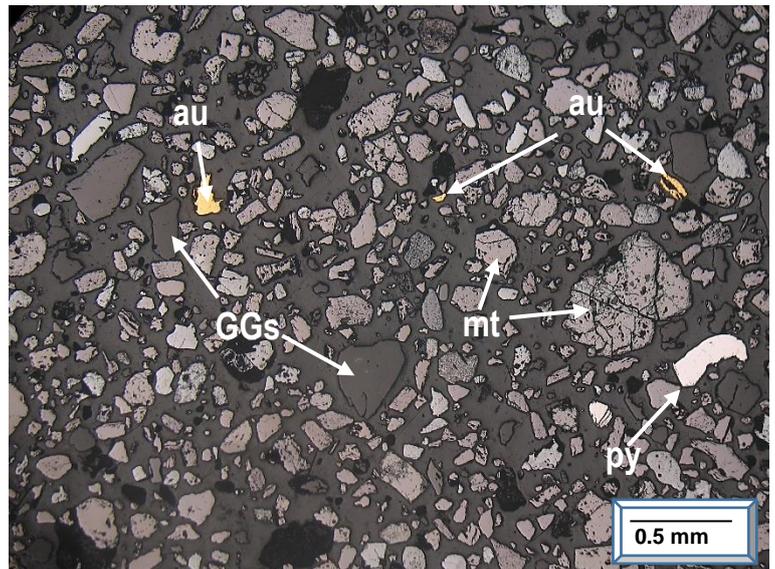
- **Magnetita**, es el mineral más abundante de la muestra, ocurre como granos libres con tamaños menores a 0.9 mm, es frecuente que presente reemplazamiento a hematita (martitización) sobre todo a lo largo de las líneas de clivaje y bordes, ocurre también como granos mixtos con la hematita, ilmenita o gangas; con intercrecimientos tipo 3 reticular (siguiendo líneas de cristalización) y vetado, tipo 4 como bordes compuestos de ilmenita-magnetita, tipo 1 simple.
- **Ilmenita**, ocurre sobre todo como granos libres con tamaños hasta de 0.8 mm, algunos granos mixtos son de ilmenita-magnetita. No presenta reemplazamiento.
- **Hematita**, ocurre como producto del reemplazamiento de la magnetita, como granos libres con tamaños menores a 1 mm, o como granos mixtos de hematita-limonitas, y como magnetita-hematita con texturas de reemplazamiento como la reticular, grafica, semicorona o vetada.
- **Oro**, ocurre como escasos granos libres con tamaños menores a 0.4 mm; la asociación oro-gangas ocurre como trazas.
- **Pirita**, es muy esporádica en la muestra, se presenta como como granos libres de diferente tamaño, desde 0.07 mm hasta 1 mm, se ha observado algunos con inclusiones de hematita por sectores.
- **Limonitas***, se denomina a los óxidos/hidróxidos de Fe, que no presentan cristalización, con textura terrosa o entremezclados con gangas terrosas; se presenta como granos libres o mixtos junto a la hematita, magnetita u oro.
- **Gangas**, ocurre como granos libres de diverso tamaño (menores a 1.2 mm), algunos contienen inclusiones de magnetita o ilmenita, también se observa como granos mixtos con el oro.



MICROFOTOGRAFÍAS

Microfotografía n° 1. NX MINERAGRAFIA

Vista panorámica de la muestra, 03 granos libres de oro (au) con tamaños de entre 0.016 y 0.040 mm, 2 granos libres de py de 0.04 mm a 0.8 mm. El resto de la muestra está constituida por magnetita (mt), hematita (hm), ilmenita (il) y gangas (GGs).

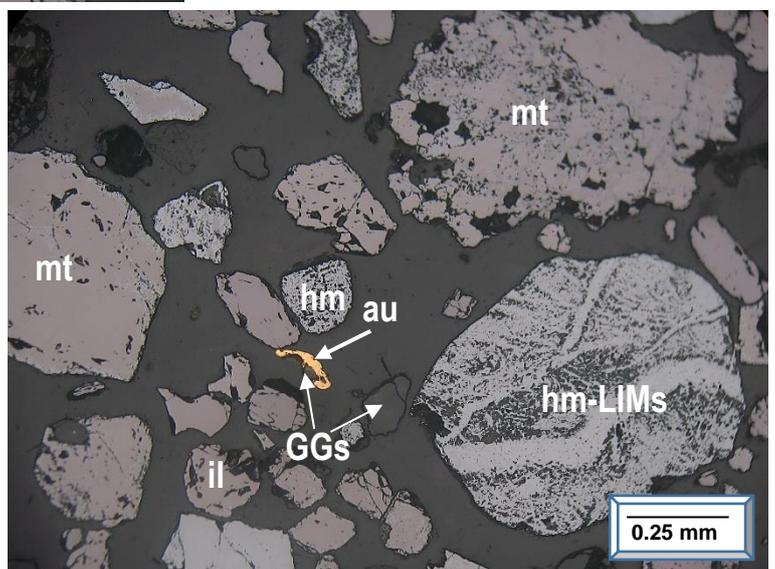


Microfotografía n° 2. MINERAGRAFIA. NX

Dos granos libres de piritas (py), uno de ellos presenta textura estratificada, grano mixto de magnetita (mt) con varias inclusiones de gangas (GGs) y fracturamiento, a lo largo del cual se inicia la hematización (hm), granos libres de ilmenita (il) y de gangas (GGs).

Microfotografía n° 3. MINERAGRAFIA. NX

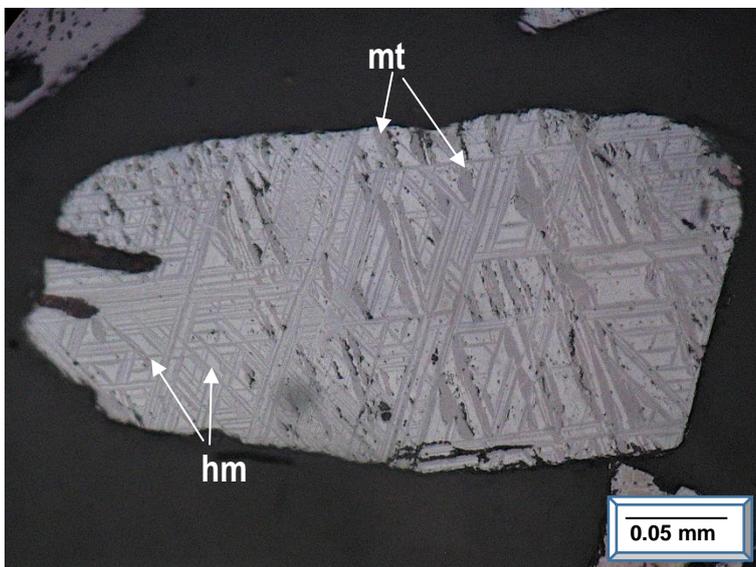
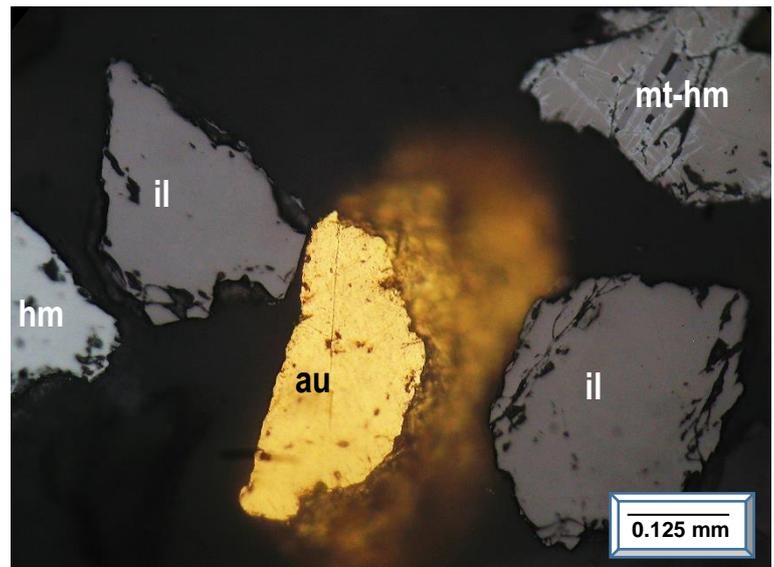
Grano mixto de oro (au) y gangas (GGs), granos de hematita asociado a limonitas (hm-LIMs), magnetita granular (mt) asociada a hematita en bordes, granos libres de ilmenita (il).





Microfotografía n° 4. NX MINERAGRAFIA

Grano libre de oro (au), vista parcial de grano libre de hematita (hm) y de magnetita con hematita (mt-hm) martitización; 2 granos libres de ilmenita (il).

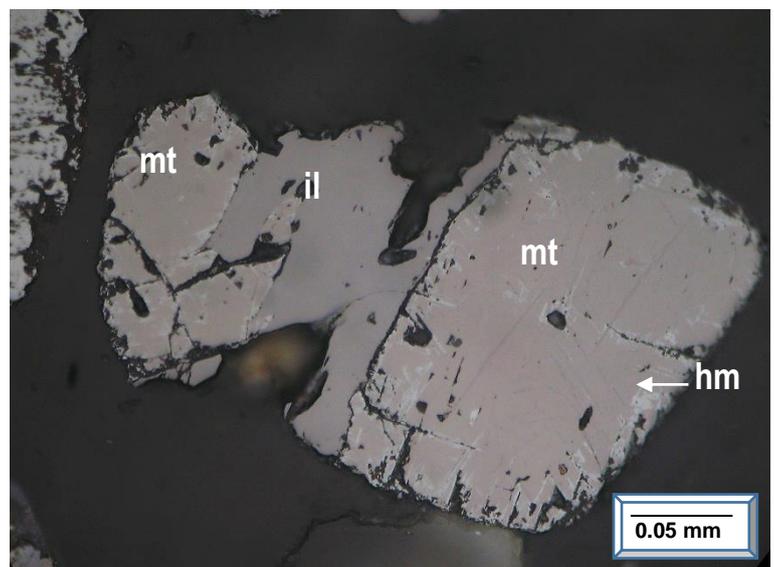


Microfotografía n° 5. MINERAGRAFIA. NX

Grano de magnetita (mt) y hematita (hm) con intercrecimiento reticular (líneas de cristalización).

Microfotografía n° 6. MINERAGRAFIA. NX

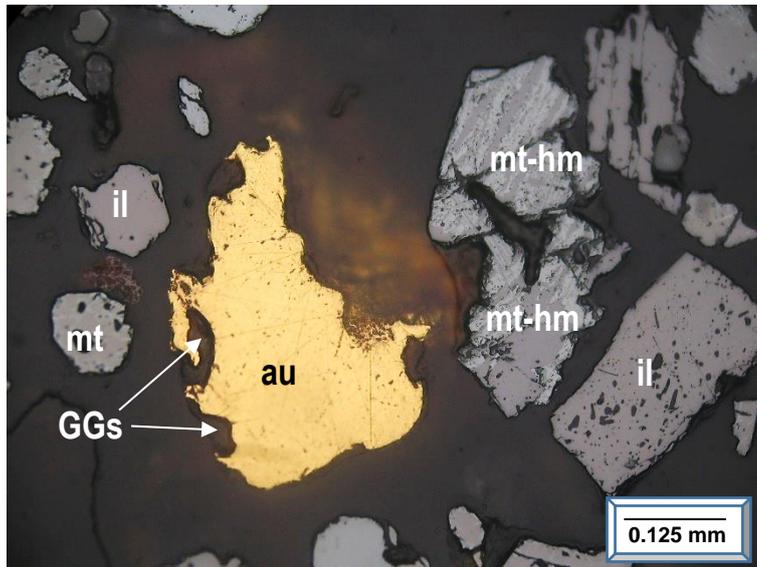
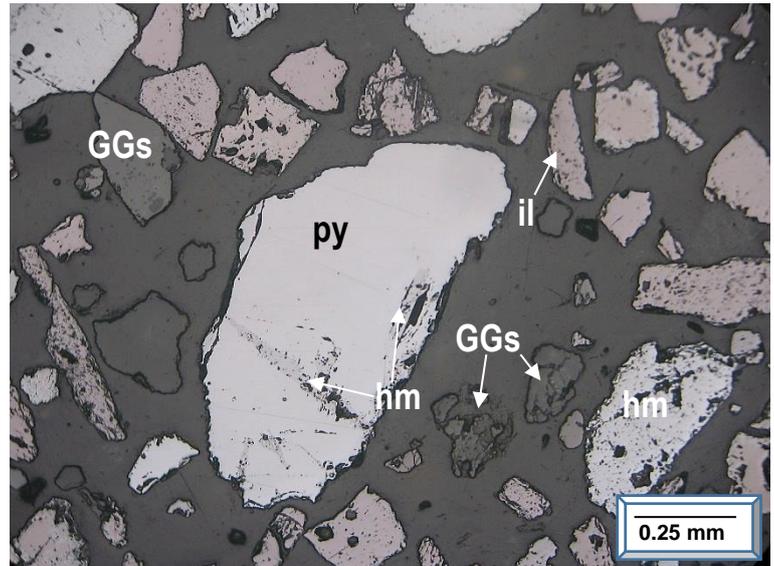
Grano mixto de magnetita (mt) en asociación sándwich con ilmenita (il) en el centro, se observa la hematitización (hm) de la magnetita en los bordes.





Microfotografía n° 7. NX MINERAGRAFIA

Grano de pirita (py), con inclusiones de hematita (hm) por zonas; grano libre de hematita, de ilmenita (il), gangas (GGs).

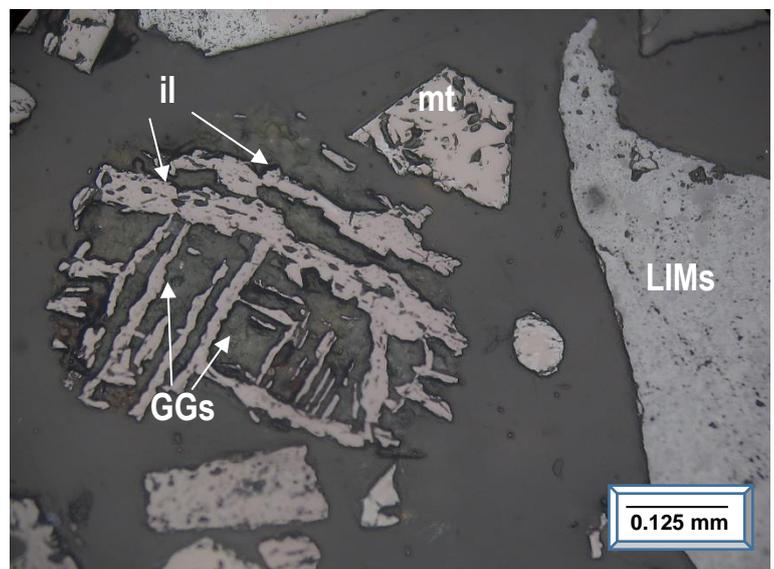


Microfotografía n° 8. MINERAGRAFIA. NX

Grano mixto de oro (au) y gangas (GGs), al lado granos mixtos de magnetita-hematita (mt-hm), granos libres de magnetita, de ilmenita.

Microfotografía n° 9. MINERAGRAFIA. NX

Grano mixto de ilmenita (il) y gangas (GGs), la forma de los cristales es prismática; al lado vista parcial de grano de limonitas (LIMs), granos de magnetita (mt).





IV. 1.- Muestra Dat -02

la muestra está constituida principalmente por material molido, con tamaño de grano menor a 0.44 mm, con presencia preponderante de granos libres de minerales opacos, en menor proporción se observa granos libres de zircón, cuarzo, rutilo, andalucita, micas y pequeños agregados de arcillas.

La distribución porcentual es como sigue:

Minerales Libres	Porcentajes (97%)
OPs	75
Cuarzo	10
Zircón	4
Rutilo	4
Andalucita	2
Arcillas	2
Micas	TRZ

Minerales Mixtos	Porcentajes (2%)	Intercrecimientos (Amstutz (1962))
ARCs-Ops	1	Simple, gráfico, corona
ARCs-rt	1	Simple, gráfico
OPs-rt	<1	Gráfico, inclusión, corona
ARCs-cz	TRZ	Simple
cz-rt	TRZ	Simple, inclusión
ARCs-rt-zr	TRZ	Simple
ARCs-zr-anl	TRZ	Simple
Micas-cz	TRZ	Simple

Nota.- Los porcentajes han sido estimados.

- **Minerales opacos**, son los minerales metálicos, los más abundantes de la muestra; con tamaño de grano hasta de 0.2 mm; generalmente ocurren como granos libres, pero también se observan como inclusiones dentro de agregados de arcillas, asociados a rutilo, como coronas o en intercrecimiento simple.

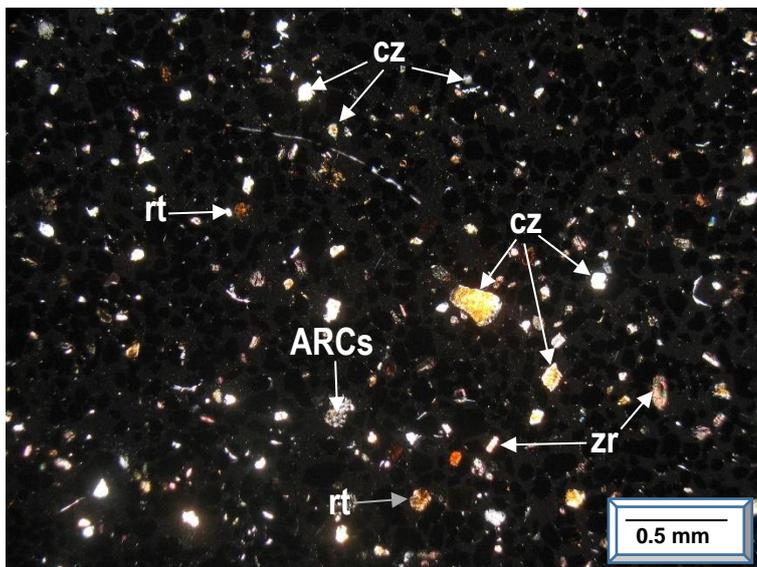
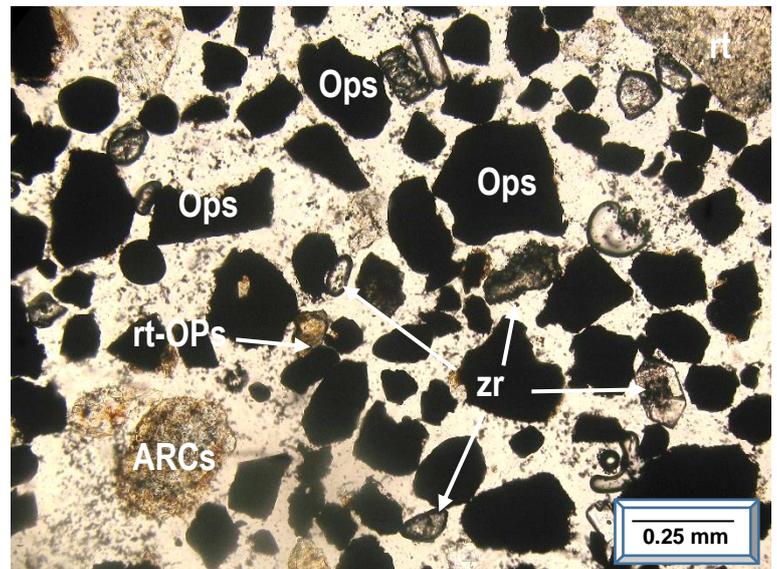


-
- **Cuarzo**, es el mineral de ganga más abundante de la muestra, ocurre como granos libres con tamaños menores a 0.9 mm, de formas anhedrales, también como granos mixtos asociado a las arcillas, o al rutilo.
 - **Zircón**, ocurre como granos euhedrales tabulares, prismáticos, subredondeados, con tamaños menores a 0.35 mm, generalmente libre; se observa esporádicos intercrecimientos con arcillas y cuarzo.
 - **Andalucita**, se observa como granos libres menores a 0.5 mm, anhedrales; está en menor proporción, se ha observado un intercrecimiento con arcillas y zircón.
 - **Micas (muscovita)**, como pequeños y esporádicos cristales anhedrales con tamaños menores a 0.1 mm, plumoso, asociado en textura simple al cuarzo.
 - **Rutilo**, ocurre como granos libres de hasta 0.4 mm de tamaño, también se presenta como granos mixtos de textura terrosa, en asociación con el cuarzo, arcillas o minerales opacos.
 - **Arcillas**, se presenta como granos mixtos, como agregados asociados a cuarzo, rutilo o inclusiones de minerales opacos.



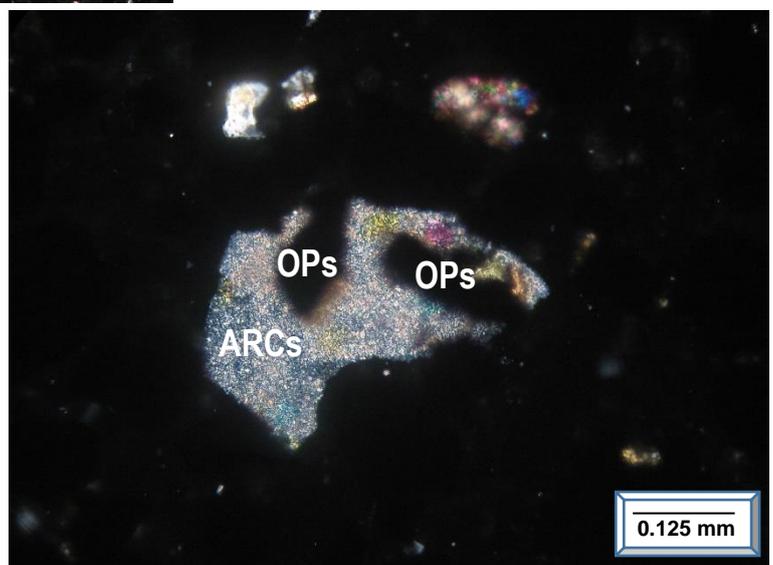
MICROFOTOGRAFÍAS

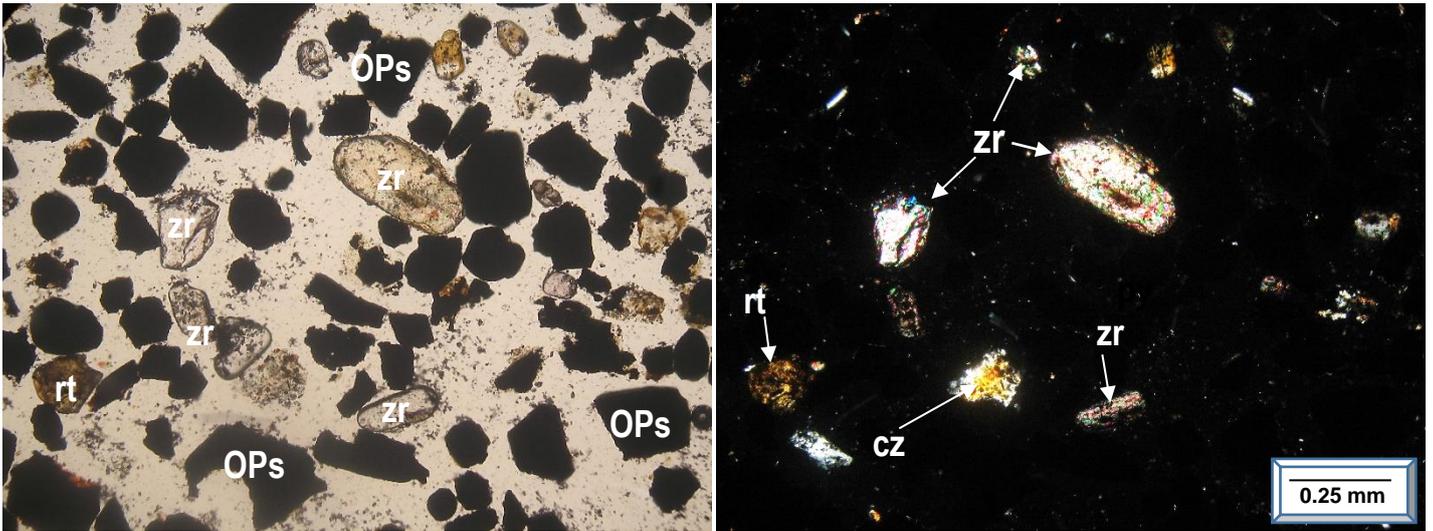
Microfotografía n° 1. N// PETROGRAFIA
Granos euhedrales de zircón (zr), de arcillas (ARCs), de rutilo (rt), grano mixto de rutilo y mineral opaco (rt-OPs)



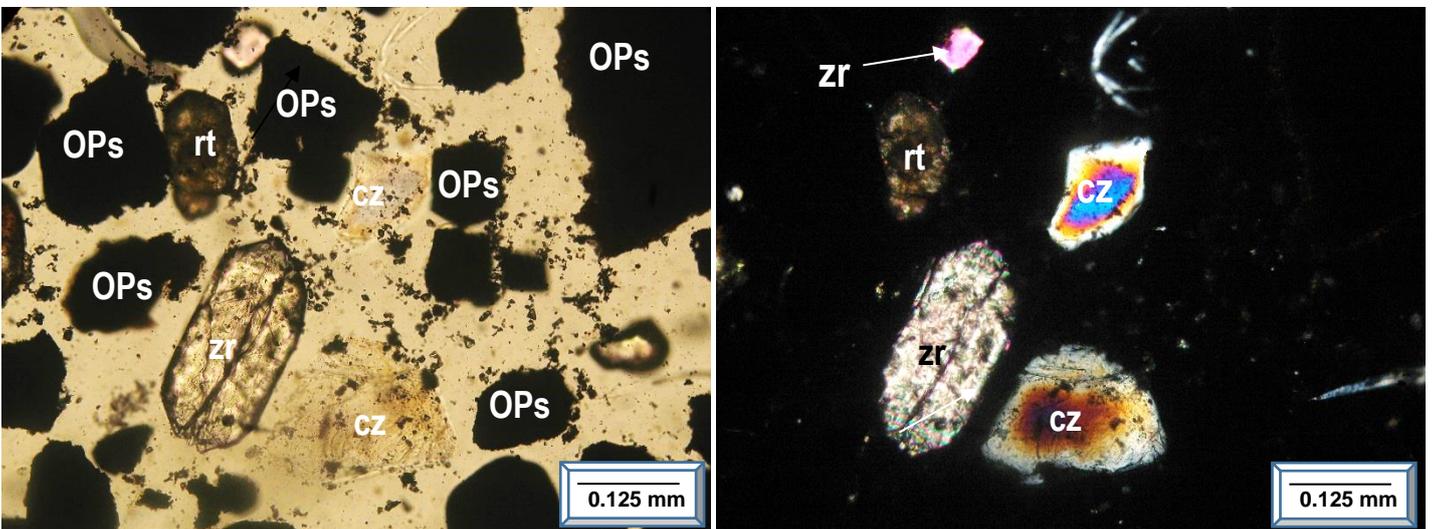
Microfotografía n° 2. PETROGRAFIA. NX
Vista panorámica, los granos libres de minerales opacos se ven negros y se confunden con la briqueta, granos euhedrales de zircón (zr), de cuarzo (cz), de rutilo (rt) y de arcillas (ARCs).

Microfotografía n° 3. PETROGRAFIA. NX
Grano mixto de arcillas (ARCs) y minerales opacos (OPs) como inclusiones dentro del agregado de arcillas.

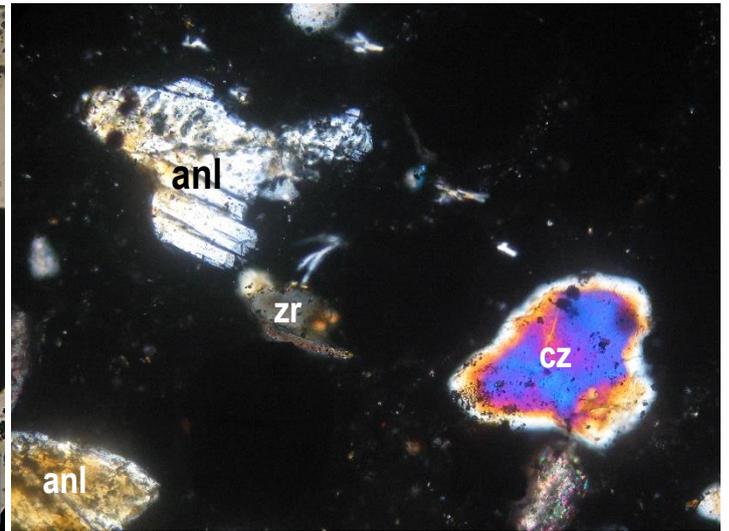
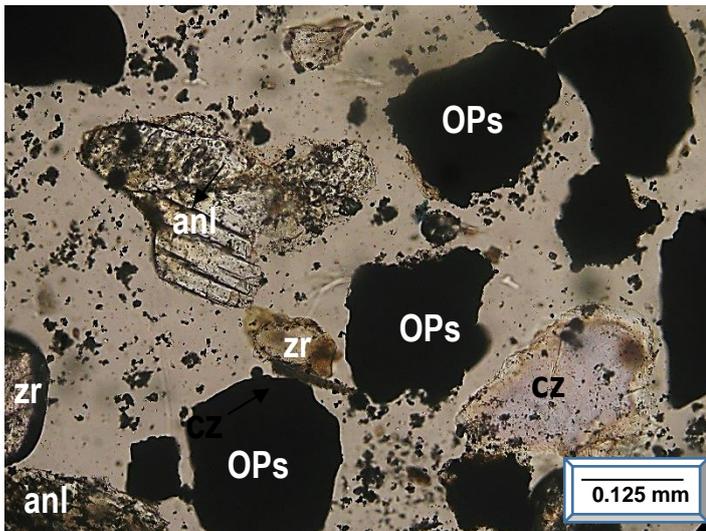




Microfotografía nº 4. PETROGRAFIA. N// y NX
 Numerosos granos de minerales opacos (OPs); granos euhedrales de zircón (zr) de relieve alto, grano de rutilo (rt) y de cuarzo (cz).

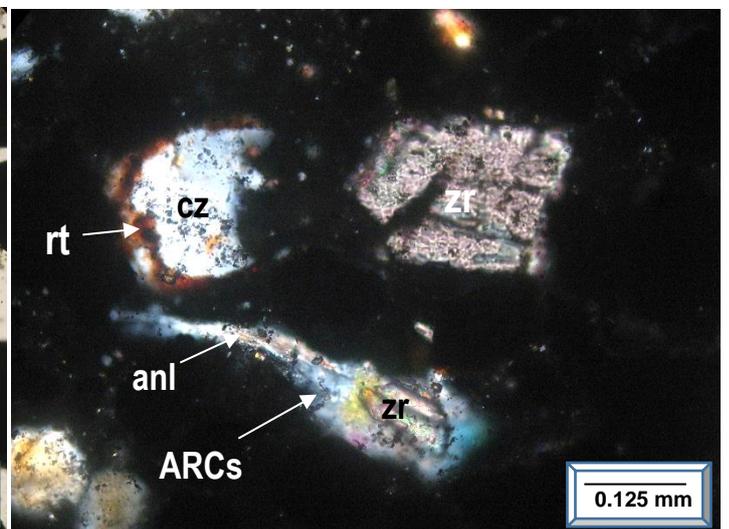
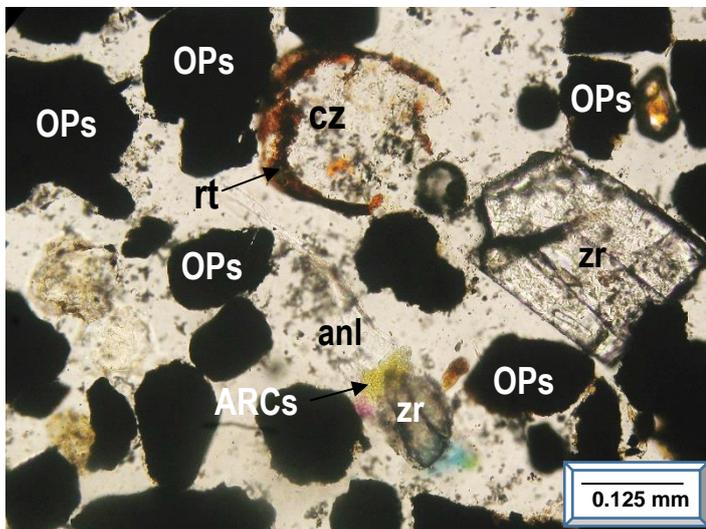


Microfotografía nº 5. PETROGRAFIA. N// y NX
 Granos de cuarzo (cz) anhedrales y libres, grano de zircón de relieve muy alto (zr), grano de rutilo (rt), granos de minerales opacos (OPs).



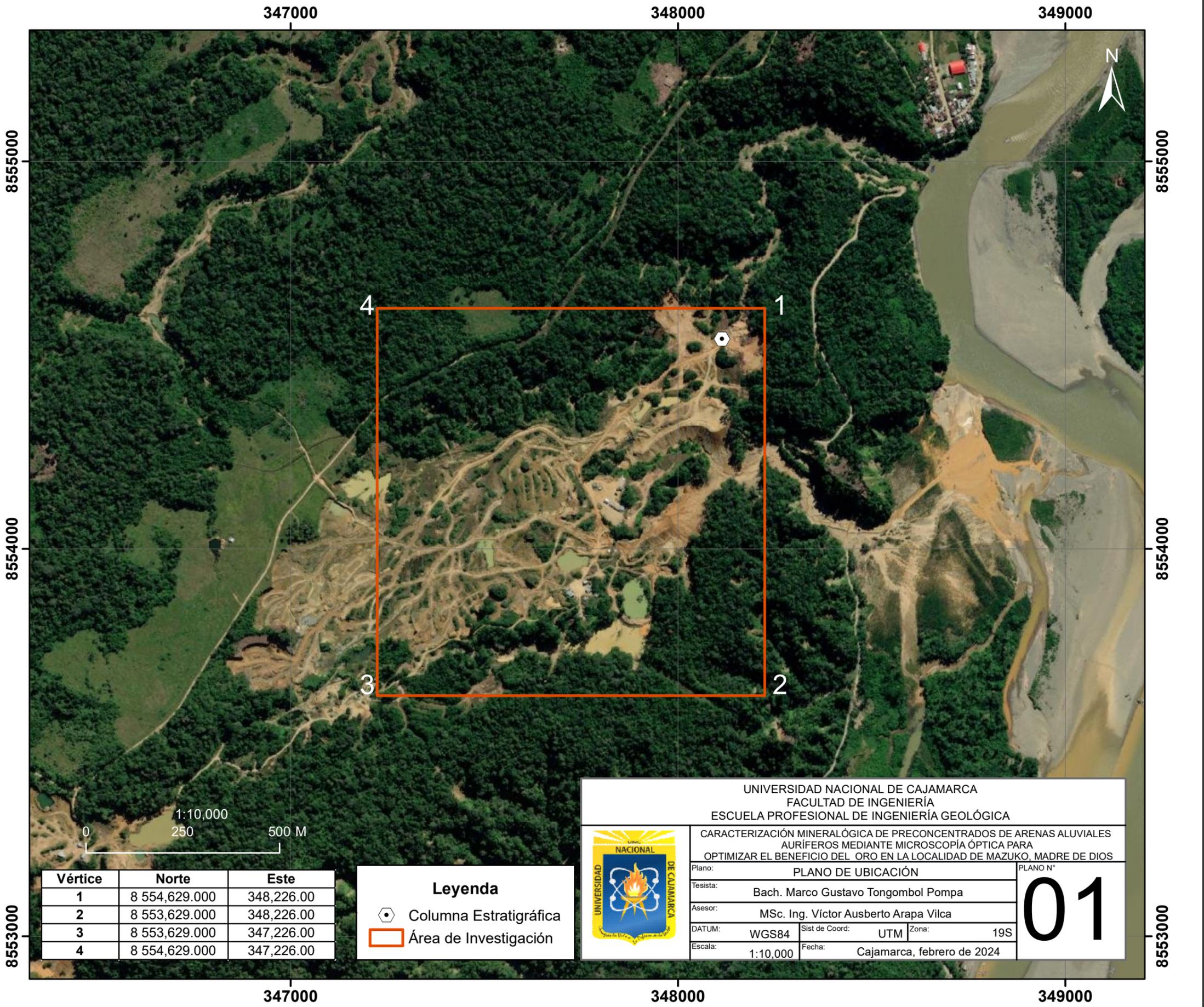
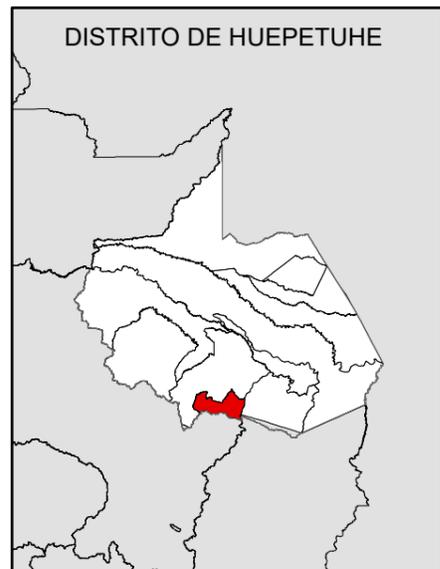
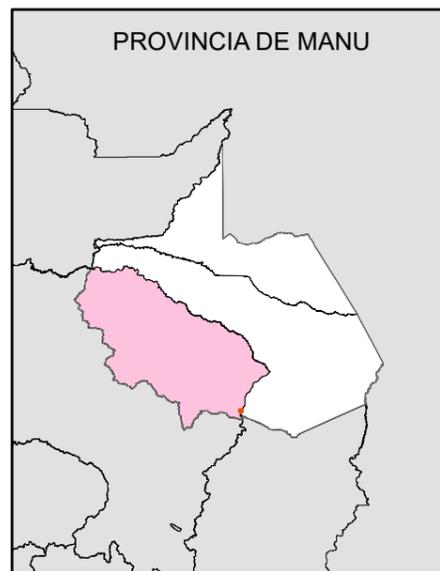
Microfotografía nº 6. PETROGRAFIA. N// y NX

Grano libre de andalucita (and), se ve el clivaje, grano libre de cuarzo (cz), grano libre de zircón (zr). El resto son granos de minerales opacos (OPs).



Microfotografía nº 7. PETROGRAFIA. N// y NX

Grano de zircón (zr), y granos mixtos de: arcillas-zircón-andalucita (ARCs-zr-and), cuarzo-rutilo.



Vértice	Norte	Este
1	8 554,629.000	348,226.00
2	8 553,629.000	348,226.00
3	8 553,629.000	347,226.00
4	8 554,629.000	347,226.00

Leyenda

- Columna Estratigráfica
- Área de Investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE DE DIOS

Plano:	PLANO DE UBICACIÓN		PLANO N°
Tesista:	Bach. Marco Gustavo Tongombol Pompa		
Asesor:	MSc. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca		
DATUM:	WGS84	Sist de Coord:	UTM Zona: 19S
Escala:	1:10,000	Fecha:	Cajamarca, febrero de 2024

01





340000 345000 350000 355000



8555000

8555000

4
1
3
2

Mazuko

855000

855000

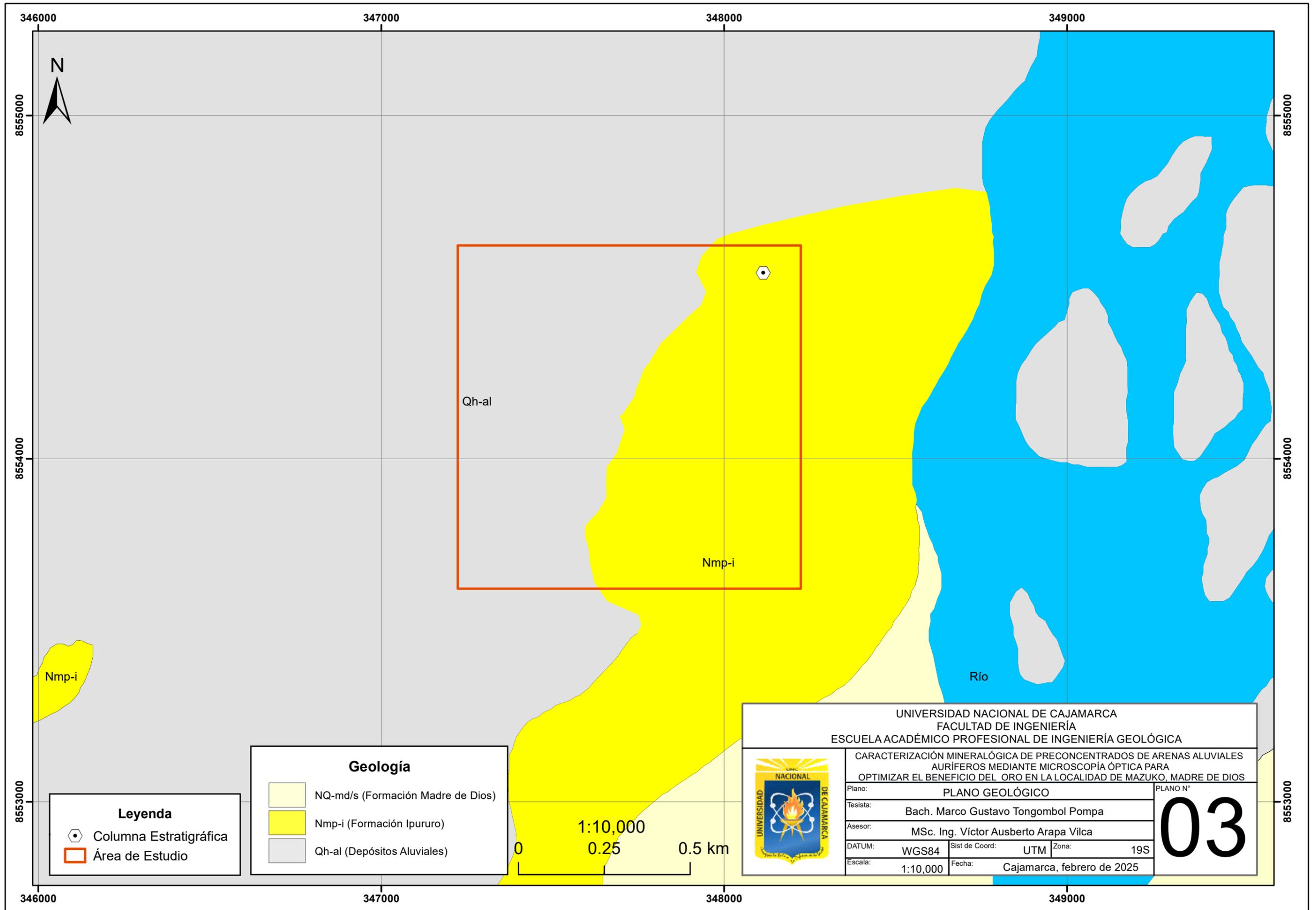
1:50,000
0 1.25 2.5 km

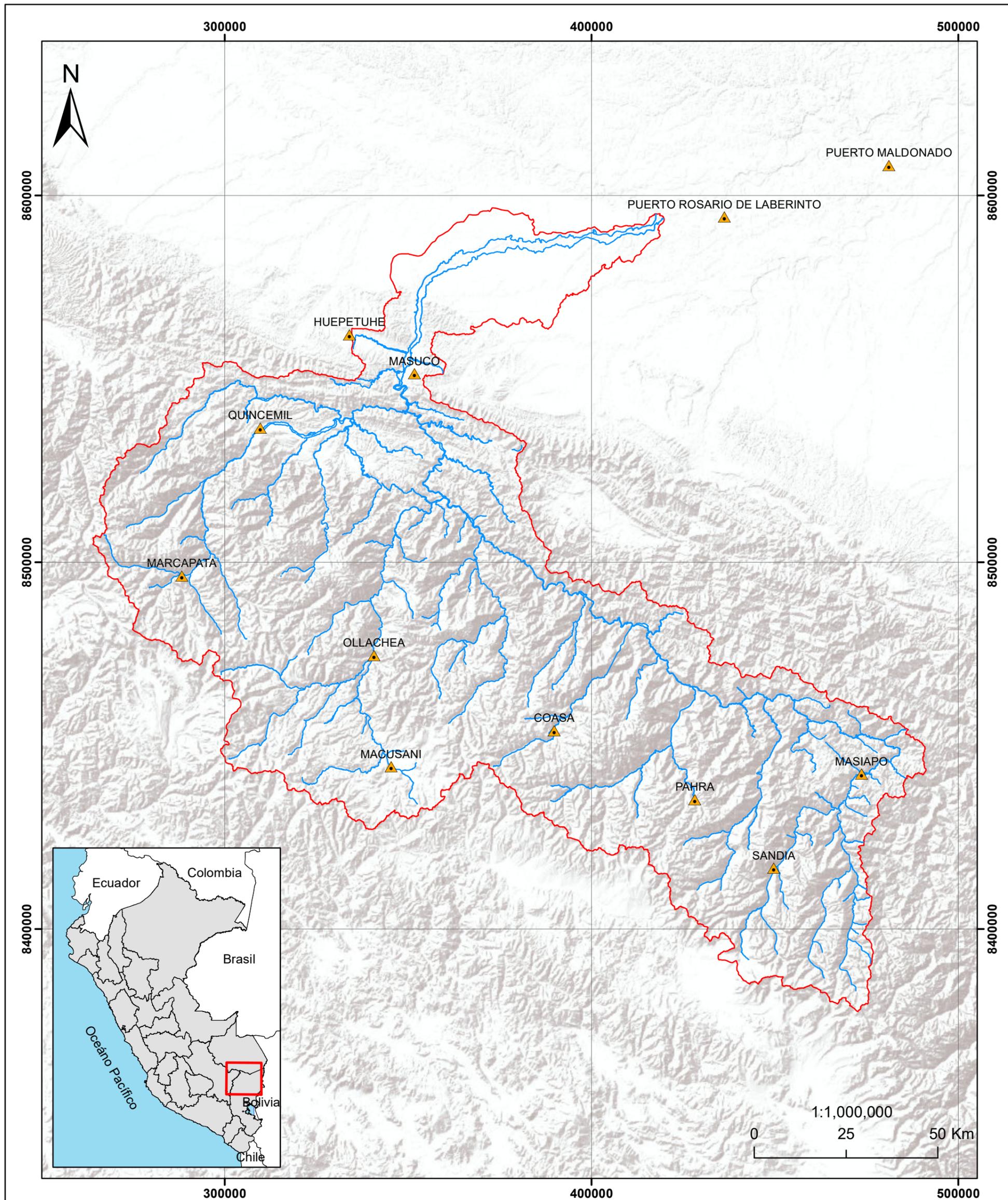
Leyenda

- Ciudad
- Vías de acceso
- Corredor Minero
- Área de Investigación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE DE DIOS			
Plano:	IMAGEN SATELITAL		PLANO N°
Tesista:	Bach. Marco Gustavo Tongombol Pompa		
Asesor:	MSc. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca		
DATUM:	WGS84	Sist de Coord:	UTM Zona: 19S
Escala:	1:50,000	Fecha:	Cajamarca, febrero de 2025
			02

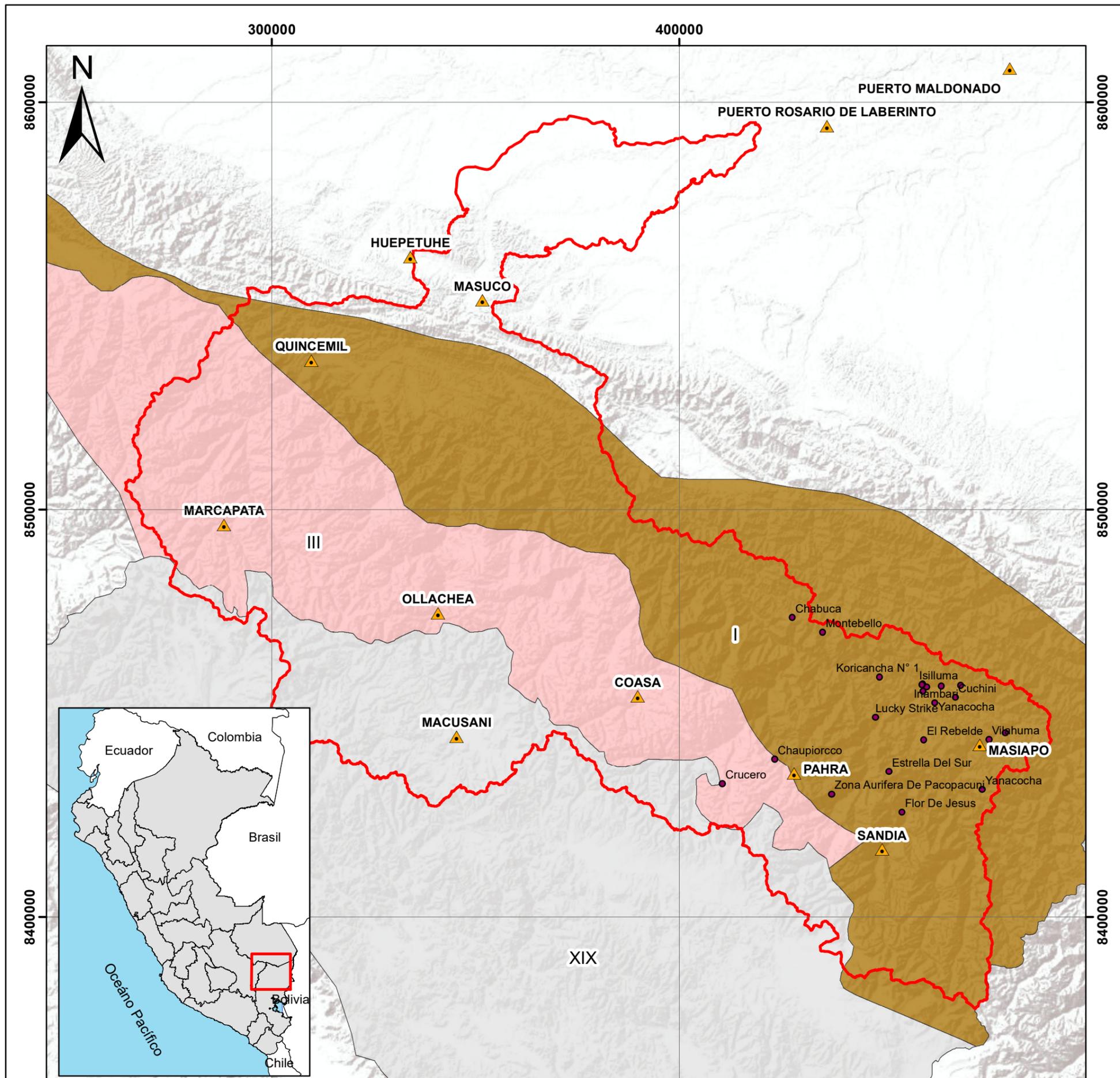
340000 345000 350000 355000





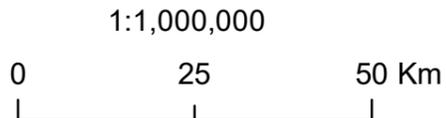
Leyenda	
	Distritos
	Ríos
	Cuenca Inambari

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE DE DIOS			
Plano:	CUENCA DE INAMBARI		PLANO N°
Tesista:	Bach. Marco Gustavo Tongombol Pompa		04
Asesor:	MSc. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca		
DATUM:	WGS84	Sist de Coord: UTM	
Escala:	1:1,000,000	Fecha:	Cajamarca, febrero de 2025

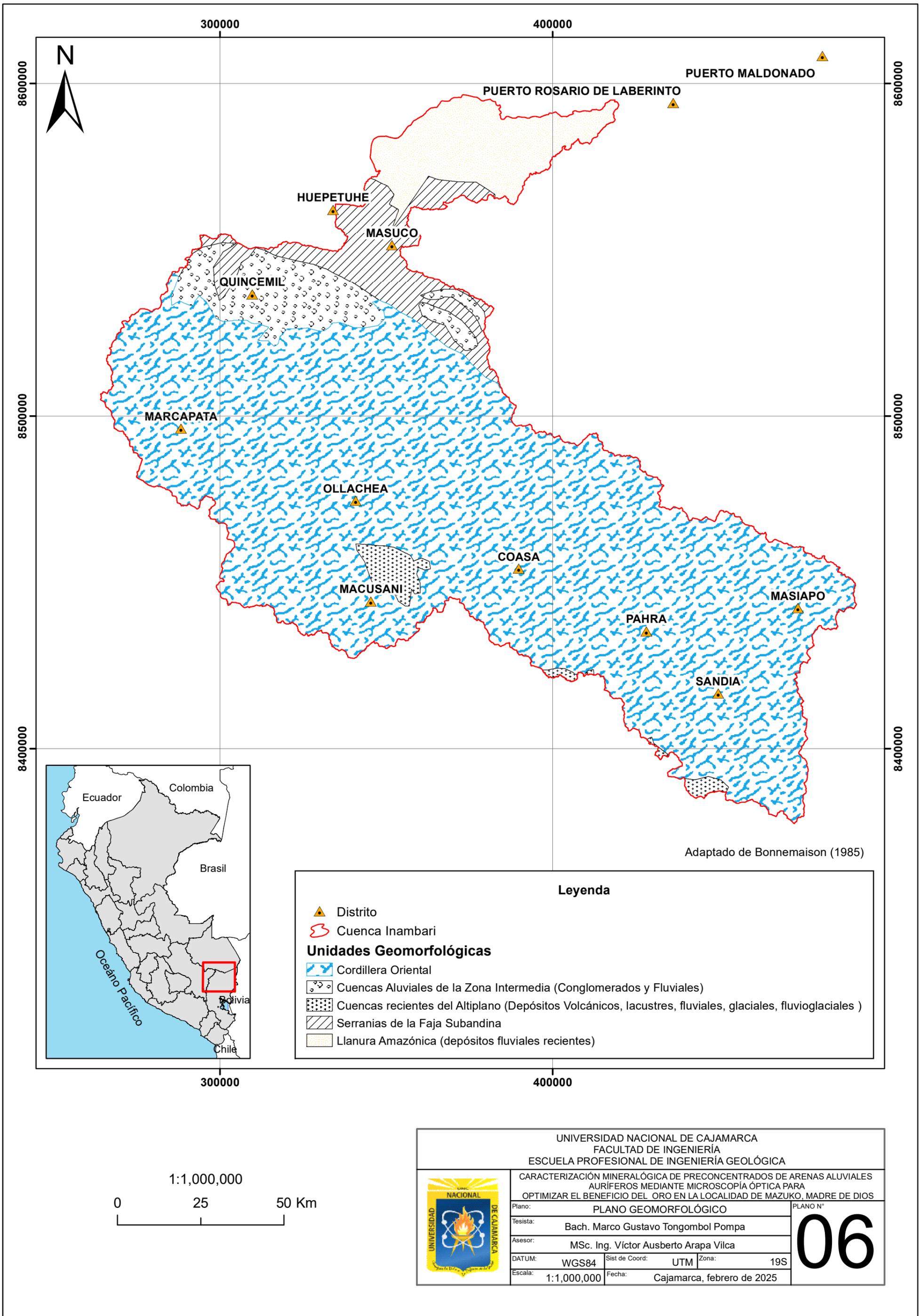


Leyenda

- Yacimientos
- ▲ Distrito
- Cuenca de Inambari
- Franjas Metalogénicas**
- I - Franja de Au en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico y Silúrico-Devónico
- III - Franja de depósitos de Li- U-W-Sn-Mo, Au-Cu-Pb-Zn relacionados con intrusivos y pórfidos-skarn de Cu-Ag del Pérmico Triásico
- XIX - Franja de depósitos de Sn-Cu-W relacionados con intrusivos del Oligoceno-Mioceno y epitermales de Ag-Pb-Zn (Au)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE DE DIOS			
	Plano: FRANJAS METALOGÉNICAS		PLANO N° <h1 style="font-size: 48px; margin: 0;">05</h1>
	Tesisista: Bach. Marco Gustavo Tongombol Pompa		
	Asesor: MSc. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca		
	DATUM: WGS84	Sist de Coord: UTM	
Escala: 1:1,000,000		Fecha: Cajamarca, febrero de 2025	



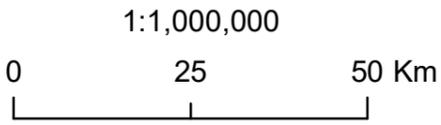
Adaptado de Bonnemaïson (1985)

Leyenda

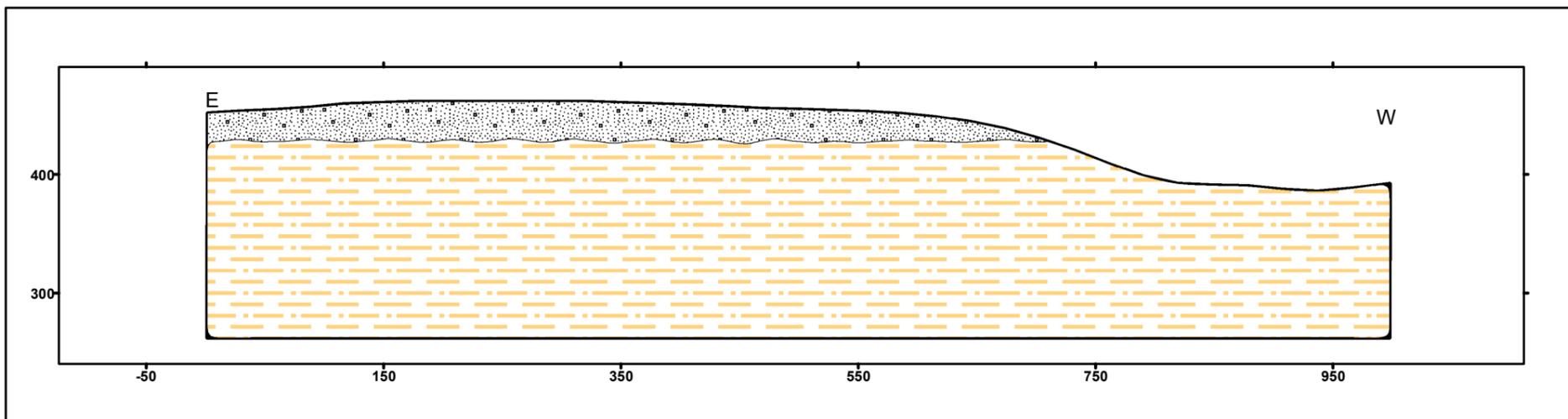
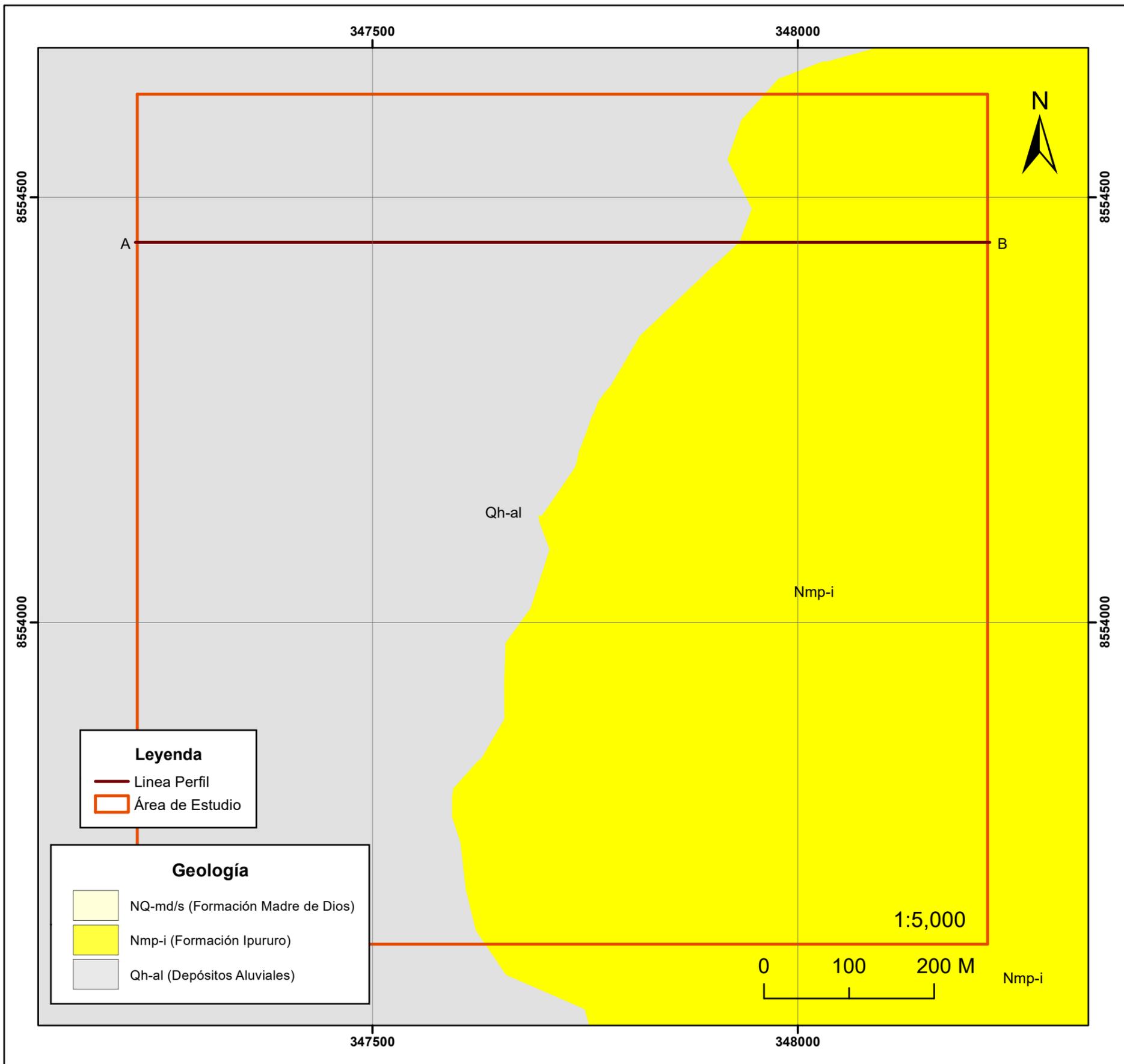
- Distrito
- Cuenca Inambari

Unidades Geomorfológicas

- Cordillera Oriental
- Cuencas Aluviales de la Zona Intermedia (Conglomerados y Fluviales)
- Cuencas recientes del Altiplano (Depósitos Volcánicos, lacustres, fluviales, glaciales, fluvio-glaciales)
- Serranias de la Faja Subandina
- Llanura Amazónica (depósitos fluviales recientes)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE DE DIOS			
	Plano: PLANO GEOMORFOLÓGICO		PLANO N°
	Tesisista: Bach. Marco Gustavo Tongombol Pompa		06
	Asesor: MSc. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca		
	DATUM: WGS84	Sist de Coord: UTM	
Escala: 1:1,000,000	Fecha: Cajamarca, febrero de 2025		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PRECONCENTRADOS DE ARENAS ALUVIALES AURÍFEROS MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA OPTIMIZAR EL BENEFICIO DEL ORO EN LA LOCALIDAD DE MAZUKO, MADRE DE DIOS			
	Plano: PERFIL GEOLÓGICO		PLANO N°
	Tesis: Bach. Marco Gustavo Tongombol Pompa		07
Asesor: MSc. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca			
DATUM: WGS84	Sist de Coord: UTM	Zona: 19S	
Escala: 1:5,000	Fecha: Cajamarca, febrero de 2025		