

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

**“CARACTERIZACIÓN DE ORO Y MINERALES DE TIERRAS
RARAS EN DEPÓSITOS FLUVIALES TIPO PLACER
DEL RÍO MADRE DE DIOS”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR
PERCY ANGEL LEDESMA ARISTA**

**ASESOR
Dr. Ing. LUIS HUMBERTO CHIRIF RIVERA**

LIMA-PERU

2021

DEDICATORIA

Dedico esta investigación con mucho cariño a toda mi familia: a mis padres Fernando y Betty, a mis hermanos Fernando, Alan y Valentina y a mi querida esposa Zareli. Gracias a ustedes por su apoyo constante, esfuerzo y paciencia que me han permitido desarrollarme como profesional y haber alcanzado mis objetivos.

Estaré agradecido siempre.

.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado con mucha dedicación a lo largo de todas sus etapas, siempre con los consejos y guía de mi profesor Dr. Ing. Humberto Chirif, que me apoyó con su valioso tiempo para lograr los objetivos del presente trabajo. Agradezco el apoyo del profesor Dr. Ing. Juan Carlos Rodríguez que me ayudó con la realización de este trabajo, a Concytec que financió la investigación. Un especial reconocimiento a la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) que me brindó las instalaciones y asesoría con personal profesional siempre a disposición para desarrollar satisfactoriamente la investigación.

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en un tramo del río Madre de Dios en la provincia de Manu de la región Madre de Dios, correspondiente a la Llanura Amazónica. Se identificaron los minerales de tierras raras y oro presentes en los depósitos fluviales y residuos mineros, también se caracterizó el grado de libertad en el que se presentan.

La composición mineralógica de los depósitos fluviales está relacionada con la mineralogía de las rocas por donde discurren los ríos. El oro presente en las vetas de cuarzo de las anfibolitas del Complejo Iscaybamba y también los batolitos de Aricoma, Limbani, Coasa, y diversos intrusivos de composición granítica a monzonítica de afinidad alcalina a peraluminosa (los intrusivos peralcalinos presentan inclusiones de minerales de tierras raras en cuarzo) son disgregados y transportados por los ríos Marcapata, Inambari, Malinowsky y Colorado hasta su desembocadura en el río Madre de Dios, formando depósitos tipo placer.

Para realizar la caracterización se tomaron muestras de sedimentos de depósitos fluviales de barras de punto, barras longitudinales, colas de islas, terrazas y residuos mineros. Las muestras fueron lavadas para retirar las partículas muy finas que se adhieren en la superficie de minerales más gruesos, posteriormente fueron concentrados mediante granulometría, gravimetría y separación magnética (para retirar magnetita). Finalmente, se realizaron los análisis mineralógicos mediante uso de un estereomicroscopio, microscopio de polarización, análisis químicos multielementales y Difractometría de Rayos X.

El único mineral portador de tierras raras, detectado en la investigación, fue la monacita. En los sedimentos de granulometrías menores a 100 μm es posible encontrar monacita libre y en mayores a 100 μm es posible encontrarla incluida en cuarzo.

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). Además, los residuos mineros presentaron leyes de tierras raras totales de 0.68%, considerado rentable, lo que permitió plantear una recuperación ecológica y rentable de monacita de los residuos mineros, recuperando el medio ambiente.

Se presenta una propuesta de recuperación rentable y ecológica con visión de recuperación de terrenos impactados por la minería aurífera y se ha estimado que, con la compra de máquinas concentradoras, maquinaria pesada, gastos de instalación, logística de operaciones, personal de trabajo y costos ambientales se puede invertir cerca de \$ 704,390 para trabajar 100 t de residuos mineros por día durante un año y, considerando el precio de la monacita de \$ 24,300 por tonelada, se puede obtener una ganancia de \$ 782,770.

ABSTRACT

This research was developed in a section of the Madre de Dios River in the Manu province of the Madre de Dios region, corresponding to the Amazon Plain. The rare earth minerals and gold present in the fluvial deposits and mining residues were identified, the degree of freedom in which they occur was also characterized.

The mineralogical composition of the fluvial deposits is related to the mineralogy of the rocks through which the rivers flow. The gold present in the quartz veins of the amphibolites of the Iscaybamba Complex and also the batholiths of Aricoma, Limbani, Coasa, and various intrusives of granitic to monzonitic composition with alkaline to peraluminous affinity (the alkaline intrusives present inclusions of rare earth minerals in quartz) are broken up and transported by the Marcapata, Inambari, Malinowsky and Colorado rivers to their mouth in the Madre de Dios River, forming placer-type deposits.

To carry out the characterization, sediment samples were taken from fluvial deposits of point bars, longitudinal bars, island tails, terraces and mining residues. The samples were washed to remove very fine particles that adhere to the surface of coarser minerals, later they were concentrated by means of granulometry, gravimetry and magnetic separation (to remove magnetite). Finally, mineralogical analyzes were carried out using a stereomicroscope, polarization microscope, multi-element chemical analysis and X-ray diffractometry.

The only rare earth mineral detected in this research was monazite. In sediments with granulometries less than 100 μm it is possible to find free monazite and in greater than 100 μm it is possible to find it included in quartz.

The fluvial deposits with the highest total rare earth grades were the point bars (0.27%) and the island tails (0.43%), in addition, higher rare earth grades were detected in the dry season (0.37% for bars of point and 0.93% for the tails of the islands). In addition, mining residues presented total rare earth grades of 0.68%, considered profitable, which allowed to propose an ecological and profitable recovery of monazite from mining residues, recovering the environment.

A profitable and ecological recovery proposal is presented with a vision of recovering land impacted by gold mining and it has been estimated that, with the purchase of concentrating machines, heavy machinery, installation expenses, operations logistics, work personnel and environmental costs It is possible to invest about \$ 704,390 to work 100 tons of mining residues per day for a year and, considering the price of monazite of \$ 24,300 per ton, a profit of \$ 782,770 can be obtained.

PRÓLOGO

En esta investigación se busca aportar información sobre otros recursos económicos de la región amazónica, a parte del oro, no con una idea de afectar al medio ambiente, sino al contrario. Al tener mayor información de los recursos, se puede realizar mejores planteamientos de recuperación eficiente que incluya el cuidado del medio ambiente, debido a que, los residuos mineros también pueden contener minerales económicos que podrían ser aprovechados de manera ecológica y con un enfoque de recuperación de terrenos impactados por la minería aurífera.

La tesis se realizó en 6 capítulos. En el capítulo I corresponde a la Introducción de la tesis, se muestra información general de la investigación y zona de estudio, así como también, los objetivos e hipótesis. En el capítulo II, se desarrolla el marco teórico que abarca los antecedentes, y bases teóricas en las que se sustenta la tesis. En el Capítulo III, se muestra el marco geológico en el que se desarrolla la investigación. En el Capítulo IV se detallan las investigaciones mineralógicas donde se aplica la metodología establecida. En el Capítulo V se desarrolla el análisis de resultados de la investigación. Finalmente el Capítulo VI muestra una propuesta ingenieril, basado en la información producto de la investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
PRÓLOGO	vii
ÍNDICE	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xv
CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Ubicación y accesibilidad	1
1.3 Clima y vegetación	2
1.4 Planteamiento del problema	4
1.4.1 Formulación del problema	4
1.4.2 Justificación de la investigación	4
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo general	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
1.6 Hipótesis	5
1.6.1 Hipótesis general	5
1.6.2 Hipótesis específicas	5
CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO	6

2.1	Antecedentes referenciales	6
2.1.1	Antecedentes internacionales	6
2.1.2	Antecedentes nacionales	10
2.2	Bases Teóricas	16
2.2.1	Minerales de tierras raras	16
2.2.2	Grado de libertad de los minerales	19
2.2.3	Recuperación ecológica de minerales	20
2.3	Definiciones básicas	22
2.4	Metodología de estudio	23
2.4.1	Identificación de depósitos fluviales y muestreo de sedimentos	24
2.4.2	Concentración de minerales	25
2.4.3	Análisis mineralógicos	26
2.5	Normas y reglamentaciones Medio Ambientales	27
	CAPÍTULO III - MARCO GEOLÓGICO	30
3.1	Fisiografía	30
3.2	Estratigrafía	33
3.3	Geología	37
3.4	Hidrografía e hidrogeología	38
	CAPÍTULO IV - INVESTIGACIONES MINERALÓGICAS	40
4.1	Depósitos fluviales y muestreo de sedimentos	40
4.1.1	Depósitos fluviales	40
4.1.2	Muestreo de sedimentos	43
4.2	Análisis mineralógico	46
4.2.1	Concentración de minerales	48

4.2.2	Análisis químicos	53
4.2.3	Análisis mineralógicos	60
CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS		73
5.1	Tierras raras y oro en depósitos fluviales y residuos mineros	73
5.2	Grado de libertad de la monacita y zircón	78
5.3	Otros resultados	79
CAPÍTULO VI PROPUESTA INGENIERIL		81
6.1	Concentración gravimétrica	82
6.2	Separación magnética	85
6.3	Procesos químicos	86
6.4	Propuesta	87
6.4.1	Recuperación de monacita de residuos mineros	87
6.4.2	Presupuesto de la propuesta	88
6.4.3	Problemas ambientales de la propuesta	91
6.4.4	Recuperación de tierras raras de los residuos mineros y remediación en Madre de Dios	91
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES		96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		98
ANEXOS		
Anexo 1	Mapas	
Anexo 2	Reportes de laboratorio	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Ubicación y acceso de la zona de estudio	2
Figura 1.2	Lluvia en el río Madre de Dios, marzo del 2019	3
Figura 1.3	Vegetación de la zona de estudio	3
Figura 2.1	Distribución de depósitos de tierras raras en el mundo y minas	8
Figura 2.2	Abundancia de elementos químicos	18
Figura 2.3	Esquema de grados de libertad de minerales	20
Figura 2.4	Esquema de la trayectoria de un río	22
Figura 2.5	Esquema de concentración de minerales de interés	24
Figura 3.1	Relieve topográfico regional de la zona de estudio	31
Figura 3.2	Cordillera Oriental, Carabaya, Puno	31
Figura 3.3	Imagen representativa de zona subandina	32
Figura 3.4	Llanura Amazónica, río Madre de Dios	33
Figura 3.5	Columna estratigráfica Generalizada	35
Figura 3.6	Mapa geológico	36
Figura 3.7	Principales afluentes del río Madre de Dios	38
Figura 3.8	Mapa Hidrogeológico regional	39
Figura 4.1	Depósitos fluviales de la zona de estudio	41
Figura 4.2	Depósito fluvial de barra de punto	42
Figura 4.3	Depósito fluvial de isla	42
Figura 4.4	Depósitos fluviales de barra longitudinal	42
Figura 4.5	Depósitos fluviales de terrazas	42
Figura 4.6	Cocha Lagarto	43

Figura 4.7	Muestreo de sedimento de los depósitos fluviales	43
Figura 4.8	Residuos mineros y labores mineras	44
Figura 4.9	Formación de grupos	46
Figura 4.10	Técnica de lavado	49
Figura 4.11	Sedimentos gruesos separados de los finos	49
Figura 4.12	Granulometría de las muestras en porcentajes	51
Figura 4.13	Proceso de concentración gravimétrica por bateo	52
Figura 4.14	Proceso de separación magnética	52
Figura 4.15	Contenido de oro de los grupos	56
Figura 4.16	Contenido de lantano	57
Figura 4.17	Contenido de cerio	57
Figura 4.18	Contenido de neodimio	58
Figura 4.19	Contenido de praseodimio	58
Figura 4.20	Contenido de samario	59
Figura 4.21	Coloración de las muestras de los grupos	61
Figura 4.22	Coloración de los sedimentos en las fracciones granulométricas	61
Figura 4.23	Vista al estereomicroscopio de granos en las mallas 140 y 400	62
Figura 4.24	Vista al estereomicroscopio del concentrado final, grupo G1	63
Figura 4.25	Vista al estereomicroscopio del concentrado final, grupo G4	63
Figura 4.26	Vista al estereomicroscopio del concentrado final	64
Figura 4.27	Vista de minerales del concentrado del grupo G1 - 1° campaña	65
Figura 4.28	Minerales del concentrado del grupo G1 - 1° campaña	65
Figura 4.29	Vista de minerales del concentrado del grupo G1 - 2° campaña	66
Figura 4.30	Minerales del concentrado del grupo G1 - 2° campaña	66

Figura 4.31	Vista de minerales del concentrado del grupo G4 – 1° campaña	67
Figura 4.32	Minerales del concentrado del grupo G4 - 1° campaña	67
Figura 4.33	Vista de los minerales del concentrado del grupo G4 - 2° campaña	68
Figura 4.34	Minerales del concentrado del grupo G4 - 2° campaña	68
Figura 4.35	Vista de minerales de concentrado, grupo G6 – residuos mineros	69
Figura 4.36	Minerales del concentrado del grupo G6 – residuos mineros	69
Figura 4.37	Resumen de concentrado y análisis mineralógico	72
Figura 5.1	Monacita incluida en cuarzo	74
Figura 5.2	Identificación de minerales vs reporte de DRX	75
Figura 5.3	Leyes de tierras raras totales por de los grupos	76
Figura 5.4	Reporte de análisis químico por AAS de muestras de concentrado	77
Figura 5.5	Vista de zircón en microscopio de polarización	78
Figura 5.6	Vista de monacita en microscopio de polarización	78
Figura 6.1	Sistema de concentración gravimétrica por canaletas (alfombras)	82
Figura 6.2	Empleo de canaletas por mineros de Madre de Dios	82
Figura 6.3	Jigs para concentración gravimétrica de sedimentos	83
Figura 6.4	Empleo de Jigs	83
Figura 6.5	Mesa concentradora por vibración Wilfley.	84
Figura 6.6	Empleo de la mesa concentradora Wilfley	84
Figura 6.7	Concentrador centrífugo	85
Figura 6.8	Instalación de planta concentradora centrífuga.	85
Figura 6.9	Separador magnético de tierras raras.	86
Figura 6.10	Diagrama de flujo del proceso en la planta china Yao Lung	87
Figura 6.11	Óxidos de tierras raras	87

Figura 6.12	Cambios en el relieve por extracción de sedimentos	92
Figura 6.13	Esquema de relleno de terreno afectado por la actividad minera	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Producción minera y reservas mundiales de tierras raras	7
Tabla 2.2	Elementos de tierras raras y su agrupación según la IUPAC	17
Tabla 4.1	Relación de muestras y descripción	45
Tabla 4.2	Agrupación de muestras	47
Tabla 4.3	Pesajes y porcentajes del lavado de muestras	50
Tabla 4.4	Granulometría de las muestras y pesaje	50
Tabla 4.5	Gravimetría, separación magnética y concentrado final	52
Tabla 4.6	Resultados de las correcciones de leyes de oro	54
Tabla 4.7	Resultados de análisis químicos realizados a los grupos	55
Tabla 4.8	Ley de tierras raras totales	59
Tabla 4.9	Registro de densidades	60
Tabla 4.10	Descripción de minerales en vista estereomicroscópica	64
Tabla 4.11	Resultados del análisis de difracción de rayos X	70
Tabla 4.12	Resultados del análisis multielemental	71
Tabla 6.1	Tamaño de partículas de los equipos concentradores	82
Tabla 6.2	Presupuesto de operación minera para de tierras raras	89
Tabla 6.3	Ganancia por año de producción	90
Tabla 6.4	Ganancia estimada por operación minera	90

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Existen diversos reportes aislados de presencia de tierras raras en los depósitos de placer de Madre de Dios. Tratándose de elementos valiosos y de gran importancia tanto económica como estratégica para cambiar la situación minera y ambiental en la región, se hace necesario investigar y caracterizar los minerales portadores de tierras raras presentes.

1.2 Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio se ubica en las riberas del río Madre de Dios, en la provincia de Manu y en la región de Madre de Dios, en un tramo de 30 km del río Madre de Dios, comenzando a 10 km al este de la Estación Biológica Los Amigos (EBLA) hasta 20 km al oeste de la misma. Para acceder al lugar se viaja por automóvil desde Puerto Maldonado hasta Laberinto por la carretera Interoceánica sur (aproximadamente 45 km). Seguidamente se dirige por aguas arriba del río Madre de Dios en bote, hasta la Estación Biológica Los Amigos de ACCA a 58 km de distancia. La Figura 1.1 muestra el recorrido realizado y la ubicación de la zona de estudio. El mapa de ubicación se muestra en el anexo 1.

Las coordenadas UTM (Datum WGS-84, zona 19 S) de los vértices de la zona de estudios, que se muestran en la figura 1.1, son los siguientes:

- V1: 367691 E , 8612639 N
- V2: 397312 E, 8612782 N
- V3: 397392 E, 8599701 N
- V4: 367758 E, 8599567 N

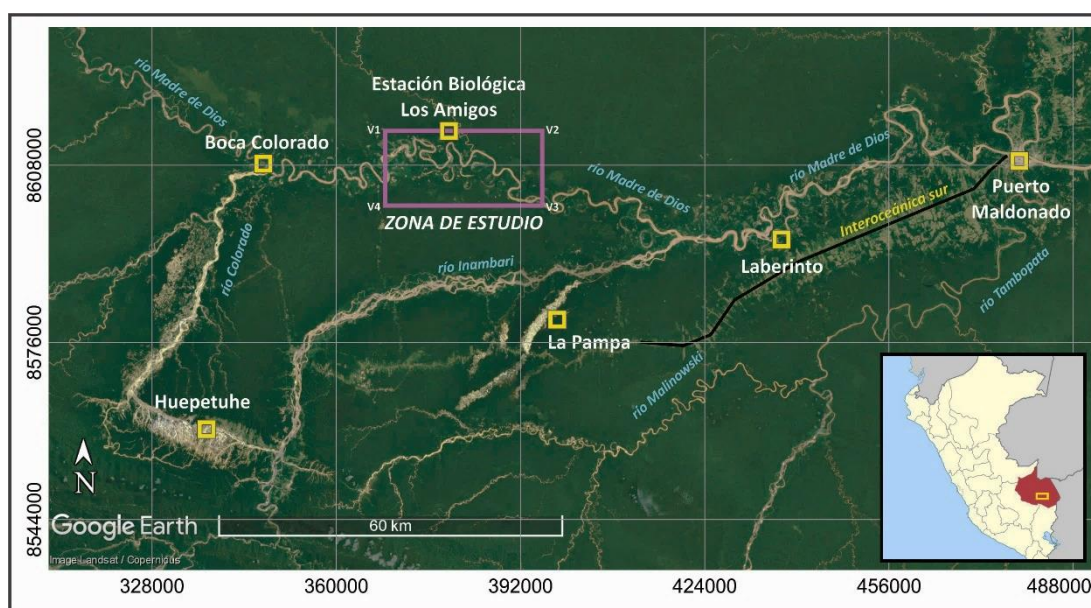


Figura 1.1. Ubicación y acceso de la zona de estudio.

Fuente: Google Earth

1.3 Clima y vegetación

La zona de estudio se ubica en la Llanura Amazónica de la región Madre de Dios, la temperatura se incrementa de Suroeste a Noreste, presentando una temperatura promedio anual de 23°C en la parte Suroeste y 26°C en la parte Noreste. Por el contrario, las precipitaciones pluviales incrementan de Noreste a Suroeste, presentando una precipitación pluvial de 1,700 mm en el sector Noreste, aguas abajo del río Madre de Dios, ver figura 1.2, mientras que en la parte Suroeste, estribaciones de la Sierra de Carabaya, presentan una precipitación de 4,000 mm. La temporada de

mayores lluvias se da entre los meses de diciembre y marzo. Así mismo, la humedad relativa incrementa de la parte Noreste (72%) a Suroeste (79%) (Palacios et al., 1996).



Figura 1.2. Lluvia en el río Madre de Dios, marzo del 2019.
Fuente: Elaboración propia.

La vegetación se caracteriza por la abundante presencia de árboles, hierbas y arbustos y/o palmares de ambientes pantanosos, entre los cuales se encuentran la castaña, siringa y paca. También se encuentran bosques de piedemonte de la zona Subandina y bosques achaparrados y matorrales de montaña, que pertenecen a la etapa madura y estable en la sucesión ecológica (series de vegetación), ver figura 1.3, (Autoridad Nacional del Agua, 2011).



Figura 1.3. Vegetación de la zona de estudio. Vista hacia una terraza alta donde se ubica la Estación Biológica Los Amigos.
Fuente: Elaboración propia.

1.4 Planteamiento del problema

Seguidamente se especifica la formulación del problema y la justificación de la investigación.

1.4.1 Formulación del problema

La actividad minera en los depósitos fluviales en Madre de Dios está enfocada principalmente a la extracción de oro, dejando de lado la recuperación de otros minerales de valor económico en sus relaves. El potencial aurífero de estos depósitos se da debido a que los ríos circulan por zonas enriquecidas en oro, pero además, también discurren por rocas intrusivas peralcalinas que presentan contenidos de tierras raras. Entonces, ¿los depósitos fluviales y relaves mineros del río Madre de Dios, pueden presentar minerales portadores de tierras raras con características favorables para su recuperación?

1.4.2 Justificación de la investigación

Es necesario señalar e identificar que, en los depósitos fluviales, además de la presencia del oro, existen otros minerales de interés económico como los minerales de tierras raras, que tienen una demanda interesante en el mercado mundial. Además, un mejor conocimiento de las características mineralógicas de los minerales componentes de los depósitos fluviales aportará información para mejores estrategias de recuperación metalúrgica con un debido cuidado del medio ambiente evitando el uso de mercurio.

1.5 Objetivos

A continuación, se detalla el objetivo general y objetivos específicos planteados en la presente investigación.

1.5.1 Objetivo general

Identificar los minerales portadores de tierras raras en los depósitos fluviales y relaves mineros y conocer el grado de libertad que presentan para plantear una propuesta de recuperación ecológica.

1.5.2 Objetivos específicos

- Identificar los minerales portadores de tierras raras presentes en los sedimentos de los depósitos fluviales y residuos mineros del río Madre de Dios.
- Conocer el grado de libertad de los minerales portadores de tierras raras
- Proponer una recuperación de tierras raras de manera ecológica

1.6 Hipótesis

Seguidamente se detalla la hipótesis general e hipótesis específicas planteadas para la presente investigación.

1.6.1 Hipótesis general

Los depósitos fluviales y relaves mineros del río Madre de Dios presentan minerales portadores de tierras raras con características apropiadas para una recuperación ecológica.

1.6.2 Hipótesis específicas

- Es posible encontrar monacita y zircón en los sedimentos de depósitos fluviales y residuos mineros
- La monacita y zircón presentan un alto grado de libertad a partir de una determinada granulometría
- La monacita y el zircón presentan características granulométricas y mineralógicas apropiadas para una recuperación ecológica aprovechando sus propiedades físicas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes referenciales

Seguidamente se va a mostrar investigaciones de los últimos años referidos a depósitos tipo placer a nivel internacional y nacional.

2.1.1 Antecedentes internacionales

La producción mundial de óxidos de tierras raras va incrementando con los años, pasando de 190,000 toneladas en el 2018 a 210,000 en el 2019, siendo China el principal país productor con más del 60% de la producción mundial (U.S. Geological Survey, 2020), ver tabla 2.1.

Los depósitos tipo placer de monacita son conocidos en todos los continentes y son recuperados, antiguamente, como un subproducto de depósitos tipo placer en Australia, Brasil, India, Malasia, Tailandia, China, Nueva Zelanda, Sri Lanka, Indonesia, Zaire, Corea y Estados Unidos. Recientemente, la monacita se recupera de depósitos costeros y aluviales en India, Malasia, Sri Lanka, Tailandia y Brasil. En la India se viene desarrollando planes de exploración y recuperación de minerales pesados para aprovechar las tierras raras y torio de las monacitas (Sengupta y Gosen, 2016).

Tabla 2.1
Producción minera y reservas mundiales de tierras raras

País	Producción minera		Reservas
	2018	2019	
Estados Unidos	18,000	26,000	1,400,000
Australia	21,000	21	3,300,000
Brasil	1,100	1,000	22,000,000
Birmania (Myanmar)	19,000	22,000	NA
Burundi	630	600	NA
Canadá	-	-	830,000
China	120,000	132,000	44,000,000
Groenlandia	-	-	1,500,000
India	2,900	3,000	6,900,000
Madagascar	2,000	2,000	NA
Rusia	2,700	2,700	12,000,000
Sudáfrica	-	-	790,000
Tanzania	-	-	890,000
Tailandia	1,000	1,800	NA
Vietnam	920	900	22,000,000
Otros países	60	-	310,000
Total (redondeado)	190,000	210,000	120,000,000

Fuente U.S. Geological Survey, 2020.

Los principales yacimientos de placeres aluviales llegan a tener hasta 200 millones de toneladas de reserva y leyes que alcanzan el 0.1% de monacita. Estos yacimientos se encuentran en: Perak, Malasia; Chavara, India; Carolina Monazite Belt y Horse Creek, USA y Guangdong, China (Walters y Lusty, 2011), ver figura 2.1.

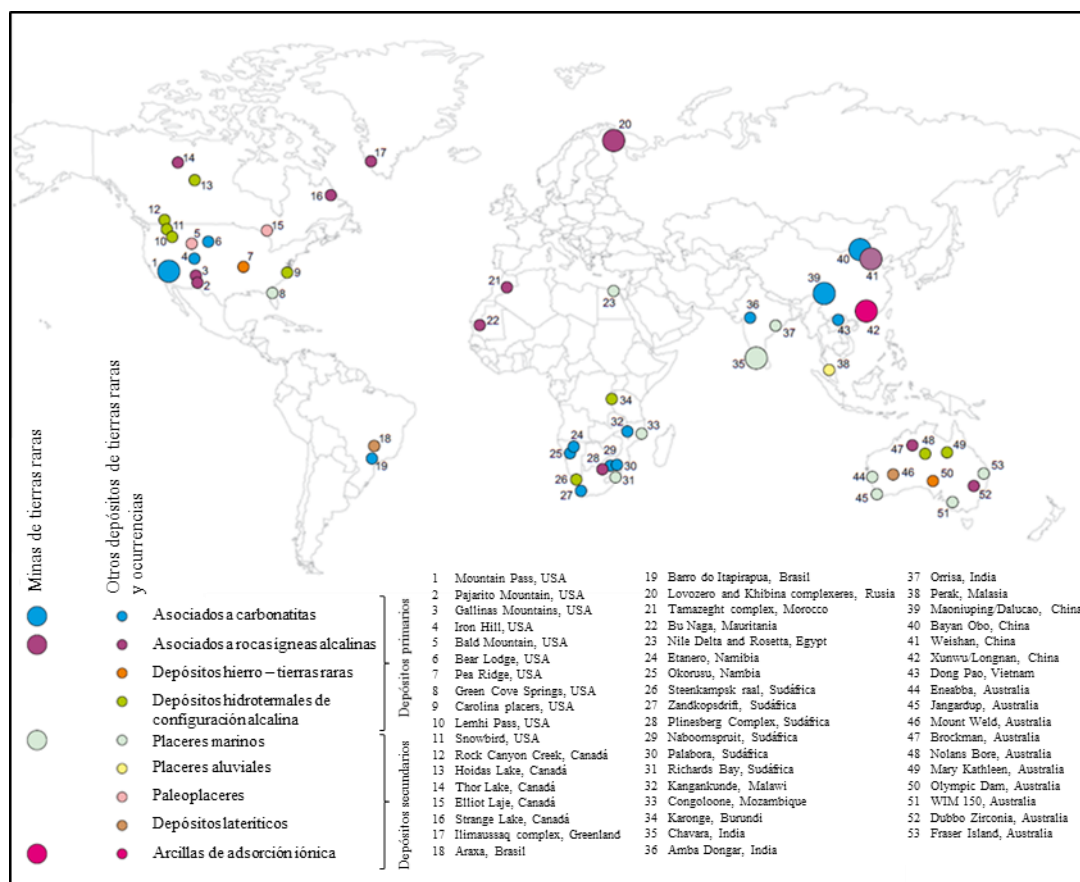


Figura 2.1. Distribución de depósitos de tierras raras en el mundo y minas.

Fuente: Walters y Lusty, 2011

En Malasia, en la provincia de Perak se encuentran placeres aluviales del cuaternario, recuperándose monacita y xenotima como subproducto de yacimientos de minerales de casiterita, ilmenita, zircón y rutilo. Se han calculado unas reservas de 30,000 toneladas de tierras raras según los hallazgos de estaño (Zainul et al., 2016).

Las reservas estimadas de monacita en India se calculan en 6.9 millones de t, la producción anual los años de 2018 y 2019 fueron 2,900 t y 3,000 t respectivamente. La monacita se recupera de los minerales pesados de las arenas, los principales productores se encuentran en Manavalakurichi, en el estado de Tamil, y Chavara, en el estado de Kerala (U.S. Geological Survey, 2020).

En Carolina del Norte y Sur en Estados Unidos, presentan placeres de monacita en los depósitos aluviales de los ríos Catawa (en el noreste) y río Savannah (en el suroeste) formando capas de sedimentos no consolidados de grava, arena, arcilla y limo arcilloso. La monacita se encuentra en las capas de gravas basales y tiene menor presencia en las de arcillas. En estos depósitos tipo placer el contenido de minerales pesados se encuentra entre 0.15% y 2.0% y la monacita se encuentra entre 3.5% y 14% de estos minerales pesados (Long et al., 2010)

En China existen extensos depósitos tipo placer de monacita en las provincias de Kwangtung y entre Chianhua Hsien en el suroeste de Hunan y Kung Chen Hsien en el noreste de Kwangsi. Antiguamente se informó la presencia de minerales pesados al sur de Shanghai, en la provincia de Guangdong y Guangxi y en la Costa de la isla de Hainan, las reservas totales de monacita se registraron en de 60,000 toneladas. Con respecto al torio no se tienen cifras oficiales de su producción, pero se estiman unas reservas de 100,000 toneladas de Th (International Atomic Energy Agency, 2019).

La pequeña minería o artesanal, también genera oportunidades laborales directas o indirectas, es un sector económico que promueve comercio y servicios relacionados a la actividad. En Ruanda, África Oriental, se desarrolla minería aurífera aluvial en pequeña escala y también artesanalmente, generando beneficios a decenas de millones de personas de manera directa e indirecta, pero esto conlleva consecuencias socioeconómicas negativas, como son el trabajo infantil y de mujeres, además de conflictos armados los cuales son más abordados en los artículos de investigación científica, pero dejan de lado los problemas ambientales que también están vinculados directamente con la minería: Alteración del paisaje, deforestación, movimientos de masas de tierra y lodo, contaminación de los recursos hídricos y del suelo. El uso de

maquinarias para el movimiento de masas de tierra ocasiona turbidez e inestabilidad en el lecho del río, cambios topográficos y del curso del río (Macháček, 2020).

De la misma manera ocurre en la India, el procesamiento de minerales pesados y de tierras raras en la costa de Chavara significó un importante aporte económico para la India, pero con consecuencias perjudiciales para el medio ambiente, la explotación de los minerales pesados y tierras raras se viene realizando desde el año 1922 en depósitos tipo placer y en 1984 se instaló la planta productora de pigmentos de dióxido de titanio, ambas actividades se realizaron liberando contaminantes al medio, involucrando el aire, agua y suelo. Esta contaminación afectó directamente a los residentes cercanos, aumentando los casos de bronquitis, asma, afecciones a la piel y cáncer. La contaminación también dañó el suelo afectando las zonas agrícolas y agua subterránea de consumo, presentan pozos con captaciones de agua no aptas para el consumo por la cantidad excesiva de contaminantes (Humsa y Srivastava, 2015).

2.1.2 Antecedentes nacionales

Las condiciones geológicas y metalogénicas del Perú son muy favorables para la formación de yacimientos metálicos, pero también para no metálicos. La principal actividad económica peruana es la venta de materia prima mineral, pero se ve afectada por las variaciones del mercado mundial en los recursos minerales más tradicionales, por ello es importante investigar otros recursos minerales de alto valor y que sean más estables en el mercado mundial.

En el río Chira (margen derecho), entre Portachuelo y Punta Pariñas, en Piura, se detectó valores comerciales para magnetita, ilmenita (1.4 %), zircón (0.5 %), oro (0.12 g/t), rutilo (0.6 %) y monacita (0.3 %). En Tacna, en el río Sama (margen izquierdo) se encontró oro de 0.22 g/t y las arenas de playa en la región contienen

valores de interés económico para oro, zircón, titanio, galio, magnetita, plata y estaño. Los ríos Inambari y Tambopata, en Madre de Dios, discurren por rocas sienitas nefelínicas, pegmatitas, granitos y gneis de alto contenido de minerales accesorios como la monacita y zircón generando un gran potencial para la explotación de minerales económicos alternativos al oro. De esta manera las playas costeras son importantes zonas prospectivas para zircón, berilo, monacita, corindón y granates, además de los depósitos fluviales de los ríos Inambari, Marcapata, Carabaya, Pachitea, Tambo, Urubamba, Santiago y Cenepa (Aranda, 1991b).

En los depósitos aluviales del río Huepetuhe y Caychive, en la región Madre de Dios, además del oro se identificaron minerales pesados como ilmenita (titanio), hematita (hierro), magnetita (hierro) y abundante zircón (zirconio). Se realizó análisis multielemental por espectrometría de emisión atómica a una muestra de arenas residuales (las que se descartan luego de haber pasado por un proceso de concentración gravimétrica mediante canales y alfombras generalmente y adicionalmente una amalgamación con mercurio para recuperar el oro), teniendo como resultados mayores contenidos de leyes para los elementos: Mg, Fe, Si, Al; cantidades de leyes intermedias para los elementos: Mn, Sn, Si, V, Ti, Zr; además detectaron en cantidades de leyes mínimas para: Eu, Th, Hf, Ga, Sc, Er, Sm, Lu, Re, muchos de estos últimos corresponden a elementos de tierras raras. Como resultado cuantitativo de la muestra se obtuvo: Au (10.83 gr/t), Ti (7.0 %), Sn (8,173 ppm), W (25 ppm). (Medina, 1991)

Los ríos Madre de Dios, Colorado, Inambari Alto, Inambari Bajo, Malinowsky, Tambopata, Azul y Chunco de la región Madre de Dios presentan contenidos de oro en las llanuras aluviales con leyes de 2 a 4 g/m³ y principalmente en las barras de punto con leyes de 200 a 500 mg/m³. En el río Madre de Dios, los mayores contenidos de

partículas de oro se encuentran entre las granulometrías 0.260 y 0.067 mm, el diámetro promedio es de 0.135 mm. Los minerales pesados más comunes son ilmenita, magnetita, hematita, zircón, y epidota. El mineral más rentable económicamente es la monacita negra, de alto contenido de europio, que se encuentra presente en todos los ríos mencionados, pero en el río Malinowsky presentó las mejores leyes, 4.7 % de monacita negra (Lanckneus, 1989).

Además del oro, también existe presencia de minerales de tierras raras en los depósitos fluviales de la región Madre de Dios. En el río Malinowsky se reportó 4.7% de presencia de monacita, 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 (Bohorquez et al., 2012).

Actividad minera

En la década de los 50 se da la primera fiebre del oro, principalmente en Tambopata y Quincemil. La segunda fiebre del oro se presenta en la década de los 70 con el incremento del precio de este metal, se llega a producir cerca de 10 toneladas de oro anuales y con esto se acrecienta la llegada de mineros a la Amazonía. En los años 80', la extracción de oro se realizaba en las playas de arena, de manera artesanal y solo en temporadas. El aumento del precio del oro en los años 90 desencadenó la tercera fiebre del oro en Madre de Dios, ocasionando una explotación sin control y de grandes extensiones, impactando de manera intensa el bosque amazónico que, hasta esos años fue la región mejor conservada de la Amazonía Peruana, comenzando la extracción del oro en la zona de Huepetuhe desarrollándose en forma continua hasta la actualidad. A partir del 2005 comienza nuevamente el incremento del precio del

dólar, llegando a su pico en el año 2011 con un precio de \$ 1 823 la onza (Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, 2020).

Impactos ambientales

Debido al incremento de la actividad minera, desde el 2004 llegan aproximadamente 300 mil a 400 mil mineros a toda la cuenca amazónica, vertiendo en los ríos cerca de 3 mil toneladas de mercurio generando contaminación en el ecosistema biodiverso de la Amazonía (Brack et al., 2011).

La región de Madre de Dios tiene la mayor deforestación a partir del 2010. Después del aumento del precio el oro, ocasionado por la recesión económica mundial del 2008 y sumado a la construcción de la carretera Inter-oceánica, hasta el 2017 se deforestaron 95,750 ha por la minería aurífera. En los últimos 8 años se dio la mayor parte de esta deforestación, 64,586 ha (64,5%) principalmente en las zonas Delta y Pampa, siendo el 2017 el año con mayor deforestación histórica (9,860 ha). La minería de tecnología artesanal es responsable del 63% de la deforestación y el 37% restante corresponde a la minería de maquinaria pesada (Centro de Innovación Científica Amazónica, 2018 b).

En el proceso de amalgamación para la recuperación del oro, se mezclan las arenas densas pre-concentradas con el mercurio para poder capturar el oro; luego del proceso se retira la amalgama y el mercurio restante, presente en la mezcla de arena, se desecha en el río. Para separar el oro del mercurio se calienta la amalgama con el objetivo de evaporar el mercurio y concentrar el oro, el mercurio evaporado se libera a la atmosfera como gas Hg(0), en ocasiones se vuelve a amalgamar y calentar para purificar el oro (Forsberg, 2014).

El mercurio evaporado se condensa y precipita en forma de micro-gotas alrededor de una extensión de 1,5 kilómetros de diámetro, contaminando el suelo, agua, animales y plantas. Al ser denso se deposita en el fondo del lecho del río y, por acción de bacterias, se convierte en metilmercurio, un compuesto altamente tóxico consumido por organismos acuáticos que se alimentan del barro del lecho fluvial y acumulando el mercurio en sus tejidos. A través de la cadena trófica, estos organismos son consumidos por peces, aves, reptiles, mamíferos y también por las personas acumulando el mercurio en sus músculos (Brack et al., 2011).

En zonas de pozas abandonadas y sin actividad minera, se encontró que los peces carnívoros (huasaco, pejeperro, piraña) presentan los niveles más altos de mercurio, los omnívoros (lisa, sapamama) concentraciones intermedias y las más bajas se registraron en los peces herbívoros (carachama, yahuarachi, bocachico, sardina). El consumo de peces herbívoros representa un bajo riesgo a la salud inclusive en zonas donde existió actividad minera (Centro de Innovación Científica Amazónica, 2018 a).

Los estudios realizados muestran que la presencia de mercurio en peces no se vio afectada por actividad minera en el río Malinowski. Los peces que muestran mayores contenidos de mercurio son los que se encuentran en la posición trófica más alta, los que se alimentan de otros peces, independientemente de su proximidad a una actividad minera, la bioacumulación de estos peces depende del comportamiento de la alimentación y disponibilidad de alimentos. Se puede decir que el contenido de mercurio en peces no es un buen indicador de la contaminación por mercurio en el ecosistema, sin embargo, es importante conocer el estado de contenido de mercurio en peces para saber la exposición que presentan las comunidades que se alimentan de

ellos. En cambio, el contenido de mercurio en sedimentos es un mejor indicador para monitorear la contaminación por mercurio (Martinez et al., 2018).

Otros impactos que genera la actividad minera

Además de la contaminación por mercurio, la actividad minera no controlada genera también otros impactos, como son la destrucción de bosques, tierras agrícolas, alteración del cauce del río, destrucción de hábitats acuáticos. Los grandes movimientos de tierras generan partículas en suspensión en el río afectando la calidad del agua. Los aborígenes también resultan perjudicados con la situación que se genera en la zona por la ausencia de autoridades e inseguridad, los aborígenes están siendo desplazados, abusan de sus tierras, son afectados por la violencia y presencia de drogas. (Junquera, 2010).

A nivel social también se generan impactos, las personas que viven de la minería habitan viviendas precarias, cerca de 30 mil personas. Existe trata de personas, utilizan menores de edad para realizar trabajos mineros de mucho riesgo y sin ningún tipo de medidas de seguridad, también existen denuncias y casos de prostitución infantil. Además, los servicios de salud y educación son escasos y en mal estado (Brack et al., 2011).

Impactos ambientales de otros sectores económicos

La tala de bosques es un sector económico afectada por la tala ilegal que generan una sobreexplotación desmedida, extracción selectiva de especies de alto valor comercial, disminuyen la calidad biológica del bosque, alteran procesos ecológicos, generan contaminación del suelo por vertimiento de residuos sólidos y líquidos (combustible, maquinarias, herramientas y materiales plásticos), además generan

movimiento de suelos para realizar caminos, trochas, campamentos, erosionan y compactan el suelo (Infobosques, n.d.).

En Madre de Dios, antes de que el Estado promoviera el plan de concesiones forestales en el 2002, se estimaba que la tala ilegal era de un 95%, luego de dos concursos para la entrega de concesiones hasta el 2003 la extracción ilegal de madera disminuyó de 2,000 a 150 extractores (Gobierno Regional de Madre de Dios, 2008).

El uso de insecticidas en la actividad agrícola puede generar daños al medio ambiente, su objetivo principal es eliminar plagas de insectos, pero a su vez trae consigo consecuencias letales para otros organismos que no son su objetivo principal como recicladores de nutrientes del suelo, polinizadores de plantas y consumidores de plagas además, reducen y contaminan organismos que son alimentos para niveles tróficos superiores. En países desarrollados que utilizan pesticidas regulados y autorizados por su legislación, existen evidencias de contaminación al ecosistema como consecuencia del uso de insecticidas, los ríos acumulan residuos de insecticidas y los drenan hacia áreas agrícolas, contaminando aguas y sedimentos volviéndolos altamente tóxicos para invertebrados acuáticos (Devine et al., 2008).

2.2 Bases Teóricas

Se define los conceptos teóricos para el correcto análisis de los resultados.

2.2.1 Minerales de tierras raras

Según la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), los elementos químicos denominados tierras raras (REE por sus siglas en inglés) corresponden a 17 elementos químicos de la tabla periódica: Los quince lantánidos desde el peso atómico 57 (La) hasta el 71 (Lu) y se agregó dos elementos más, 21 (Y) y 39 (Sc) debido a que suelen encontrarse juntos y presentar comportamiento químico

análogo. La IUPAC los clasifica en dos grupos por sus propiedades físicas similares, a excepción del escandio (Sc) que presenta propiedades diferentes, las tierras raras ligeras van de manera consecutiva, desde el peso atómico 57 hasta el 64, y las pesadas van, también de forma consecutivas, desde el 65 hasta el 71 y añadiendo el itrio (39) y escandio (21), como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2
Elementos de tierras raras y su agrupación según la IUPAC

Grupo de REE	Elemento de REE	Símbolo	Peso atómico
Ligeros (LREE)	Lantano	La	57
	Cerio	Ce	58
	Praseodimio	Pr	59
	Neodimio	Nd	60
	Prometio	Pm	61
	Samario	Sm	62
	Europio	Eu	63
	Gadolinio	Gd	64
Pesados (HREE)	Terbio	Tb	65
	Disprobio	Dy	66
	Holmio	Ho	67
	Erbio	Er	68
	Tulio	Tm	69
	Iterbio	Yb	70
	Lutecio	Lu	71
	Itrio	Y	39
Sin grupo	Escandio	Sc	21

Fuente: International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC, 2018).

Los elementos de tierras raras han tomado gran relevancia en los productos de alta tecnología, están presentes en muchos de los productos que se utilizan hoy en día, como ejemplos se puede mencionar a las pantallas de televisión, celulares y laptops, también en los equipos de sonido, lámparas fluorescentes, automóviles eléctricos, baterías de altas capacidades, imanes potentes y catalizadores (Sáez et al., 2000).

Además, han sido de mucha importancia en el desarrollo de la industria bélica, de energías eólicas, hidroeléctricas, refinerías de hidrocarburos y en la medicina (Folger, 2011).

Abundancia de tierras raras

A pesar de considerarse raros, los elementos de tierras raras se presentan en la corteza terrestre con mayor abundancia que muchos de los metales industriales conocidos, figura 2.2. El cerio es más abundante que el cobre, inclusive el tulio (Tm), que es la tierra rara menos abundante en la corteza terrestre, es aproximadamente 200 veces más abundante que el oro. El inconveniente de estos elementos es que no se encuentran concentrados en depósitos minerales (diferente a los metales industriales conocidos) lo que hace difícil su extracción (U. S. Geological Survey, 2002).

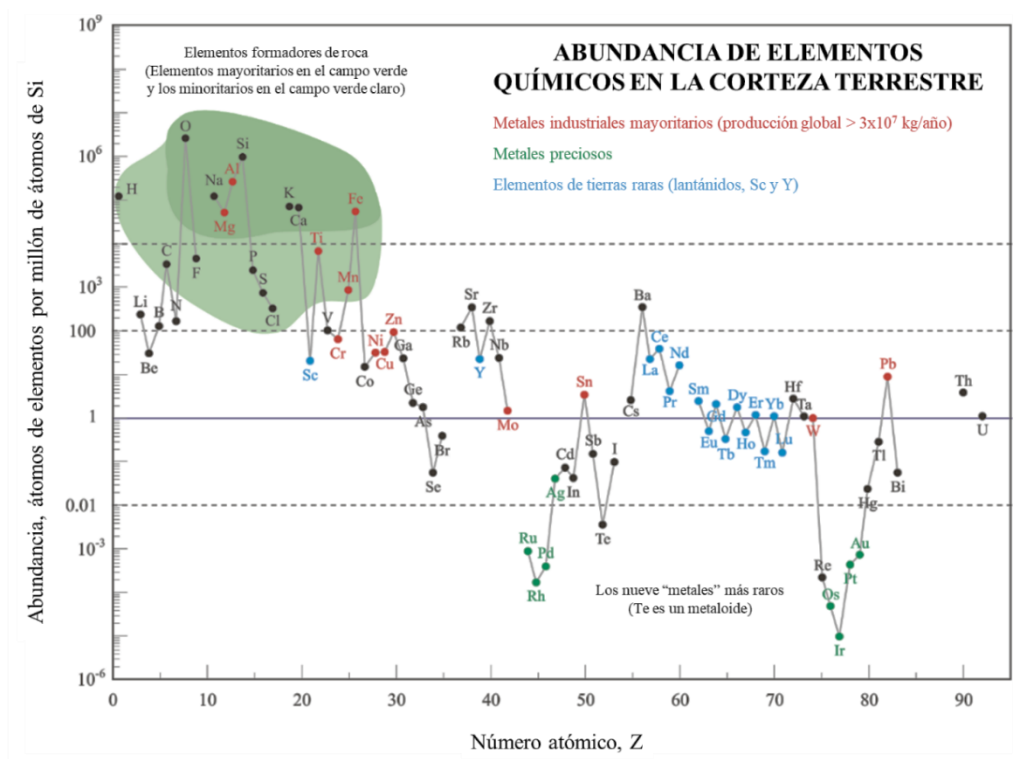


Figura 2.2. Abundancia de elementos químicos de la tabla periódica versus peso atómico.

Fuente: www.periodni.com

Minerales portadores de tierras raras

Los minerales de tierras raras más importantes como menas industriales son monacita, bastnasita y xenotima. Se encuentran también en depósitos de arcillas como iones absorbidos, los depósitos más grandes de este tipo se encuentran en China. La monacita es el mineral más abundante, fosfato de fórmula química $(Ce, La, Nd, Th)PO_4$, existiendo yacimientos de monacita en Australia, India, Brasil, Malasia, Tailandia, África del sur, China y USA. Así mismo, la bastnasita pertenece al grupo de los carbonatos $(La-Nd)FCO_3$ con contenidos elevados de europio, se encuentran en yacimientos en Mongolia y California. Además, el xenotima es un fosfato de itrio (YPO_4) , encontrándose el yacimiento más importante en China (Sáez et al., 2000).

2.2.2 Grado de libertad de los minerales

En los trabajos metalúrgicos es muy importante conocer el grado de liberación que presentan los minerales para realizar los procesos de reductibilidad o flotabilidad. A menudo en minería, los minerales a extraer no se encuentran totalmente libres, están asociados a otros minerales, mayormente inertes, por ello es que se realizan procesos de chancado y molienda con el fin de fragmentarlos a tamaños que se desprendan de los otros minerales asociados. Se puede conocer el grado de libertad realizando un conteo manual mediante microscopía óptica o con microscopía electrónica mediante analizadores de imágenes acoplado, que es más rápido y preciso. Cuando las partículas se encuentran totalmente libres se considera que tienen un alto grado de libertad o un 100% de libertad, este porcentaje disminuye a medida que se encuentren asociados con otros minerales (Londoño et al., 2010)

Cuando una partícula está compuesta por más de un mineral se le llama partícula mixta. En la figura 2.3 se puede observar partículas mixtas con distintos grados de

libertad: A y B) minerales con alto grado de libertad. C y E) Minerales con un grado de libertad parcial. D) Minerales con grado de libertad medio. F y G) minerales con un bajo grado de libertad. H) mineral negro con un grado de libertad nulo. Los resultados de los procesos metalúrgicos están muy ligados al grado de libertad que presenten los minerales, en el caso de la Figura 2.3, cada partícula mixta tendrá un comportamiento metalúrgico particular. Las partículas C y E tienen buen grado de libertad, podrían presentar un comportamiento metalúrgico parecido a las partículas A y B respectivamente, pero en la práctica esto no ocurre, se va a tener dificultades en la separación, teniendo un resultado distinto a una concentración ideal (Bustamante et al., 2008).

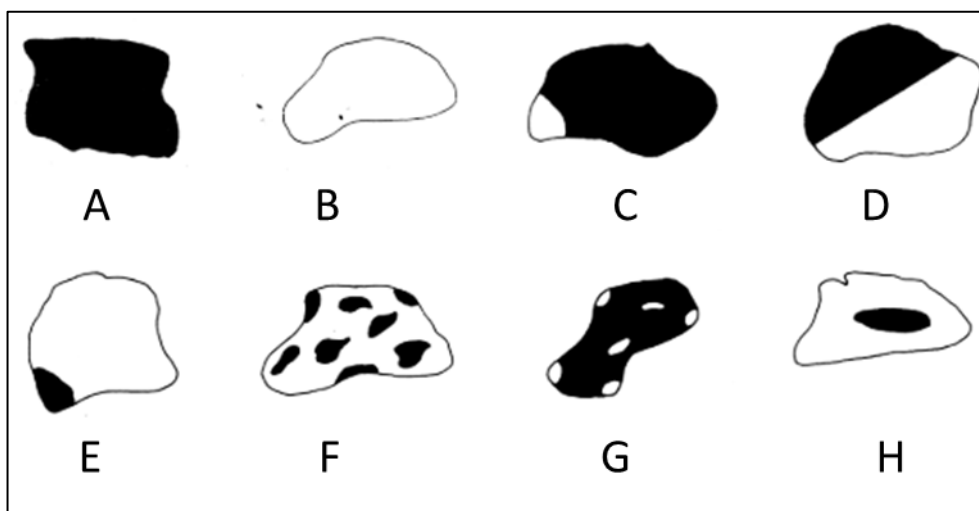


Figura 2.3. Esquema de grados de libertad de minerales.
Fuente: Bustamante et al. (2008)

2.2.3 Recuperación ecológica de minerales

En Madre de Dios los sedimentos se extraen generalmente mediante cuatro métodos: 1) Se utiliza carretillas de mano y herramientas manuales simples. 2) Se emplea motobombas que funcionan con combustible líquido y las denominadas

“chupaderas” las cuales son utilizadas también en el interior de los bosques. 3) Se utilizan máquinas más sofisticadas como dragas, usadas principalmente para extraer sedimentos de los lechos de los ríos. 4) Se utilizan cargadores frontales y volquetes para el movimiento de sedimentos en gran cantidad (Brack et al., 2011). Una vez extraído los sedimentos, los mineros aplican métodos gravimétricos y amalgamación con mercurio para la recuperación del oro. No se aprovechan otros minerales económicos en los sedimentos.

Seguidamente se describen 2 métodos para la recuperación de minerales de tierras raras:

- A) En los procesos de recuperación de tierras raras no se utiliza mercurio. Se realiza una concentración gravimétrica de minerales pesados, (minerales portadores de tierras raras). Se pueden realizar mediante técnicas de concentración centrífuga o aprovechando las diferencias de densidades de los minerales, separando así los más densos de los menos densos, mientras mayor sea la diferencia de densidad es más fácil la separación, como en el caso de separar partículas de oro (que son de alta densidad) del cuarzo (de baja densidad). Para la concentración gravimétrica se utilizan diversos equipos como: canaletas con rifles, conos y espirales, jigs y mesas concentradoras (Hinojosa, 2016).
- B) Otra manera de separar los minerales portadores de tierras raras es aprovechando las propiedades magnéticas y eléctricas que presentan. Se pueden aplicar técnicas innovadoras mediante la aplicación de separadores magnéticos y eléctricos que trabajan con campos magnéticos y eléctricos calibrados para lograr la separación de los minerales de interés (Gutarra et al., 2015).

2.3 Definiciones básicas

Se definen términos que se utilizan en el desarrollo del trabajo.

- Aluvial: Está relacionado a todo material o proceso de un río (Rojas y Paredes, 2016).
- Ambiente fluvial: Un ambiente fluvial corresponde a un río desde que nace en la cuenca de recepción o cabecera, hasta su desembocadura, comprende tres acciones características: erosión, transporte y sedimentación (Rojas y Paredes, 2016), ver figura 2.4.

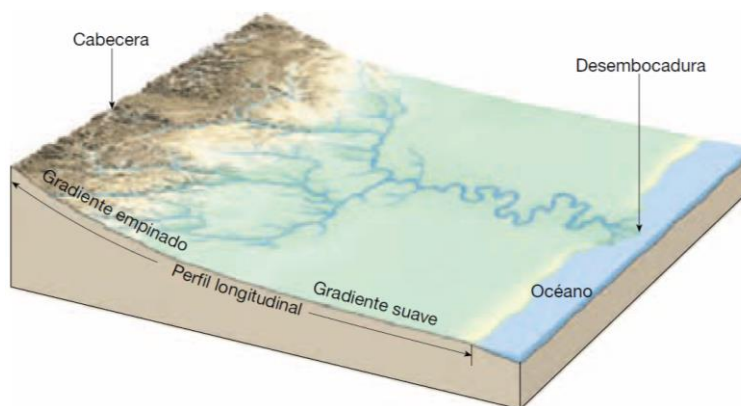


Figura 2.4. Esquema de la trayectoria de un río.
Fuente: Tarbuck y Lutgens, (2005)

- Sedimentos: Partículas originadas por la desfragmentación de rocas producto de la erosión o alteración. Se clasifican de acuerdo al ambiente de deposición (marinos, lacustres, fluviales o continentales); al tipo de deposición (eólicos, fluviales, glaciales o marinos); o según sus elementos componentes (bloques, cantos, gravas, arenas, limos o arcillas) (Tarbuck y Lutgens, 2005).
- Bloques: Fragmentos de rocas de tamaños mayores a los 30 cm. Cantos: Fragmentos de rocas de tamaños entre 7.5 y 30 cm. Gravas: Son partículas de rocas de tamaños comprendidos entre 2 mm y 2 cm. Arenas: Son partículas de

fragmentos de rocas o minerales, de tamaños comprendidos entre 0.062 y 2 mm, mayormente constituidas por cuarzo y feldespatos. Limos: Partículas de fragmentos de rocas o minerales de tamaños comprendidos entre 0.004 y 0.062 mm Arcillas: Partículas muy finas de tamaños menores a los 0.004 mm (Rojas y Paredes, 2016)

2.4 Metodología de estudio

La metodología aplicada corresponde al modo hipotético-deductivo. Las hipótesis planteadas en la presente tesis serán validadas o descartadas luego de una serie de procedimientos, análisis de datos y de información recopilada.

Con la recopilación de información del lugar y la logística disponible se pudo definir la zona de estudio, para realizar el muestreo de sedimentos. Se realizaron dos campañas de muestreo: La primera se realizó en temporada de crecida del río (marzo) y la segunda se realizó en la época de sequía del río (octubre), de esta manera se recopiló información en dos temporadas distintas durante un año y comparar los resultados.

En campo se identificaron los depósitos fluviales para realizar los muestreos, se realizaron en depósitos fluviales de barras de punto, islas, barras longitudinales, terrazas y en zonas donde haya existido actividad minera. En cada punto de muestreo se retiró la cobertura superficial de suelo, aproximadamente 20 a 30 cm, y se tomaron cerca de 10 kg de muestra por punto. Las muestras fueron almacenadas en baldes y rotulados para análisis en gabinete.

En gabinete, se clasificaron las muestras con características similares y se aplicaron técnicas para concentrar los minerales de interés: fueron lavadas para descartar las partículas finas en suspensión, se realizó granulometría, gravimetría,

separación magnética, análisis químicos multielementales, difracción de rayos X y microscopía óptica, como se esquematiza en la figura 2.5.

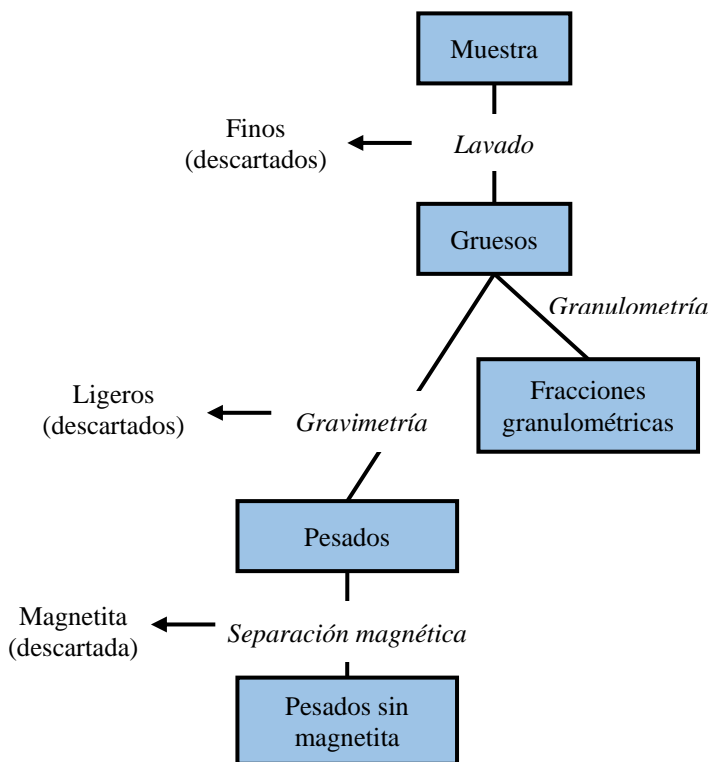


Figura 2.5. Esquema de concentración de minerales de interés.
Fuente: Elaboración propia.

2.4.1 Identificación de depósitos fluviales y muestreo de sedimentos

Antes de llegar a campo, se revisó información sobre la geología de zona de trabajo e imágenes satelitales para conocer los tipos de depósitos fluviales que se podrían encontrar en el lugar. Se dirigió a la zona de estudio y realizar el reconocimiento de los diferentes tipos de depósitos fluviales y levantar información de mayor detalle. Se recopiló información sobre las características de los depósitos fluviales, forma, tipo de sedimento presente y ubicación con coordenadas.

En la primera campaña se plantearon 20 puntos de muestreo, que fueron ubicados preferencialmente en depósitos de barras de punto e islotes, lugares donde hay mayor probabilidad de acumulación de los minerales pesados. En la segunda

campaña, los puntos de muestreo fueron tomados en los lugares donde se obtuvieron los contenidos de tierras raras y oro más altos de la primera campaña, resultando 5 puntos de muestreo para la segunda campaña.

2.4.2 Concentración de minerales

Las muestras que pertenecían a los mismos depósitos fluviales y presentaban similitud de proporciones de arenas, limos y arcillas, se agruparon para simplificar el análisis químico y la caracterización mineralógica, resultando así 6 grupos nombrados del G1 al G6, el grupo G6 corresponde a residuos mineros.

Se buscó retirar las partículas finas que se encuentran adheridas en los granos de mineral más gruesos de las muestras. Se lavó las muestras con agua en gabinete, de esta manera las partículas finas quedaron en suspensión en el agua y se separaron de la muestra.

Para realizar la caracterización mineralógica de minerales de tierras raras y oro se tuvo que retirar los minerales que no son de interés y que se encuentran presentes en la muestra. Mediante la aplicación técnicas de concentración como la granulométrica, gravimétrica y separación magnética se pudo descartar minerales de baja densidad (cuarzo y feldespatos mayormente) y magnéticos (magnetita).

Concentración granulométrica

Los minerales de interés (oro y monacita) se encuentran libres en determinadas granulometrías, por lo que es importante separar granulométricamente las muestras de sedimentos mediante la técnica de tamizaje por mallas. Las mallas empleadas para la separación granulométrica fueron la 70, 140, 400 y fondo.

Concentración gravimétrica

Los minerales de interés tienen densidades altas (19.3 g/cm^3 para el oro y 4.6 a 5.4 g/cm^3 para la monacita), utilizando esta propiedad para separarlos de los minerales de densidad baja como el cuarzo (2.6 g/cm^3) mediante la técnica de separación granulométrica por bateo. La técnica de separación por bateo consiste en colocar muestra sobre un plato de bateo y agitando con agua se logra retirar las partículas más ligeras y dejar las más pesadas en el fondo del plato.

Concentración por separación magnética

Se aprovechó las propiedades magnéticas de la magnetita para retirarla de la muestra, debido a que no es un mineral de interés para esta investigación. Mediante el uso de un imán convencional se separó la magnetita de la muestra y se obtuvo un concentrado final.

Mediciones de densidad a los concentrados

A las muestras de concentrados obtenidos, se les realizó mediciones de densidad para conocer la variación en cada proceso de concentración. Estas mediciones se realizaron utilizando un picnómetro de gas helio del laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Ingeniería y Tecnología.

2.4.3 Análisis mineralógicos

Los sedimentos retenidos en las mallas 140 y 400 fueron analizados en el laboratorio CERTIMIN, realizándose 3 análisis:

- Análisis de oro por ensayos al fuego – AAS
- Análisis multielemental por ICP-OES – Digestión agua regia (HNO_3 , HCl)
- Análisis de tierras raras por espectrometría de masa con plasma acoplado inducido (ICP-MS) - Fusión metaborato de litio.

Los resultados del laboratorio mostraron valores altos en tierras raras para los grupos G1, G4 y G6 y detecciones de oro en los grupos G1, G4, por lo que se decidió continuar la metodología solo para los grupos G1, G4 y G6.

Para la caracterización mineralógica de las muestras concentradas se realizaron análisis con microscopio estereoscópico, además se elaboraron secciones delgadas y pulidas para el estudio con microscopio de polarización de luz transmitida. Complementariamente se realizaron análisis químicos multielementales por difracción de rayos X para una determinación más exacta, sobre todo de aquellos minerales que por su finura o por presentar características muy similares a las de otras especies, no pudieron ser determinadas con microscopía con exactitud.

2.5 Normas y reglamentaciones Medio Ambientales

Las actividades mineras de pequeños productores mineros y artesanales están reguladas mediante la Ley N° 27651, “Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal”, que se especifica las condiciones personales, de la actividad, límites de extensión y límites de capacidad, entre otros:

La presente Ley tiene por objeto introducir en la legislación minera un marco legal que permita una adecuada regulación de las actividades mineras desarrolladas por pequeños productores mineros y mineros artesanales, propendiendo a la formalización, promoción y desarrollo de las mismas. (Ley N° 27651, 2002, art. 1)

Una vez logrado el acuerdo o contrato de explotación entre el minero artesanal y el titular del derecho minero, el Ministerio de Energía y Minas ayudará al minero artesanal en una labor tutelar de fortalecimiento orientada a su

consolidación empresarial, por un período no mayor a dos años, que cubra los siguientes aspectos: 1. Capacitación tecnológica operativa y de administración tendiente a lograr una explotación racional del yacimiento. (Ley N° 27651, 2002, art. 11).

La prevención, protección y recuperación del ambiente relacionado con el aprovechamiento sostenible de recursos naturales está regulado en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611:

El objetivo de la presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país. (Ley N° 28611, 2005, art. 1).

Para el aprovechamiento de los minerales económicos presentes en los residuos mineros existe la Ley N° 28271, “Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera”. En sus artículos especifica la atribución de las responsabilidades, fiscalización, control y sanciones, entre otros.

Son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad, abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad. (Ley N° 28271, 2004, art. 2)

Los pasivos ambientales que formen parte del inventario al que se refiere el artículo 3 y que pudieran contener valor económico podrán ser susceptibles de reaprovechamiento. El reaprovechamiento del pasivo ambiental deberá solicitarse y ejecutarse considerando medidas de manejo ambiental, mitigación, remediación y cierre, e incluyendo garantías ambientales conforme al estudio ambiental correspondiente, según lo establezca el Reglamento. (Ley N° 28271, 2004, art. 11)

El “Manual de buenas prácticas en minería aurífera aluvial” elaborada por el Ministerio de Ambiente del Gobierno del Perú tiene como objetivo promover la actividad minera de los pequeños mineros y artesanales, pero con visión de cuidado del medio ambiente. Presentan recomendaciones en el ámbito de la exploración, desbroce de bosque e instalación de campamentos mineros, extracción, traslado de materiales y cierre de minas (MINAM, 2017).

CAPÍTULO III

MARCO GEOLÓGICO

3.1 Fisiografía

Los procesos tectónicos que generaron el levantamiento de la Cordillera de los Andes, así como también los procesos erosivos por lluvias, glaciares y vientos moldearon la fisiografía actual de la unidad hidrográfica del río Madre de Dios (Cusco, Madre de Dios y Puno). En el área de estudio se presentan tres grandes unidades geomorfológicas: la Cordillera Oriental, la Faja Sub Andina y el Llano Amazónico (figura 3.1), caracterizados por una variedad de relieves como altiplanicies, colinas, montañas y la Llanura Amazónica.

La Cordillera Oriental presenta las cotas más elevadas, de 4,000 a 1,000 msnm, con fuerte pendiente (más de 70 %) con dirección hacia el llano amazónico. Los ríos presentes en la zona de estudio tienen sus nacientes en las cumbres de la Cordillera Oriental, provocan fuerte erosión del terreno, debido a la profundización de su cauce, generando escarpadas que tienden a ser cañones (Palacios et al., 1996), ver figura 3.2.

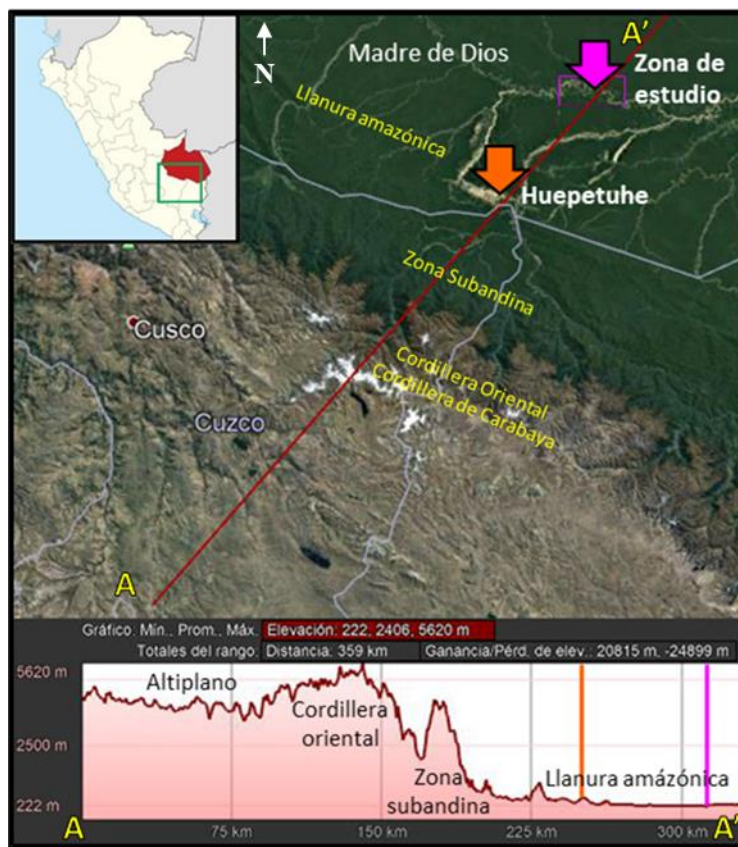


Figura 3.1. Relieve topográfico regional de la zona de estudio.
 Fuente: Google Earth.



Figura 3.2. Cordillera Oriental, Carabaya, Puno.
 Fuente: www.summitpost.org

La zona Subandina se ubica en las partes más bajas de la Cordillera Oriental y finaliza en la Llanura Amazónica, predominan estrechas fajas de colinas de relieve moderado con morfología redondeada, acumulan en sus partes bajas materiales fluviales angulares todavía grandes (de aproximadamente 30 cm de diámetro) en forma de abanicos y terrazas, posteriormente las lluvias y remoción de los ríos transportan estos materiales hacia la llanura del río Madre de Dios. Esta zona Subandina presenta rocas del Mesozoico como basamento, cubiertas por aluviales y coluviales del cuaternario, presenta mayor vegetación que la Cordillera, característico de selva alta (Palacios et al., 1996), ver figura 3.3.



Figura 3.3. Imagen representativa de zona subandina.

Fuente: www.infobosques.com

La Llanura Amazónica es la parte más extensa de la zona de estudio, presenta pendientes muy bajas que ocasiona que los ríos discurran lentamente. En la parte central de la llanura se ubica el río Madre de Dios que es el río principal de la llanura de morfología meándrica. También se encuentran las partes más bajas de los ríos Inambari, Colorado y Tambopata. Los ríos en la llanura forman terrazas, playas, zonas inundables, aguajales y cochas o lagunas. La llanura está compuesta por sedimentos

fluviales del Terciario superior y Cuaternario cubriendo las rocas más antiguas (Palacios et al., 1996), ver figura 3.4.



Figura 3.4. Llanura Amazónica, río Madre de Dios.
Fuente: Elaboración propia.

3.2 Estratigrafía

La zona de estudio abarca el flanco oriental de la Cordillera Oriental (Cordillera de Carabaya), Faja Subandina y el Llano Amazónico, comprende gran parte de la región Madre de Dios, parte Noreste de Cusco y Noroeste de Puno. En el trabajo realizado por Palacios et al. (1996), se explica la estratigrafía de la zona, ver figura 3.5, cuya geología comprende desde el Paleozoico hasta el Cuaternario de la siguiente manera:

- Paleozoico: Complejo Iscaybamba (Cámbrico), conformado por rocas metamórficas de metavolcánicos, anfibolitas e intrusivos; Formación San José y Sandia (Ordoviciano), conformado por rocas sedimentarias marinas, pizarras, lutitas, esquistos, areniscas y cuarcitas; Formación San Gabán (Silúrico), turbiditas glaciomarinas; Formación Ananea (Siluro Devoriano), conformada por pizarras, esquistos y cuarcitas.

- Mesozoico: Grupo Oriente; secuencias epicontinentales a marinas compuesta por areniscas cuarzosas y lutitas; Formación Chonta, lutitas, limonitas rojizas-violáceas y areniscas cuarzo-feldespáticas; Formación Vivían, areniscas cuarzosas gris blanquecinas.
- Cenozoico: Grupo Huayabamba, capas rojas de origen continental, de ambientes fluviales y lacustres, compuestos por areniscas, lutitas y limonitas; Grupo Ipuro, lutitas limonitas y areniscas finas semi-consolidadas rojizas.
- Cuaternario: Formación Madre de Dios, depósitos fluviales de gravas, arenas, limos y arcillas; Conglomerados Cancao y Masuco, conglomerados y gravas correspondientes a depósitos torrenciales de pie de monte.

ERA	SISTEMA	GRUPO	FM.	ESPESOR (metros)	LITOLOG.	DESCRIPCION LITOLOGICA		
CENOZOICO	CUATERNARIO		ALUVIAL	0 a 400		Suelo arcillo limoso y arenoso, marrón claro.		
			PAGORENE			Conglomerado heterogéneo pobremente clasificado. Areniscas líticas gris claras de grano grueso.		
			CANCAU-MAZUKO			Conglomerado aluvial y torrencial, con cantos de cuarcita, intrusivos y esquistos, en matriz areno-gravosa.		
			MADRE DE DIOS			Gravas con matriz arcillosa. Areniscas y arcillas arenosas.		
	TERCIARIO	HUAYABAMBA	IPURURO		500		Lodolitas marrones claras, moteadas y rojizas Areniscas cuarzosas arcillosas de grano fino a grueso.	
				H3	400		Lodolitas marrón rojizas oscuras, calcáreas. Lodolitas abigarradas, gris verdosas a rojizas, con concreciones calcáreas.	
				H1			Lodolita rojo ladrillo con intercalaciones de areniscas.	
	MESOZOICO	CRETACICO		VIMAN	50 a 200		Arenisca cuarz., gr. fino a med., bien clasif., en capas med. a gruesas, lam.cruzada.	
				CHONTA	200 a 800		Limolitas y lutitas abig., variando de rojo púrpura a gris, calc., en parte carbonosa. Arenisca cuarz. a gris clara de grano fino. Limolitas arcillosas gris verdosas, fisibles.	
				AGUAS CALIENTES	200 a 300		Arenisca cuarzosa de grano medio a grueso, redondeados, blanquecina, con laminación cruzada.	
		DEVONICO		ANANEA		2000		Argilita gris clara, micácea. Lutitas gris oscuras en capas delgadas. Lutitas gris olivo. Areniscas cuarzosas gris claras, matriz silíceas. Lutitas gris olivo, intemperizan a rojizo. Arenisca cuarzosa gris clara con estructuras "ball and pillow".
					S. GABAN	170		Arenisca conglomerádica arcillosa, dura, con fragmentos de granito, cuarcita y metamórficas. Tilloide.
PALEOZOICO	ORDOVICICO	CARABAYA	SANDIA	460		Arenisca cuarzosa gris clara en capas medianas con débil laminación cruzada. Lutitas gris oscuras laminadas, pizarrosas. Areniscas cuarzosas de grano fino, duras. Lutitas y limolitas gris oscuras a negras. Lutitas gris oscuras pirtosas, laminadas. Pizarras oscuras con graptolites, trilobites. Areniscas cuarzosas en capas delgadas. Limolita oscura calcárea con trilobites y braquiópodos.		
			SAN JOSE	900 a 1500				
			COMPLEJO ISCAYBAMBA	1000 a 1500		Rocas metamórficas: melavolcánicos, metagrawacas, amfibolita, granitos, gneis.		

Figura 3.5. Columna estratigráfica Generalizada de los cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Tambopata.
Fuente: Palacios et al. (1996)

En la figura 3.6 se muestra el mapa geológico donde se ubican las formaciones rocosas por donde discurren los ríos que se dirigen a la Llanura Amazónica y zona de estudio

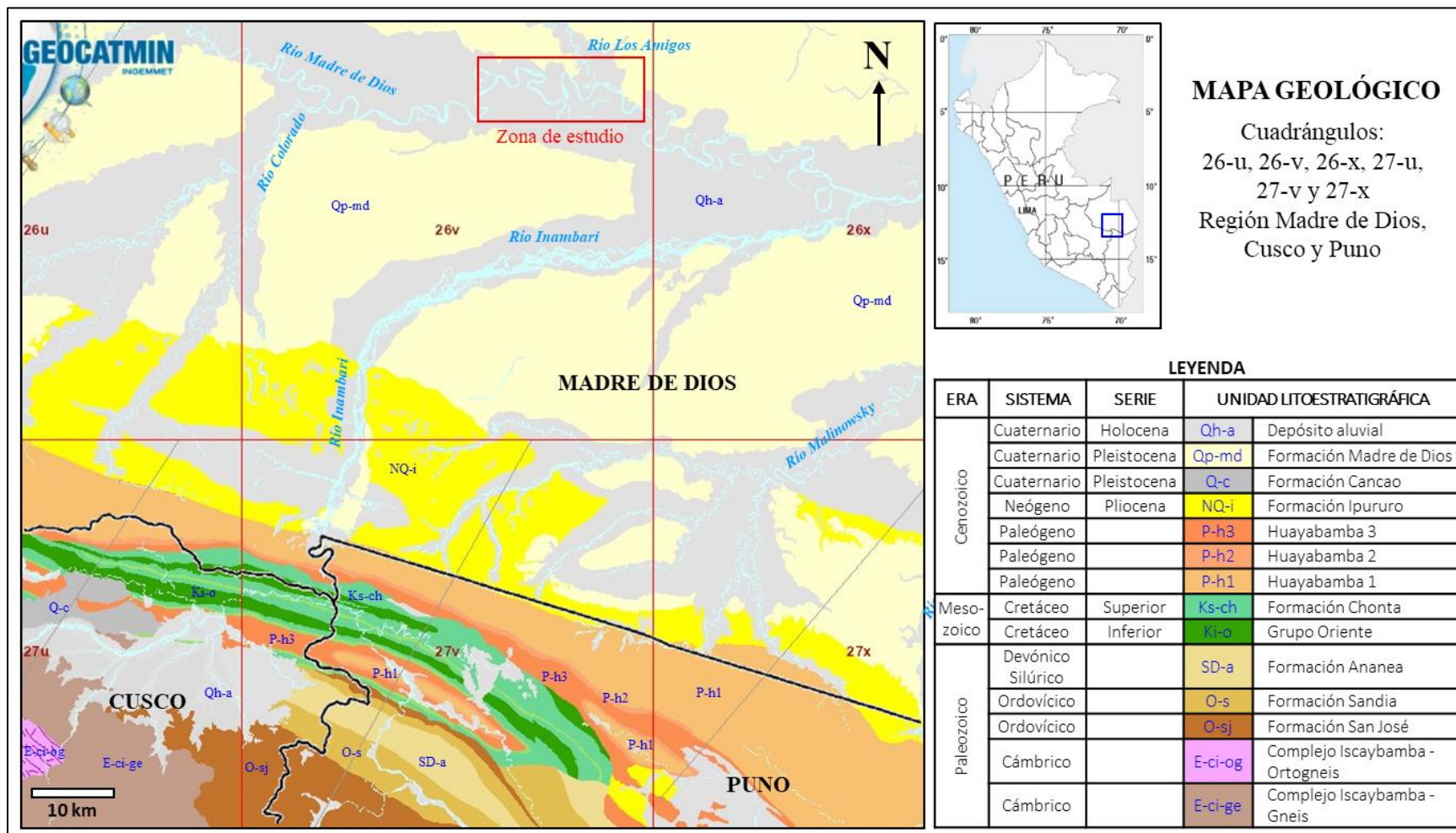


Figura 3.6. Mapa geológico, la zona de trabajo se muestra en el rectángulo rojo.

Fuente: GEOCATMIN - INGEMMET

3.3 Geología

La composición mineralógica de los depósitos fluviales tipo placer está controlada por la mineralogía de las rocas por donde discurre el río. En el caso de los placeres existentes en la zona de Madre de Dios, los minerales que se espera encontrar son los constituyentes de la Cordillera de Oriental (Cordillera de Carabaya) y de la Cordillera Subandina. El oro presente en los depósitos fluviales de la Llanura Amazónica tiene origen en la Cordillera Oriental, como en la zona de Quincemil, el oro se encuentra presente en vetas de cuarzo en las anfibolitas del Complejo de Iscaybamba, de donde es removido y transportado por los ríos Marcapata, Inambari, Malinowsky y Colorado hasta su desembocadura en el río Madre de Dios.

La Cordillera de Carabaya se extiende desde el norte de la región Puno hasta el noreste de Cusco; está constituida principalmente por una secuencia paleozoica de lutitas, areniscas, pizarras y cuarcitas (Formaciones Sandia y Ananea), cortadas por batolitos como Aricoma, Limbani, Coasa, y diversos intrusivos de composición granítica a monzonítica de afinidad alcalina a peraluminosa (Monge y Zedano, 1996). Según Chirif (2011), en las rocas intrusivas alcalinas es frecuente encontrar microinclusiones de minerales portadores de tierras raras dentro de los granos de cuarzo, pero en concentraciones no económicas. De esta manera, los minerales aportantes de la Cordillera de Carabaya son cuarzo, micas y arcillas como constituyentes mayoritarios, en menor proporción minerales pesados (magnetita, ilmenita y hematita) y, como trazas que pueden formar placeres económicos oro y minerales portadores de tierras raras.

La Cordillera Subandina aflora al pie del flanco norte de la Cordillera de Carabaya Oriental, se trata de un alineamiento de colinas formada por una secuencia

plegada de rocas clásticas y calcáreas, pertenecientes a las Formaciones Chonta y Vivian del Cretácico superior y limolitas del Grupo Huayabamba del Paleoceno. Estas rocas aportan sedimentos ligeros como cuarzo, arcillas, carbonatos. Por la carencia de minerales valiosos, estas rocas no constituyen fuente económica para los depósitos de placer existentes en la Llanura Amazónica (Chirif, 2011).

3.4 Hidrografía e hidrogeología

En la Llanura Amazónica se encuentra la cuenca del río Madre de Dios, principal río colector de la región, donde desembocan las aguas del río Colorado, Inambari y Tambopata por su margen derecha y las aguas de los ríos Los Amigos y Heath por la margen izquierda. Los ríos de la llanura son muy diferentes a los de la Cordillera, ya que discurren lentamente y tienen gran caudal, lo que genera la formación de sistemas fluviales meándricos (ríos Madre de Dios y Tambopata) y anastomosados (ríos Inambari y Colorado), ver figura 3.7. Los crecimientos periódicos ocasionan cambios en el curso del río formando cochas o lagunas abandonadas.

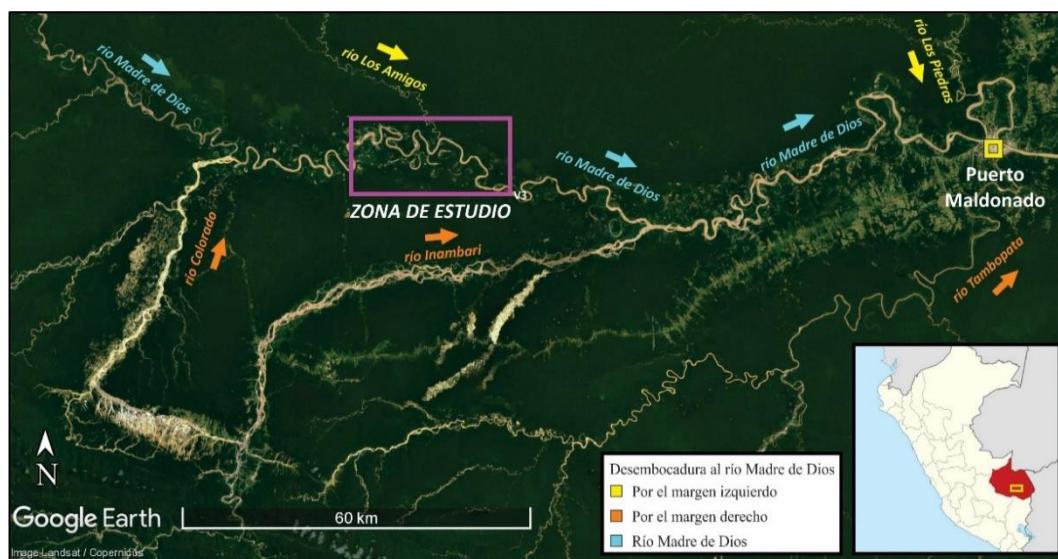
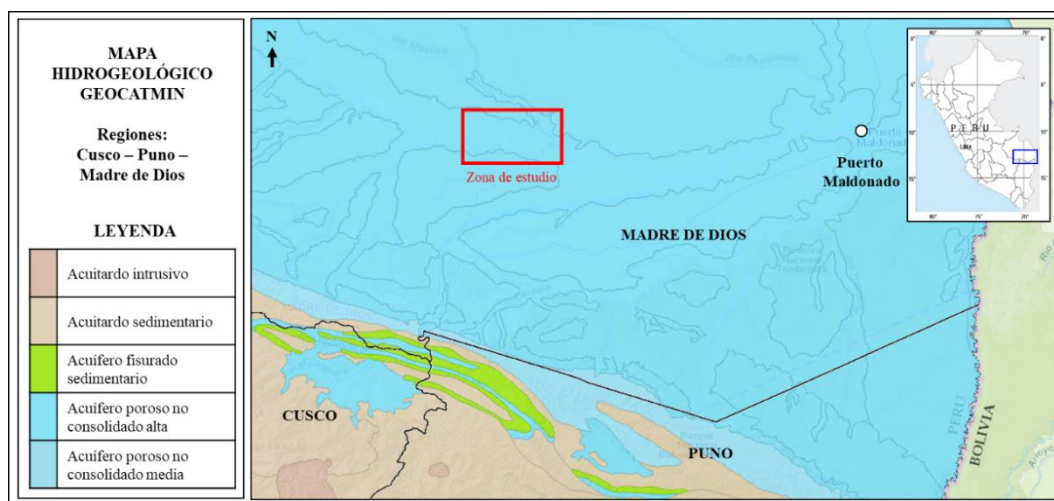


Figura 3.7. Principales afluentes del río Madre de Dios.

Fuente: Google Earth.

La extensa cuenca presenta alta permeabilidad, en la parte media presenta acuíferos de permeabilidad media, en la parte alta de la cuenca del Tambopata e Inambari los acuíferos son locales y se manifiestan en zonas de fracturas en formaciones rocosas consolidadas con permeabilidad baja a muy baja. En las zonas altas del Inambari y parte alta del Alto Madre de Dios (Provincia de Quispicanchi y Paucartambo respectivamente), las permeabilidades son muy bajas, las formaciones no presentan acuíferos. Existen reservas potenciales aprovechables en el llano amazónico cerca de 511.5 mm^3 por año, que es un caudal de $16.22 \text{ m}^3/\text{s}$ (Autoridad Nacional del Agua, 2011), ver figura 3.8.



*Figura 3.8. Mapa Hidrogeológico regional.
Fuente: GEOCATMIN - INGEMMET.*

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIONES MINERALÓGICAS

4.1 Depósitos fluviales y muestreo de sedimentos

La zona de estudio se ubica en el río Madre de Dios, el lugar se caracteriza por presentar una topografía suave, el río presenta una morfología meándrica, característica de la Llanura Amazónica. Las muestras fueron tomadas de los depósitos fluviales ubicados a los bordes del río como seguidamente se describe.

4.1.1 Depósitos fluviales

Los depósitos encontrados en la zona de estudio fueron barras de punto, barras longitudinales, islas, terrazas y cochas abandonadas, tal como se muestra en la figura 4.1. Los sedimentos que se acumularon en estos depósitos corresponden al Cuaternario reciente. Mientras que las terrazas son depósitos más antiguos, probablemente del Pleistoceno, según el mapa geológico (26x) correspondiente al cuadrángulo de Laberinto. La ubicación de los puntos de muestreo se muestran en el anexo 1.



Figura 4.1. Depósitos fluviales de la zona de estudio. BP: Barras de punto, BL: Barras longitudinales
Fuente: Google Earth

Se tuvo acceso a barras de punto (figura 4.2), islas (figura 4.3), barras longitudinales (figura 4.4), terrazas (figura 4.5) y a la cocha Lagarto ubicada cerca a la Estación Biológica Los Amigos (figura 4.6). Los depósitos de barras de punto, islas y barras longitudinales, presentan sedimentos desde arenas hasta arcillas, con poca presencia de grava; mientras que en el lecho del río existe material más grueso, como gravilla y gravas. Las terrazas son depósitos más antiguos, correspondientes mayormente a llanuras de inundación, y consisten en arcillas, limos y arena fina, con presencia de raíces y plantas. La cocha Lagarto es una zona protegida, no se tomó muestras, pero se observó presencia de sedimentos finos en superficie, abundante vegetación y agua empozada.



Figura 4.2. Depósito fluvial de barra de punto. Punto de muestreo R18. A: Vista desde la curva interna, en el fondo se ve la curva externa del río (terrazas). B: Vista hacia la barra de punto.
Fuente: Elaboración propia.

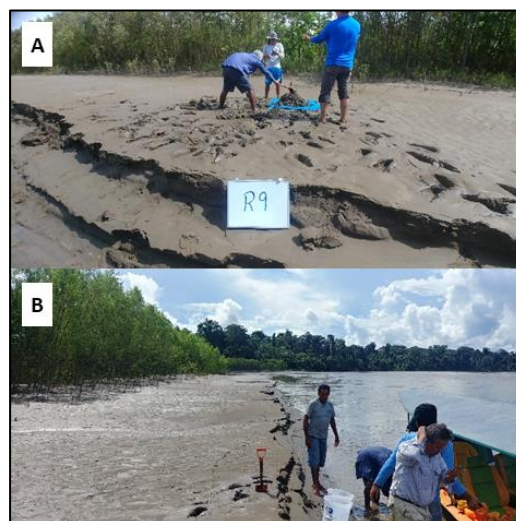


Figura 4.3. Depósito fluvial de isla. Punto de muestreo R9. A: Vista del depósito fluvial. B: Vista de la cola de la isla.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.4. Depósitos fluviales de barra longitudinal. Punto de muestreo R13. A: vista del depósito. B: Vista de la cola del depósito.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.5. Depósitos fluviales de terrazas. A y B: Vista panorámica de una terraza. C: muestreo una terraza, punto R4.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.6. Cocha Lagarto.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Muestreo de sedimentos

Las muestras fueron tomadas retirando 10 a 20 cm de superficie de sedimentos, generalmente ricos en arcillas y con contenidos variables de material orgánico; luego se realizó una calicata de aproximadamente 30 a 50 cm de profundidad de donde se extrajo material que se colocó sobre un plástico limpio para ser homogenizado y tomar, por cuarteos sucesivos, aproximadamente de 5 a 10 kg de muestra representativa para la caracterización mineralógica, ver figura 4.7.



Figura 4.7. Muestreo de sedimento de los depósitos fluviales. Calicata manual. B: Acopio de muestra. C: Profundidad de la muestra aproximadamente 30 cm. D: Homogeneización de la muestra. E: Almacenamiento de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras de residuos mineros fueron tomadas en una barra de punto donde se evidenció actividad minera, aunque sin operaciones en el momento de la visita de campo. El suelo estuvo removido y con muchas irregularidades topográficas, restos de maderas, además se observó abundante presencia de arenas negras, que es producto de la concentración que realizan los mineros de la zona para extraer el oro. El muestreo en el punto R7 (residuos mineros) se realizó en las zonas donde se encontró mayor presencia de arenas negras, ver figura 4.8.



Figura 4.8. Residuos mineros y labores mineras. A: Residuos de labores mineras del punto R7, suelo removido por la actividad minera. B: presencia de arenas negras producto de la concentración de minerales pesados que realizó la actividad minera. C y D: Segunda campaña de muestreo a la actividad minera cerca a Laberinto, la recuperación de sedimentos se realiza por succión de sedimentos del lecho del río.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron dos campañas de muestreo, una en época de crecida del río (mes de marzo) y otra en época de estiaje (mes de octubre) con el fin de comparar los resultados mineralógicos.

- En la primera campaña, se tomaron muestras de 20 puntos (R1 al R20), una muestra por punto, a excepción del punto R7 de donde se tomaron 3 muestras

(R7-1, R7-2 y R7-3) debido a que fue un depósito antrópico (residuos mineros) con diferentes morfologías, resultando un total de 22 muestras.

- En la segunda campaña, se realizó el muestreo en 5 puntos donde se encontraron mayores contenidos de oro y de tierras raras de la primera campaña y fueron nombradas con las iniciales RS.

Las muestras y descripción (incluye ubicación) se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1
Relación de muestras y descripción

Campaña	Muestra	UTM X	UTM Y	Tipo de depósito	Tipo de material
Primera	R1	368703	8608496	Barra de puntos	Arcilla
Primera	R2	370331	8608755	Barra de puntos	Arcilla
Primera	R3	371548	8610110	Barra de puntos	Arena fina con poco limo
Primera	R4	371558	8610507	Pared de talud	Limo con poca arcilla
Primera	R5	373039	8608421	Barra de puntos	Arena fina con poco limo
Primera	R6	373437	8608383	Pared de talud	Limo con poca arcilla
Primera	R7-1	377097	8609473	Residuos mineros en barra de punto	Arena fina y muy poco limo
Primera	R7-2	377056	8609494	Residuos mineros en barra de punto	Arena gruesa con gravilla
Primera	R7-3	377023	8609474	Residuos mineros en barra de punto	Arena media
Primera	R8	375001	8608071	Barra de puntos	Arena limosa
Primera	R9	379203	8609138	Isla	Arena fina
Primera	R10	395501	8600789	Barra de puntos	Arena media
Primera	R11	394552	8601081	Isla	Arena gruesa a media
Primera	R12	392735	8600902	Barra de puntos	Arena limosa
Primera	R13	391470	8602948	Barra longitudinal	Arcilla
Primera	R14	389813	8605989	Barra de puntos	Arena fina
Primera	R15	388019	8605242	Barra de puntos	Arena limosa
Primera	R16	384558	8609137	Barra de puntos	Arena media
Primera	R17	383535	8609194	Barra de puntos	Arcilla
Primera	R18	382517	8606920	Barra de puntos	Arena
Primera	R19	382418	8606360	Pared de talud	Arcilla

Campaña	Muestra	UTM X	UTM Y	Tipo de depósito	Tipo de material
Primera	R20	381389	8608192	Barra de puntos	Arcilla
Segunda	RS-9	379213	8609134	Isla	Arena media a gruesa
Segunda	RS-10	395580	8600669	Barra de puntos	Arena media a gruesa
Segunda	RS-11	394307	8600847	Isla	Arena media a gruesa
Segunda	RS-14	390341	8605386	Barra de puntos	Arena media a gruesa
Segunda	RS-18	382557	8606864	Barra de puntos	Arena media a gruesa

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Análisis mineralógico

Para simplificar los análisis, tratamiento de muestras y lograr la caracterización mineralógica, se agruparon las muestras siguiendo criterios geológicos: tipo de depósito fluvial y tipo de sedimento (arena, limos y arcillas), como se muestra en la figura 4.9. Se obtuvo 6 grupos del G1 al G6 (el G2 fue subdividido en dos: G2-1 y G2-2, por la abundancia de material muy fino).

MATERIAL DE SEDIMENTO	Finos (arcillas)	R1 R2 R17 R20 (4 muestras)				G5 R4 R6 R19 (3 muestras)	
	Medianamente finos (limo arenosos)	G2* G2-1: R3 G2-2: R5 R8 R12 (4 muestras)	G3 R15				
	Gruesos (arenas)	G1 R10 R14 R18 (3 muestras)	R16 (2 muestras)	R13 (1 muestra)	G4 R9 R11 (2 muestras)		G6 R7-1 R7-2 R7-3 (3 muestras)
		Barra de punto (cola)	Barra de punto (mitad de cola)	Barra longitudinal (cola)	Isla (Cola)	Terraza (pared de talud)	Antrópico (arenas oscuras)
		TIPO DE DEPÓSITO FLUVIAL					

Figura 4.9. Formación de grupos: G1, G2, G3, G4, G5 y G6; y códigos de muestras. Las muestras en los recuadros blancos no tuvieron grupos asignados.

Fuente: Elaboración propia.

Esta agrupación se determinó en la primera campaña y se mantuvo para la segunda, con el fin de poder realizar comparaciones. Existen muestras que no fueron agrupadas como las muestras R1, R2, R13, R17 y R20 que contienen abundante cantidad de arcillas, fueron muestras ubicadas en zonas muy fangosas, luego del muestreo se decidió no trabajar con estas muestras por contener abundante arcilla que dificulta el proceso de concentración para la caracterización mineralógica. En la tabla 4.2 se encuentran las muestras con su respectivo grupo.

Tabla 4.2
Agrupación de muestras

Tipo de sedimento	Tipo de depósito	Muestras	Grupo
Arena Gruesa	Barra de punto – Cola	R10	G1
Arena Gruesa	Barra de punto - Cola	R14	G1
Arena Gruesa	Barra de punto - Cola	R18	G1
Arena Gruesa	Barra de punto - Cola	RS10	G1
Arena Gruesa	Barra de punto - Cola	RS14	G1
Arena Gruesa	Barra de punto - Cola	RS18	G1
Limo arcilloso	Barra de punto - Cola	R3	G2-1
Limo arcilloso	Barra de punto - Cola	R8	G2-1
Arena fina limosa	Barra de punto - Cola	R5	G2-2
Arena fina limosa	Barra de punto - Cola	R12	G2-2
Arena gruesa y Arena fina limosa	Barra de punto - Mitad de cola	R15	G3
Arena gruesa y Arena fina limosa	Barra de punto - Mitad de cola	R16	G3
Arena Gruesa	Playa de borde - Final de islote	R9	G4
Arena Gruesa	Playa de borde - Final de islote	R11	G4
Arena Gruesa	Playa de borde - Final de islote	RS9	G4
Arena Gruesa	Playa de borde - Final de islote	RS11	G4
Limo arcilloso	Terraza - Pared de talud	R4	G5
Limo arcilloso	Terraza - Pared de talud	R6	G5
Limo arcilloso	Terraza - Pared de talud	R19	G5

Tipo de sedimento	Tipo de depósito	Muestras	Grupo
Arena Gruesa	Residuos mineros – Barra de punto - Cola	R7-1	G6
Arena Gruesa	Residuos mineros – Barra de punto - Cola	R7-2	G6
Arena Gruesa	Residuos mineros – Barra de punto - Cola	R7-3	G6
Limo muy fino arcilloso	Barras de punto - Cola	R1	Sin grupo
Limo muy fino arcilloso	Barras de punto - Cola	R2	Sin grupo
Limo muy fino arcilloso	Barras de punto - Cola	R17	Sin grupo
Limo muy fino arcilloso	Barras de punto - Cola	R20	Sin grupo
Arena Gruesa	Barra longitudinal - Cola	R13	Sin grupo

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Concentración de minerales

Para obtener los minerales de tierras raras y oro se deben separar de otros minerales que no son de interés, para ello se aplican métodos de separación aprovechando las propiedades físicas de los minerales.

Las muestras son una mezcla de sedimentos fluviales de diversas granulometrías, como cantos, arenas, limos y arcillas. Las partículas más finas (arcillas) se encuentran adheridas a granos más gruesos impidiendo la visualización y reconocimiento. Por tal motivo, se retira la mayor cantidad de arcillas de las muestras. Para lograrlo, se empleó la técnica del lavado de sedimentos, que consiste en mezclar agua con la muestra de sedimentos y agitar varias veces, para que las partículas finas entren en suspensión con el agua, luego de agitar se debe esperar a que los sedimentos gruesos decanten para después retirar el agua con los sedimentos finos en suspensión y descartarlos. Se debe realizar este proceso repetidas veces hasta observar una disminución importante en la turbidez el agua, ver figura 4.10. Las muestras secas se presentan en la figura 4.11. Las muestras de terrazas del grupo G5 están compuestas

mayoritariamente por arcillas, por lo que no fueron lavadas. Los pesajes del lavado se muestran en la tabla 4.3.

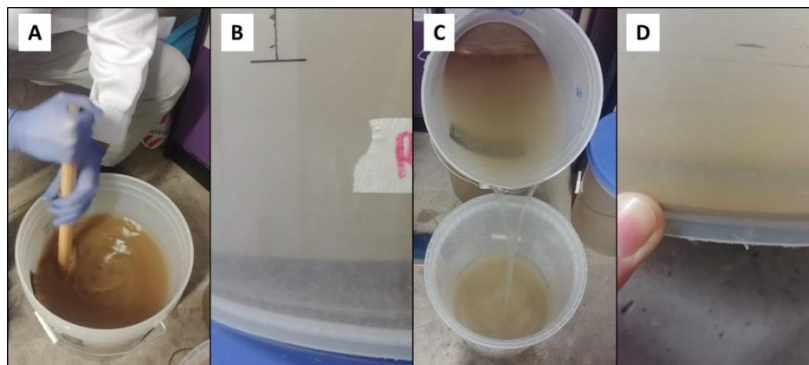


Figura 4.10. Técnica de lavado para la separación de partículas gruesas de finas (arcillas). A: Agitación de la muestra mezclada con agua para tener los finos en suspensión. B: Gruesos en el fondo del recipiente. C: decantación del agua con finos en suspensión. D: finos decantados.

Fuente: Elaboración propia.

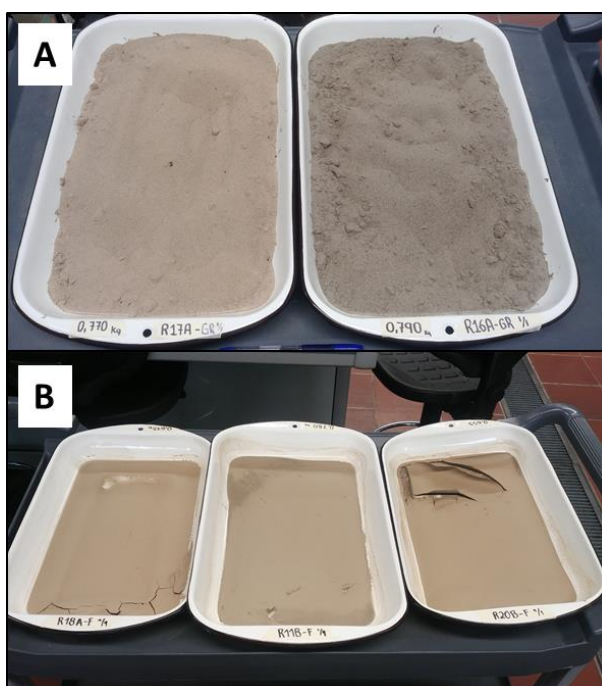


Figura 4.11. Sedimentos gruesos separados de los finos luego de aplicar la técnica de separación por lavado. A: Sedimentos gruesos secos. B: Sedimentos finos secos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3
Pesajes y porcentajes del lavado de muestras

Campaña	Grupo	Peso de muestra (kg)	Gruesos		Finos (arcillas)	
			(kg)	(%)	(kg)	(%)
1°	G1	21.935	21.466	98%	0.469	2%
1°	G2-1	14.63	13.558	93%	1.072	7%
1°	G2-2	13.08	12.806	98%	0.274	2%
1°	G3	7.17	7.039	98%	0.131	2%
1°	G4	23.285	23.047	99%	0.238	1%
1°	G6	39.76	39.148	98%	0.612	2%
2°	G1	29.819	29.307	98%	0.512	2%
2°	G4	19.8755	19.2815	97%	0.594	3%

Fuente: Elaboración propia.

Granulometría

El tamizaje se realizó utilizando un tamizador Ro-Tap con las mallas 70, 140, 400 y fondo. En la tabla 4.4 y figura 4.12, se muestran los resultados del tamizaje realizado en la primera campaña.

Tabla 4.4
Granulometría de las muestras y pesaje.

Campaña	Grupo	Malla 70	Malla 140	Malla 400	Fondo
		> 212 μm	(212 – 105) μm	(105 – 38) μm	< 38 μm
		g	g	g	g
1°	G1	660	1382	90	2
1°	G2-1	3	1763	231	6
1°	G2-2	8	1131	129	1
1°	G3	39	1077	102	2
1°	G4	3754	1791	58	1
1°	G5	694	1873	341	36
1°	G6	9813	2137	69	4
2°	G1	5164	3242	599	9
2°	G4	137	3475	364	5

Fuente: Elaboración propia.

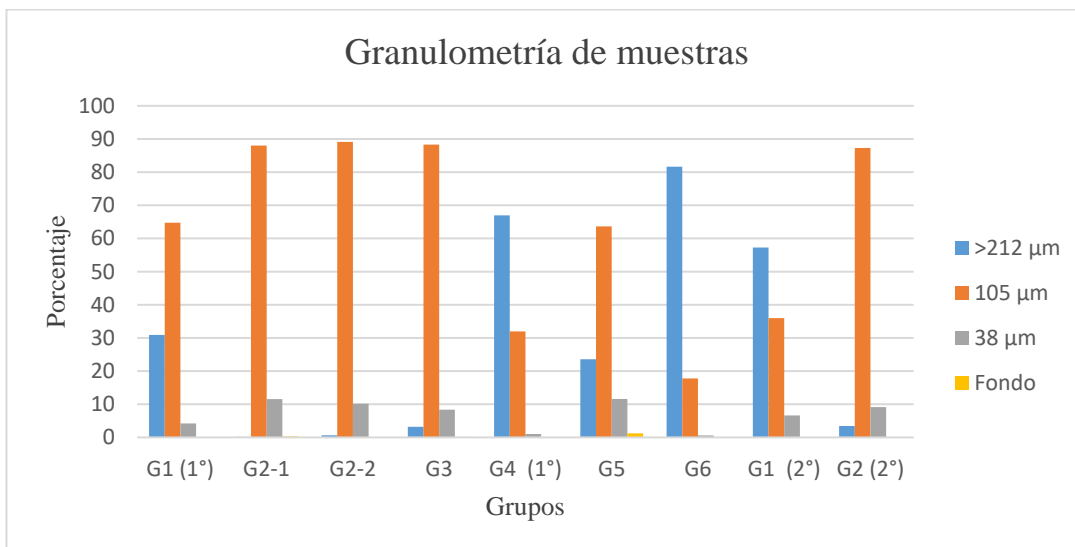


Figura 4.12. Granulometría de las muestras en porcentajes. Se observa que el mayor peso de los sedimentos se encuentra entre las granulometrías 212 μm y 105 μm .

Fuente: Elaboración propia.

Gravimetría

Se realizó una concentración gravimétrica mediante el uso de una batea para los grupos G1, G4 y G6 que presentaron mayores leyes de tierras raras y oro en el análisis químico (numeral 4.2.3). El bateo se realizó colocando un kilogramo de muestra en el plato de bateo se agregó agua y mediante agitaciones circulares se retiró los sedimentos ligeros, para quedarse con los pesados en el fondo del plato, ver figura 4.13.

Separación magnética

El concentrado pesado, fue sometido al magnetismo de un imán convencional para retirar la magnetita y así obtener un concentrado final libre de magnetita, ver figura 4.14.



Figura 4.13. Proceso de concentración gravimétrica por bateo. A: Se muestra el zarandeo con agua para que las partículas pesadas se asienten al fondo de la batea. B: Se muestran arenas negras que corresponden a los minerales pesados concentrados.

Fuente: Elaboración propia.

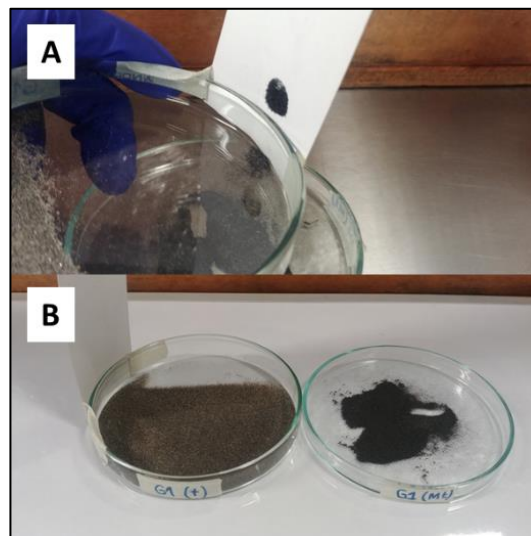


Figura 4.14. Proceso de separación magnética. A: separación de magnetita mediante el uso de un imán (detrás del cartón blanco). B: A la izquierda el mineral concentrado libre de magnetita y a la derecha la magnetita separada.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.5 se muestran los pesos y porcentajes obtenidos luego de la concentración gravimétrica y magnética en la primera y segunda campaña, los porcentajes son calculados con respecto a la muestra inicial.

Tabla 4.5

Resultados de gravimetría, separación magnética y concentrado final

Campaña	Grupo	Muestra inicial (g)	Concentración gravimétrica (pesados) (g)	Separación magnética (magnetita) (g)	Sedimentos pesados libres de magnetita (concentrado final) (g)
1°	G1	1000	8.14	1.721	6.41 0.64
1°	G4	1000	7.468	1.243	6.19 0.62
1°	G6	1000	46.82	7.02	39.8 3.98
2°	G1	5100	51	7	44 0.86
2°	G4	5000	389	48	341 6.82

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Análisis químicos

En este proceso se busca conocer los elementos químicos que componen a las muestras. Se enviaron las muestras al laboratorio CERTIMIN, los resultados se muestran en el anexo 2. Las muestras enviadas corresponden a dos fracciones granulométricas: [-70 +140] y [-140 +400], que tienen la mayor probabilidad de encontrar minerales de tierras raras y oro.

Análisis químicos multielementales.

Los tipos de análisis fueron los siguientes:

- Análisis de oro por ensayo al fuego – AAS.
- Análisis multielemental por ICP-OES – Digestión con agua regia (HNO₃, HCl).
- Análisis de tierras raras por análisis multielemental de espectrometría de masa con plasma acoplado inducido (ICP-MS)-Fusión con metaborato de litio.

En las muestras correspondientes a los grupos G1 y G4 de la primera campaña, en la fracción [-140 +400] no se tuvo la cantidad suficiente de muestra que requiere el laboratorio (300 g), por lo que se decidió mezclarlas con “arena de cuarzo”, la ley de oro detectada corresponde a la mezcla, mas no al de la muestra de campo. Por este motivo, se realizó una corrección para conocer la verdadera ley de la muestra de campo (sin la arena de cuarzo). El cálculo se realizó de la siguiente manera:

- Cálculo del peso de oro contenido en la muestra de campo ($W_{Au-muestra\ campo}$):

$$W_{Au-muestra\ campo} = (Ley_{muestra\ analizada}) \times (W_{muestra\ analizada})$$

- Cálculo de la ley de oro de la muestra de campo ($Ley_{Au-muestra\ campo}$):

$$Ley_{Au-muestra\ campo} = (W_{Au-muestra\ campo}) \times (W_{Muestra\ campo})$$

Los resultados de las correcciones se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6
Resultados de las correcciones de leyes de oro

Grupo y fracción granulométrica	W muestra analizada (g)	Ley muestra analizada (ppm)	W Au-Muestra Campo (g)	W Muestra campo (g)	Ley Au-Muestra campo (ppm)
G1 [-140 +400]	300	0.077	23.1×10^{-6}	61	0.38
G4 [-140 +400]	300	0.043	12.9×10^{-6}	40	0.32

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de las tierras raras reportadas en la fracción compuesta (mezcla con arena de cuarzo), no se podría afirmar que corresponden a la muestra original, debido a que la presencia de tierras raras podría estar presentes como trazas en los minerales componentes de la arena de cuarzo y elevar la concentración de estos elementos en el resultado final, de todas maneras, se consideró mantener los resultados como referencia.

Los resultados de los análisis químicos multielementales y las correcciones realizadas para las muestras con contenidos de oro se muestran en la tabla 4.7.

Tabla 4.7

Resultados de análisis químicos realizados a los grupos. Resultados expresados en ppm (partes por millón).

Elemento	MUESTRAS DE 1° CAMPAÑA														MUESTRAS DE 2° CAMPAÑA			
	G1-	G1-	G2-1-	G2-1-	G2-2-	G2-2-	G3-	G3-	G4-	G4-	G5-	G5-	G6-	G6-	G1-	G1-	G4-	G4-
	140	400	140	400	140	400	140	400	140	400	140	400	140	400	140	400	140	400
Au	< 0.005	0.38	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.32	< 0.005	0.03	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
La	43.4	68.8	36.9	51	30.7	67	29.7	61.3	47.3	126	35	47.8	183	92.2	46	104	50.9	314
Ce	88.9	141	72.4	104	63.3	136	60.9	124	96	261	71.5	97.3	404	192	95.3	219	107	689
Pr	10.63	17.26	8.34	12.49	7.47	16.56	7.32	15.27	11.55	32.36	8.46	11.67	48.64	23.17	11.16	25.17	12.53	80.07
Nd	38.4	64	31.2	45.1	27.5	60.2	26.2	55.1	40.9	118	30.7	41.9	178	83.1	43.6	98.8	49.4	319
Sm	6.84	11.25	5.43	8.51	4.39	10.73	4.97	10.02	7.65	22.36	5.91	8.26	31.53	15.84	7.94	17.95	8.86	57.3
Eu	1.45	2	1.21	1.72	1.13	2	1.1	1.86	1.52	3.85	1.31	1.64	5.39	2.86	1.54	3.04	1.64	9.28
Gd	5.28	9.8	5.1	7.55	4.06	9.77	4.31	8.89	6.05	17	5.09	7.07	20.6	12.5	5.94	14.96	6.43	42.22
Tb	0.76	1.47	0.77	1.15	0.61	1.49	0.59	1.29	0.87	2.55	0.79	1.17	2.29	1.66	0.84	2.21	0.8	5.62
Dy	4.28	8.87	4.87	7.37	3.54	8.75	3.56	7.14	4.9	15.1	4.44	6.93	11.3	9.37	4.43	12.87	4.11	30.65
Ho	0.92	1.91	0.88	1.47	0.76	1.97	0.7	1.55	1.01	3.26	0.95	1.5	2.22	2.12	0.92	2.84	0.85	6.79
Er	2.68	5.76	2.77	4.18	2.05	5.3	2.08	5.27	2.95	9.5	2.77	4.64	6.8	6.54	2.66	9.06	2.35	21.92
Tm	0.41	0.96	0.4	0.72	0.28	0.83	0.31	0.78	0.39	1.62	0.37	0.66	1.02	1.11	0.41	1.46	0.35	3.7
Yb	2.74	6.72	2.74	4.44	2	5.89	2.24	5.42	3.35	11.8	2.71	4.63	7.47	7.74	2.78	10.31	2.27	25.78
Lu	0.47	1.04	0.4	0.73	0.28	0.9	0.32	0.9	0.53	1.91	0.44	0.71	1.33	1.29	0.44	1.66	0.3	4.29
Hf	15.3	48	9	19.9	8	37.3	7.8	37.3	18	101	12.1	24.9	78.9	74.5	16.5	101	8	302
Zr	535	1632	315	703	280	1239	270	1277	651	3655	434	863	3068	2871	628	3693	319	>10000
Ti	80	180	50	90	50	160	50	210	90	350	60	70	400	260	80	200	130	680

Fuente: Elaboración propia.

En la segunda campaña de muestreo no se encontró oro y solamente se muestreó en los depósitos fluviales de los grupos G1 y G4. Los contenidos de oro de ambas campañas se muestran en la figura 4.15.

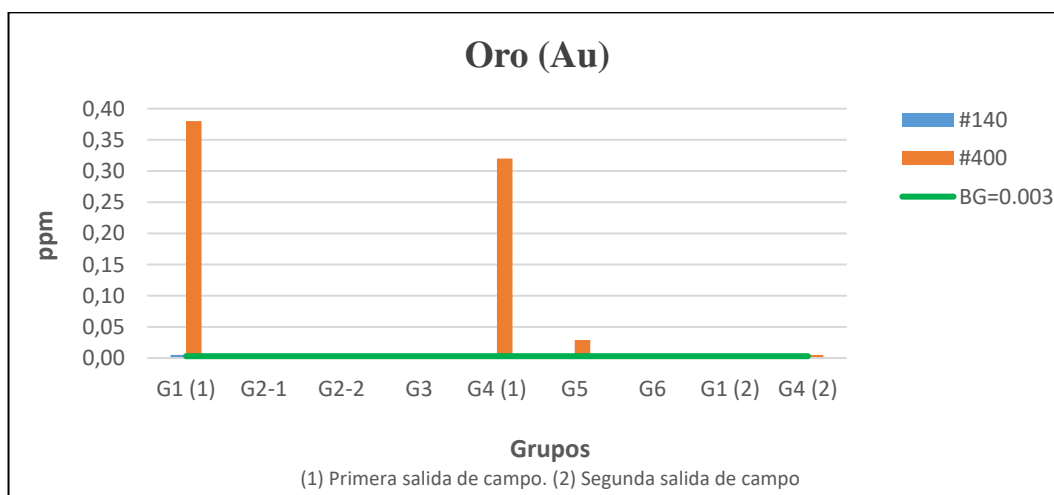


Figura 4.15. Contenido de oro de los grupos en las dos campañas de muestreo. Contenido de oro en las fracciones granulométricas [-70 +140] y [-140 +400]. BG: Background máximo en la corteza terrestre.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de las tierras raras, se detectó contenidos por encima del *background* (0.8 a 46 ppm en la corteza terrestre) en La, Ce, Pr, Nd y Sm, este último solo en la muestra G4, malla 400, de la segunda campaña. En las figura 4.16 hasta la figura 4.20, se muestran gráficas de los contenidos de lantano, cerio, neodimio, praseodimio y samario de las mallas 140 y 400, en ambas campañas, comparados con el background de la corteza terrestre.

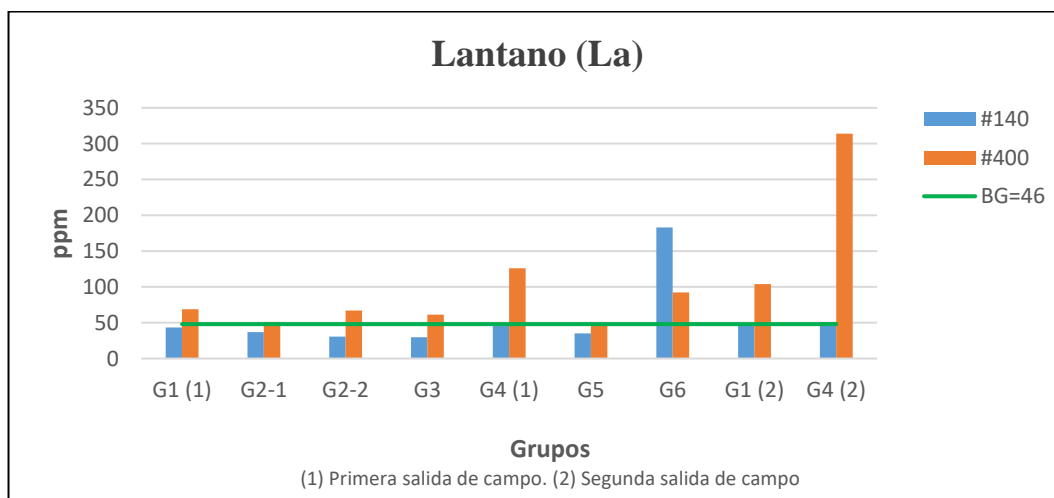


Figura 4.16. Contenido de lantano en las dos campañas de muestreo. BG: Background máximo en la corteza terrestre.

Fuente: Elaboración propia.

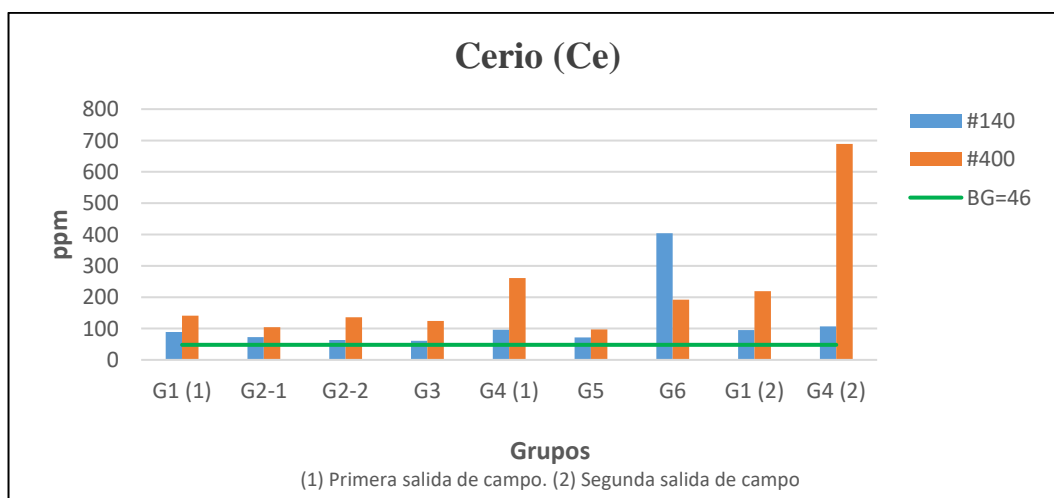


Figura 4.17. Contenido de cerio en las dos campañas de muestreo. BG: Background máximo en la corteza terrestre.

Fuente: Elaboración propia.

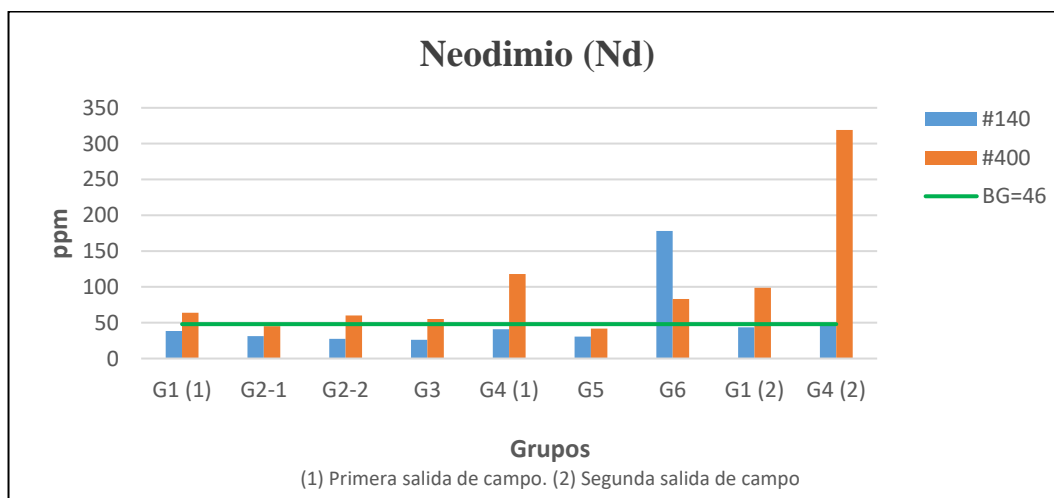


Figura 4.18. Contenido de neodimio en las dos campañas de muestreo. BG: Background máximo en la corteza terrestre.

Fuente: Elaboración propia.

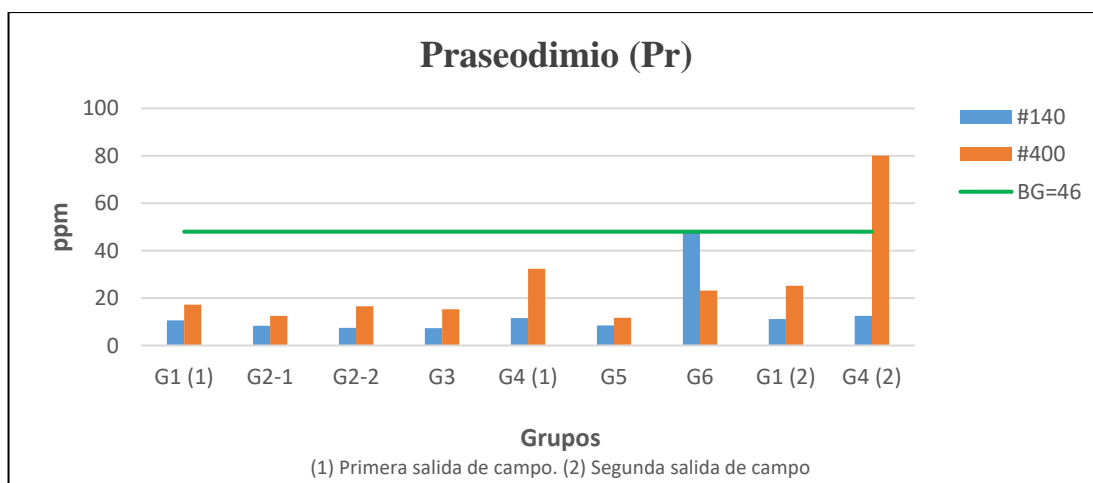


Figura 4.19. Contenido de praseodimio en las dos campañas de muestreo. BG: Background máximo en la corteza terrestre.

Fuente: Elaboración propia.

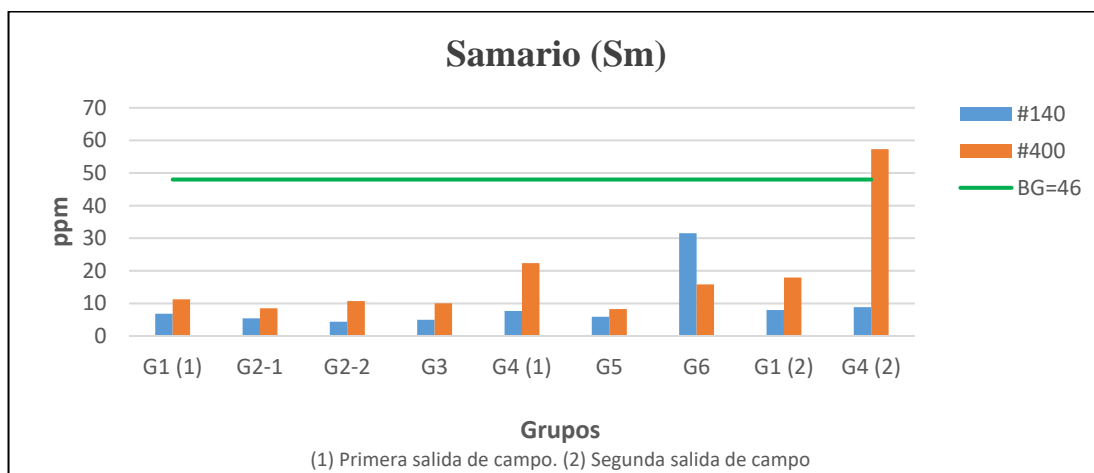


Figura 4.20. Contenido de samario en las dos campañas de muestreo. BG: Background máximo en la corteza terrestre.
Fuente: Elaboración propia.

Las leyes de tierras raras totales se obtienen sumando los valores de todas las leyes de tierras raras detectadas. En la tabla 4.8 se muestra las leyes de tierras raras totales de las dos mallas (140 y 400), en las dos campañas de muestreo para los grupos G1, G4 y G6.

Tabla 4.8
Ley de tierras raras totales

Grupo	Ley tierras raras totales (%)
G1 (1° Campaña)	0.55
G1 (2° Campaña)	0.75
G4 (1° Campaña)	0.85
G4 (2° Campaña)	1.86
G6 (Residuos mineros)	1.36

Medición de densidades

Las muestras presentan diferentes densidades luego de realizar la concentración granulométrica y gravimétrica. En la tabla 4.9 se muestra las medidas de densidad, utilizando un picnómetro marca ULTRAPYC modelo 1200e.

Tabla 4.9
Registro de densidades

Campana	Grupo	Densidad del grupo (g/cm ³)	Malla #70 (g/cm ³)	Malla #140 (g/cm ³)	Malla #400 (g/cm ³)	Fondo (g/cm ³)	Concentración gravimétrica (Pesados) (g/cm ³)	Separación magnética (Magnetita) (g/cm ³)	Sedimentos pesados, libres de magnetita (g/cm ³)
1°	G1	2.807	2.756	2.824	2.939	2.749	4.547	4.39	5.2
1°	G4	2.792	2.795	2.774	3.138	2.732	4.768	4.608	5.572
1°	G6	2.805	2.772	2.953	3.133	2.735	4.042	3.933	4.798
2°	G1	2.806	2.78	2.821	2.956	3.109	3.867	3.677	6.212
2°	G4	2.881	2.834	2.839	3.387	SM	4.499	3.451	4.674

SM: Sin muestra, no se tuvo muestra suficiente para realizar las mediciones de densidad.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Análisis mineralógicos

Se realizó una descripción mineralógica utilizando un estereomicroscopio, microscopio de polarización y también se aplicó análisis por difracción de rayos X (DRX), como a continuación se describe.

Análisis macroscópico

La coloración de los sedimentos en las fracciones granulométricas más gruesas tiende a ser más clara (pardo grisáceo) con abundante contenido de minerales félsicos (mayormente cuarzo, plagioclasas y ortosas), figura 4.21. En las granulometrías más finas, malla 400, tiende a encontrarse abundantes partículas oscuras, arenas negras, que corresponde a minerales máficos como hornblendas, magnetita y hematita, ver figura 4.22. En el material retenido en la malla 70 (partículas mayores a 0.2 mm de

diámetro) se puede encontrar material orgánico, restos de vegetación, gravillas, y granos muy pequeños de roca.



Figura 4.21. Coloración de las muestras de los grupos.

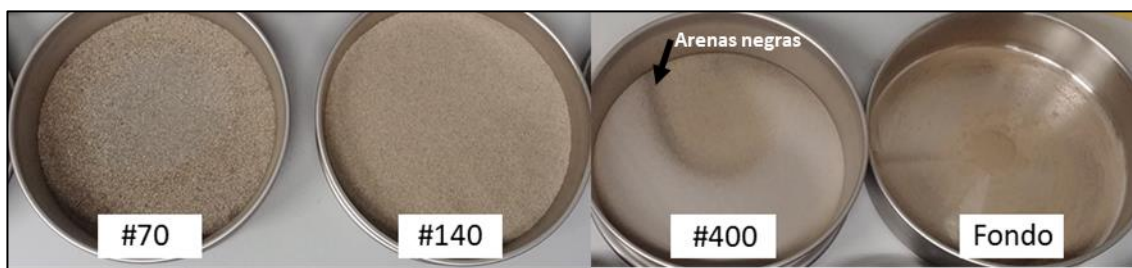


Figura 4.22. Coloración de los sedimentos retenidos en las fracciones granulométricas.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis con el estereomicroscopio

Se analizó el material retenido en las mallas 140, 400 y el concentrado final de los grupos G1, G4 y G6, utilizando un estereomicroscopio marca Alpha Optics.

En la figura 4.23 se muestran minerales retenidos en las mallas 140 y 400, observándose que los granos corresponden a una sola especie mineral y presentan alto grado de libertad.

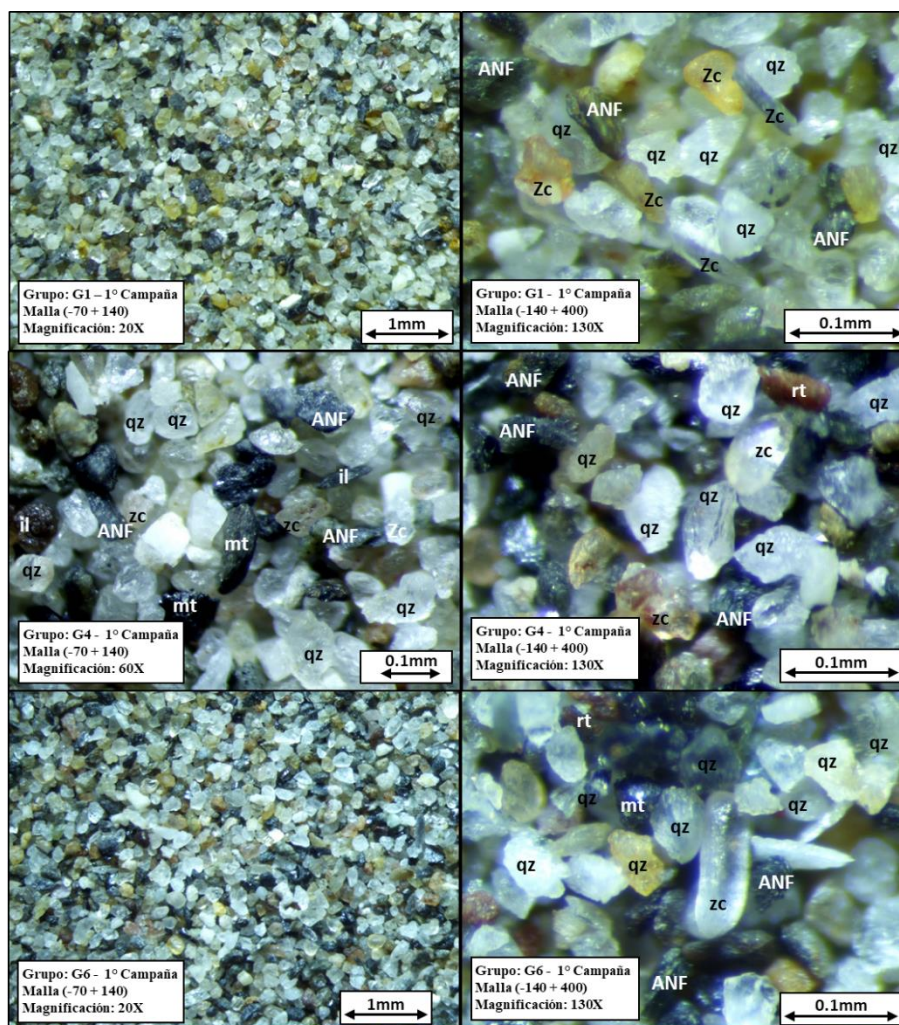


Figura 4.23. Vista al estereomicroscopio de los granos retenidos en las mallas 140 y 400.

Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 4.24, 4.25 y 4.26, se muestran los granos de mineral del concentrado final, se observa mayor contenido de minerales máficos (minerales pesados), además se puede visualizar monacita y zircón libre, además también se puede encontrar monacita incluida en granos de cuarzo. La descripción de los minerales se encuentra en la tabla 4.10.

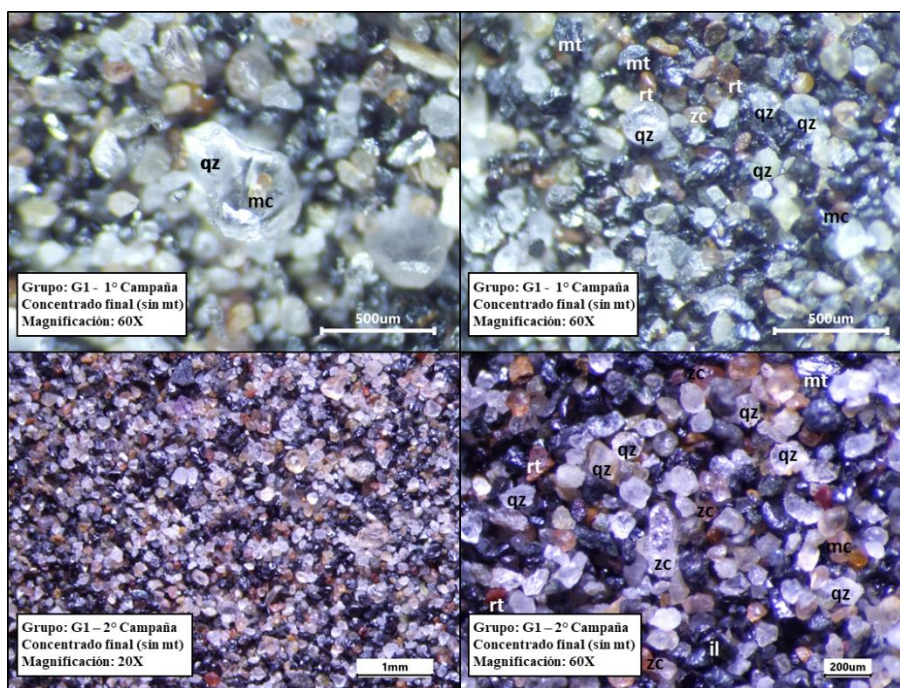


Figura 4.24. Vista al estereomicroscopio del concentrado final del grupo G1.

Arriba: 1° campaña. Abajo: 2° campaña. Abreviaturas: qz: cuarzo, zc: zircón, mc: monacita, mt: magnetita, rt: rutilo.

Fuente: Elaboración propia.

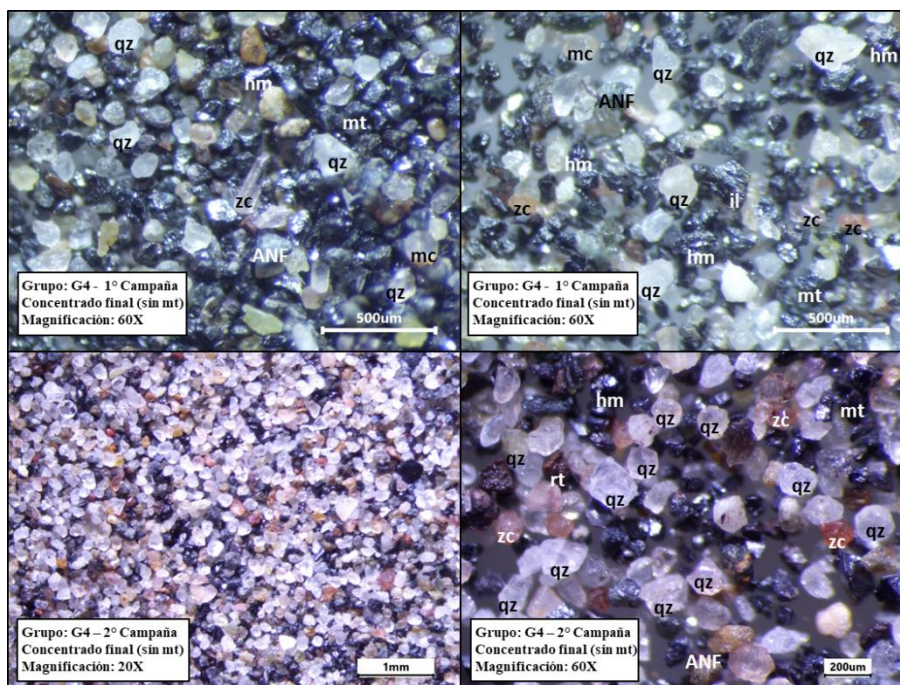


Figura 4.25. Vista al estereomicroscopio del concentrado final del grupo G4.

Arriba: 1° campaña. Abajo: 2° campaña. Abreviaturas: qz: cuarzo, zc: zircón, mc: monacita, mt: magnetita, il: ilmenita, hm: hematita, ANF: anfíboles.

Fuente: Elaboración propia.

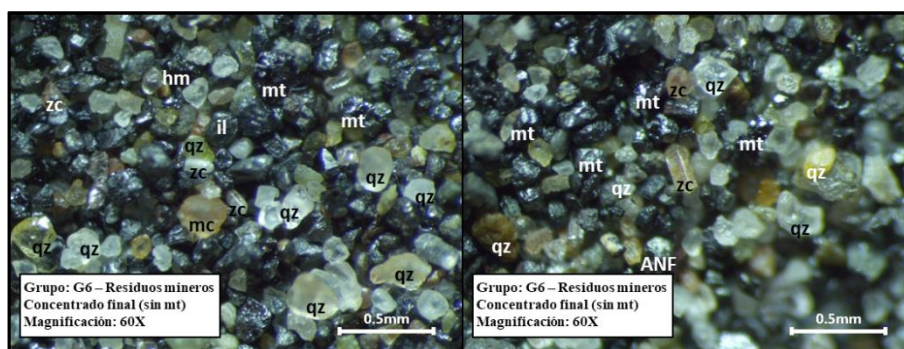


Figura 4.26. Vista al estereomicroscopio del concentrado final del grupo G6, residuos mineros. Abreviaturas: qz: cuarzo, zc: zircón, mc: monacita, mt: magnetita, il: ilmenita, hm: hematita.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10

Descripción de minerales en vista estereomicroscópica

Minerales	Color	Hábito	Redondez	Esfericidad
Cuarzo	Blanco e incoloro	Granular, masivo	Sub-redondeado	Esférico a sub-discoidal
Zircón	Rosado e incoloro	prismático a sub-prismático	Redondeado	Prismático a sub-prismático
Monacita	Amarillo claro e incoloro	Granular	Sub-discoidal a redondeado	Esférico
Anfíboles	Gris verdoso oscuro	Granular y prismático	Sub-redondeado	Sub-prismático
Hematita	Gris oscuro	Granular	Sub-redondeado	Sub-prismático
Ilmenita	Gris oscuro	Granular y tabular hexagonal	Sub-redondeado	Sub-prismático
Magnetita	Negro	Granular y cúbico incompleto	Sub-redondeado	Sub-prismático
Rutilo	Marrón	Granular	Sub-redondeado	Sub-prismático

Fuente: Elaboración propia.

Análisis con el microscopio de polarización

Las secciones delgadas para este análisis son láminas de 30 μm de espesor. El análisis se realizó utilizando el microscopio de polarización marca Olympus BX51. La descripción de las muestras al microscopio se muestra en las figuras del 4.27 al 4.36.

- **Grupo G1 – 1° campaña:**

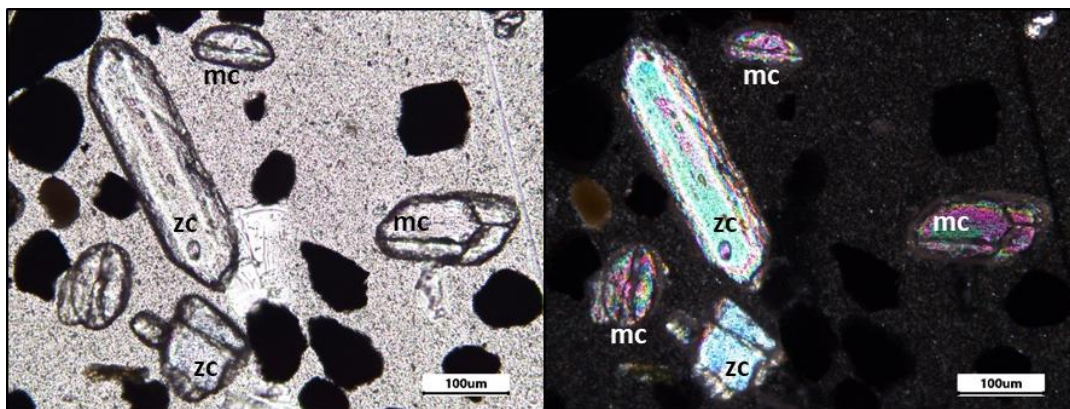


Figura 4.27. Vista de minerales del concentrado del grupo G1 - 1° campaña. Magnificación 100X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Zircón (zc) prismático alargado desgastado, de aproximadamente 300 μm . Monacita (mc) de formas redondeadas a subredondeadas y subprismáticas de aproximadamente 100 μm .

Fuente: Elaboración propia.

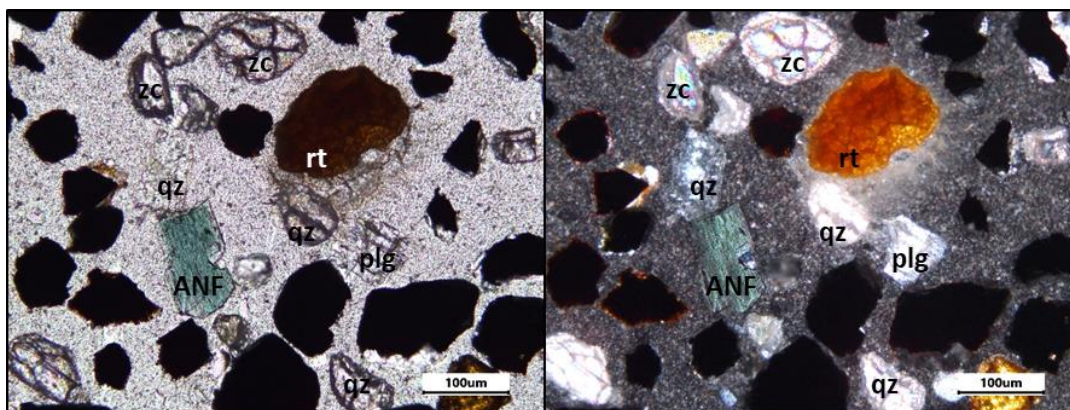


Figura 4.28. Vista de minerales del concentrado del grupo G1 – 1° campaña. Magnificación 100X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Granos de cuarzo (qz) subredondeados a subdiscoidales de 100 a 150 μm de tamaño aproximado. Zircón (zc) subprismático de aproximadamente 90 μm , un grano (arriba) con fracturas. Anfíboles (ANF) subdiscoidal y subredondeado de tamaño aproximado de 200 μm .

Plagioclasa (plg) subangulosa y subdiscoidal de aproximadamente 80 μm .

Fuente: Elaboración propia.

- Grupo G1 – 2° campaña:

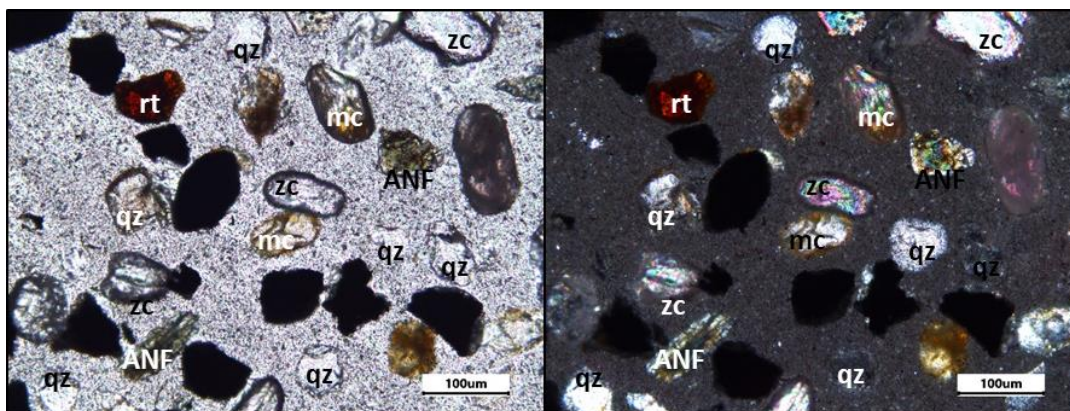


Figura 4.29 Vista de los minerales del concentrado del grupo G1 - 2° campaña. Magnificación 100X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Cuarzo (qz) esférico a subprismático de tamaños aproximados de 80 µm. Zircón (zc) prismático a subprismático y subredondeados de aproximadamente 100 µm. Monacita (mc) esférica a subprismática y subredondeada de tamaño aproximado 100 µm. Rutilo (rt) subdiscoidal y angulosa de tamaño aproximado de 100 µm. Anfíboles (ANF) prismática a subprismática y angulosa de aproximadamente 100 µm.

Fuente: Elaboración propia.

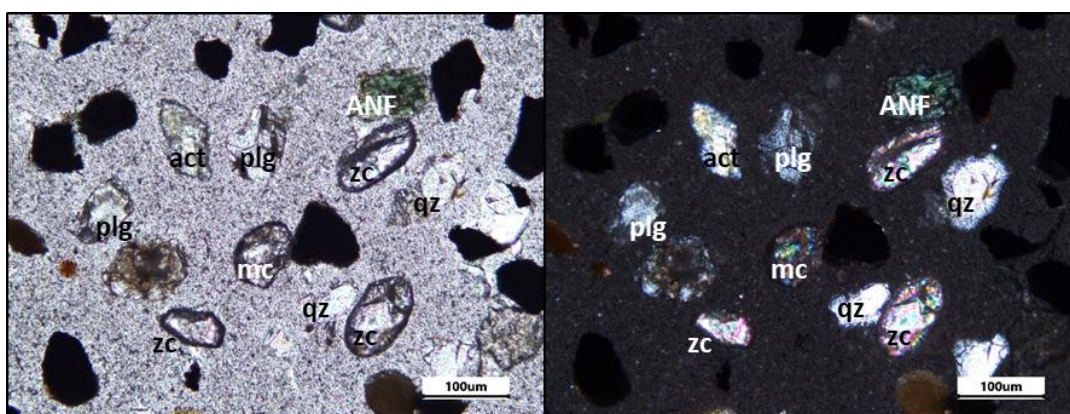


Figura 4.30. Vista de granos de minerales del concentrado del grupo G1 - 2° campaña. Magnificación 100X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Cuarzo (qz) subdiscoidal a esférico de tamaños aproximados de 100 µm. Zircón (zc) prismático a subprismático y subredondeados de aproximadamente 100 µm. Monacita (mc) esférica y subredondeada de tamaño aproximado 80 µm. Anfíboles (ANF) subdiscoidal y subangulosa de aproximadamente 100 µm. Plagioclasa (plg) subdiscoidal y subredondeada de aproximadamente 80 µm.

Fuente: Elaboración propia.

- Grupo G4 – 1° campaña:

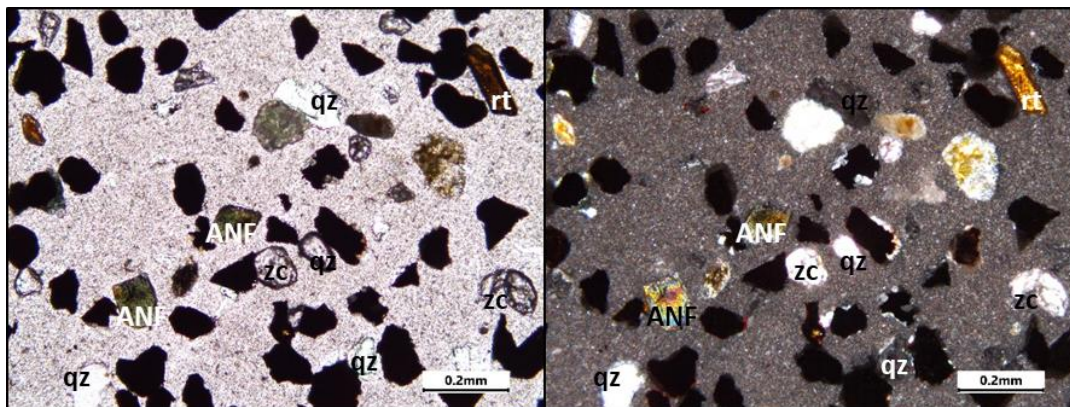


Figura 4.31. Vista de granos de minerales del concentrado del grupo G4 – 1° campaña. Magnificación 50X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Granos de cuarzo (qz) subredondeados a subdiscoidales de 100 a 150 μm de tamaño aproximado. Zircón (zc) subprismático a esférico de aproximadamente 100 a 150 μm . Anfíboles (ANF) esférica y angulosa de aproximadamente 80 μm . Rutilo (rt) subprismático y subredondeado de aproximadamente 200 μm .

Fuente: Elaboración propia.

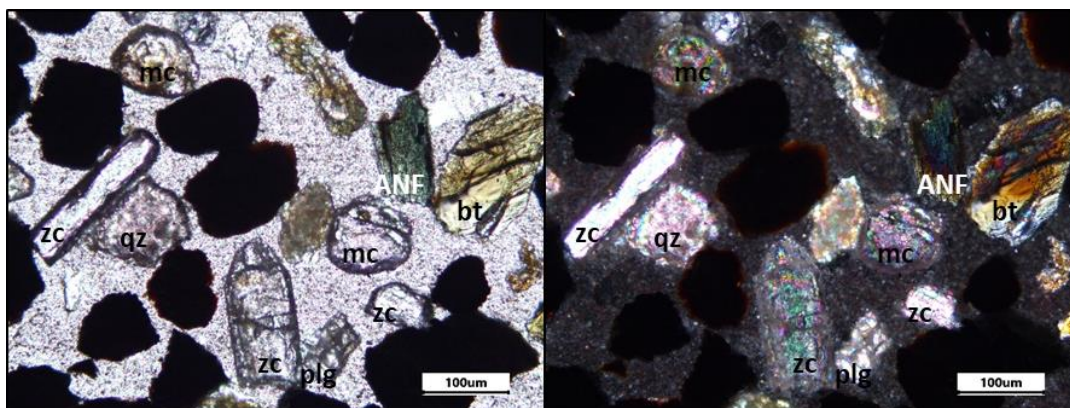


Figura 4.32. Vista de granos de minerales del concentrado del grupo G4 - 1° campaña. Magnificación 100X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Zircón (zc) prismático a subprismático subredondeados de aproximadamente 100 a 200 μm . Monacita (mc) esférica y subredondeada de tamaño aproximado 100 μm . Biotita (bt) subprismática y angulosa de tamaño aproximado de 200 μm . Anfíboles (ANF) subprismática y angulosa de aproximadamente 120 μm .

Fuente: Elaboración propia.

- Grupo G4 – 2° campaña:

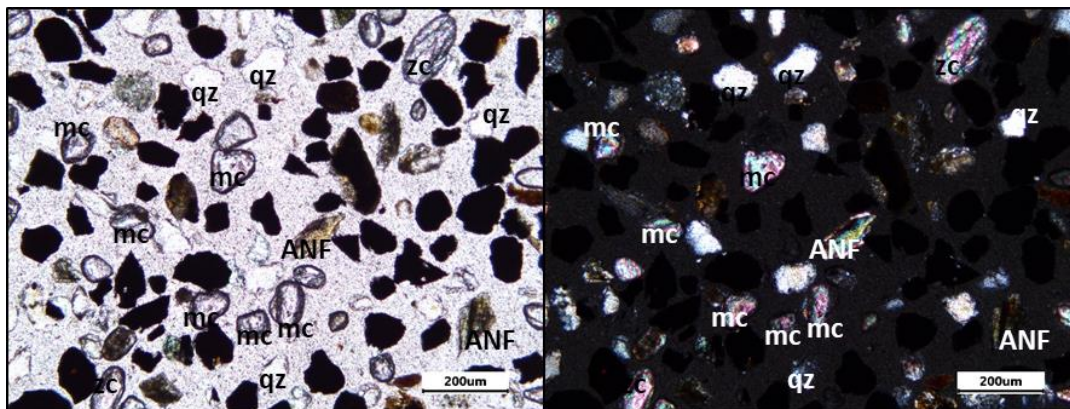


Figura 4.33. Vista de los minerales del concentrado del grupo G4 - 2° campaña. Magnificación 50X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Cuarzo (qz) subdiscoidal a esférico de tamaños aproximados de 100 a 150 μm . Zircón (zc) prismático y redondeado de aproximadamente 200 μm . Monacita (mc) esférica a subdiscoidal y subredondeada de tamaño aproximado 80 μm . Anfíboles (ANF) prismática a subprismática y angulosa de aproximadamente 100 μm .

Fuente: Elaboración propia.

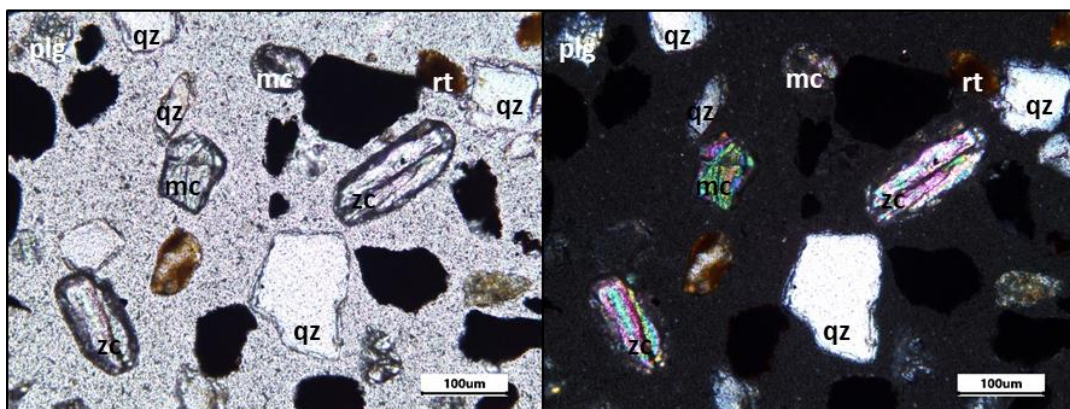


Figura 4.34. Vista de los minerales del concentrado del grupo G4 - 2° campaña. Magnificación 100X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Cuarzo (qz) subdiscoidal subredondeado de tamaños aproximados de 100 a 150 μm . Zircón (zc) prismático y redondeado de aproximadamente 100 a 150 μm . Monacita (mc) esférica a subdiscoidal y subangulosa a subredondeada de tamaño aproximado 100 μm . Rutilo (rt) subdiscoidal y subangulosa de aproximadamente 80 μm .

Fuente: Elaboración propia.

- **Grupo G6 – Residuos mineros:**

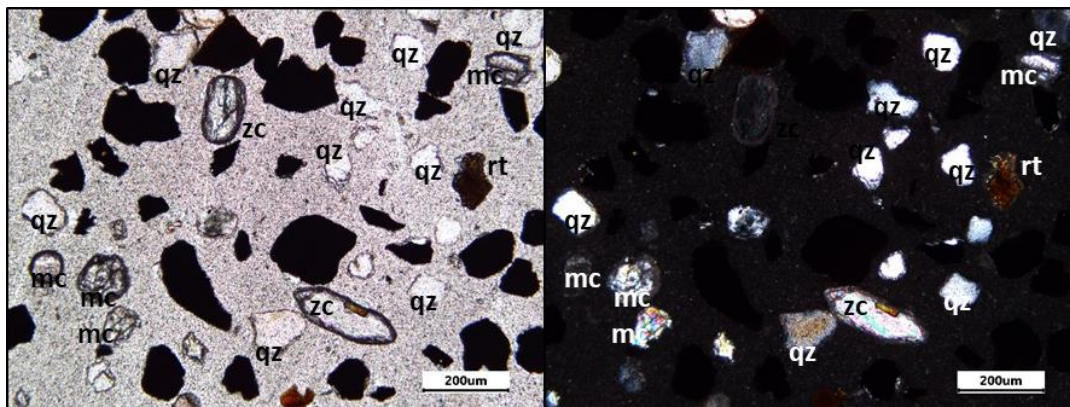


Figura 4.35. Vista de los minerales del concentrado del grupo G6 – Residuos mineros. Magnificación 50X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Abundantes minerales opacos que corresponden mayoritariamente a magnetita e ilmenita. Cuarzo (qz) de 50 a 200 µm de tamaño, subanguloso y subdiscoidal. Zircón (zc) prismático a subprismático subredondeados de aproximadamente de 200 µm a 250 µm. Monacita (mc) subdiscoidal y subanguloso de tamaños de aproximadamente 100 µm. Rutilo (rt) subdiscodal y subanguloso de aproximadamente 100 µm.

Fuente: Elaboración propia.

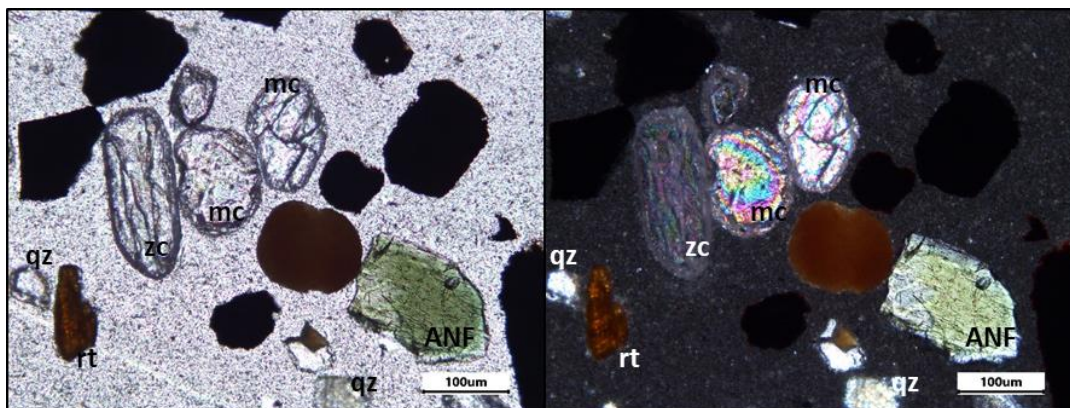


Figura 4.36. Vista de granos de minerales del concentrado del grupo G6 – Residuos mineros. Magnificación 100X. A la izquierda en nícoles paralelos. A la derecha en nícoles cruzados. Todos los minerales presentan un alto grado de libertad (100%). Cuarzo (qz) de 50 a 100 µm de tamaño, subanguloso y subdiscoidal. Monacita (mc) de formas subdiscoidales y subredondeada de 100 a 120 µm. Zircón (zc) de forma prismática subredondeada, de tamaño aproximado de 250 µm. Anfíboles (ANF) subprismática y angulosa de aproximadamente 200 µm. Rutilo (rt) de aproximadamente 120 µm de color marrón claro, de forma subprismático.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis por difracción de rayos X (DRX)

Los análisis de difracción de rayos X se realizaron en el laboratorio BIZALAB, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 4.11. Este análisis fue realizado a las muestras del grupo G6 de la primera campaña y a las del grupo G1 y G4 de la segunda campaña. No se pudo realizar análisis para el grupo G1 y G4 de la primera campaña porque no se tuvo suficiente muestra. Existe abundante presencia de cuarzo, seguido de minerales con contenido de hierro y titanio como la hematita e ilmenita, los demás minerales reportados presentan poca abundancia. El reporte completo de todas las muestras analizadas por BIZALAB se encuentran en el anexo 2.

Tabla 4.11
Resultados del análisis de difracción de rayos X

Nombre de mineral	Fórmula química	G6-CON- SC1 (% aprox.)	G1-CON- SC2 (% aprox.)	G4-CON- SC2 (% aprox.)
Cuarzo	SiO ₂	31	42	50
Ilmenita	FeTiO ₃	24	18	11
Hematita	Fe ₂ O ₃	18	11	9
Anfibol (actinolita)	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	8	7	12
Mica (Moscovita)	KA ₁₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	4	6	4
Zircón	ZrSiO ₄	4	5	3
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	6	4	5
Plagioclasa (andesina)	(Ca,Na)(Al,Si)4O ₈	2	3	3
Rutilo	TiO ₂	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Anatasa	TiO ₂	< L.D.	< L.D.	< L.D.

SC1: Primera campaña. SC2: Segunda campaña.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis por espectrometría de absorción atómica

El análisis multielemental fue realizado en el Laboratorio de Espectrometría de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.12, los análisis fueron realizados al concentrado final del grupo G1, G4 y G6 de la primera campaña, debido a que las de la segunda campaña fueron analizadas por DRX, el reporte completo se encuentra en el anexo 2.

Tabla 4.12

Resultados del análisis multielemental realizado a las muestras de concentrado

Componentes químicos	G1-CON	G4-CON	G6-CON
%SiO ₂	28.6	21.9	27.9
%Fe ₂ O ₃	41.41	47.13	47
%TiO ₂	25.36	26.69	21.02
%Zr	1.94	1.82	1.11
Au (ppm)	0.51	0.41	1.54
La(ppm)	29	38	34
Ce (ppm)	71	82	76
Nd (ppm)	23	26	29

Fuente: Elaboración propia.

La figura 4.37 muestra el resumen de concentrado y análisis mineralógico realizado a las muestras de ambas campañas.

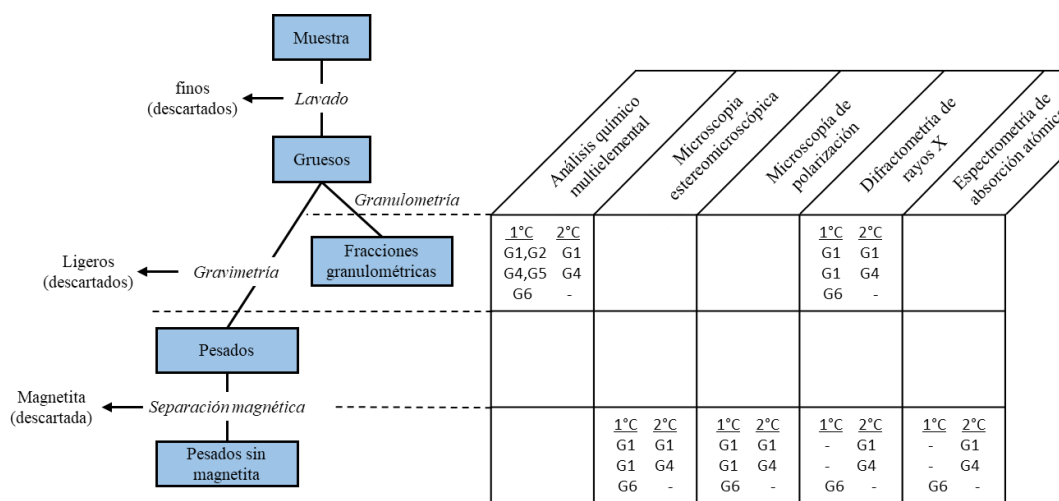


Figura 4.37. Resumen de concentrado y análisis mineralógico. 1°C: Primera campaña, 2°C: Segunda campaña.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los reportes de análisis químicos multielementales mostraron bajas leyes de oro y altas leyes de elementos de tierras raras en muestras provenientes de las colas de las barras de punto e islas. Según lo expuesto por Lanckneus (1991), los minerales pesados y oro se encuentran en las cabezas de las barras de punto, debido a las altas leyes de oro encontradas en los muestreos realizados en su estudio. Sin embargo, en la salida de campo de la presente investigación, no se pudo tomar muestra de las cabezas de las barras de punto debido al abundante canto rodado, maleza, troncos y vegetación presente que impidieron una toma de muestra representativa, por este motivo, se tomaron muestras de las colas de las barras de punto que fueron de fácil acceso.

5.1 Tierras raras y oro en depósitos fluviales y residuos mineros

Solamente se detectó oro en depósitos fluviales de barras de punto e islas, pero con leyes muy bajas (menores a 0.38 ppm). Estas leyes de oro no podrían ser representativas de todo el depósito fluvial debido al efecto pepita presente en estos tipos de depósitos, para este fin, se debería plantear un muestreo diferente que cubra muchas más zonas en un mismo depósito fluvial. En la segunda campaña no se obtuvo

valores de oro. Por otro lado, los minerales de tierras raras tienen una distribución más homogénea y regular, que se puede evidenciar en el análisis mineralógico.

Las muestras de campo están compuestas mayoritariamente por cuarzo seguido de magnetita, ilmenita, hematita, anfíboles y, en cantidades menores, zircón, rutilo y feldespatos. Según Chirif (2011), en la Cordillera Oriental existen muchos intrusivos de carácter alcalinos que son portadores de tierras raras y la monacita se encuentra incluida en cuarzo, que se pudo verificar en la presente investigación, tal como se observa en la figura 5.1. En el concentrado gravimétrico se encontró monacita libre e incluida en cuarzo (monacita de 80 μm en cuarzo de 500 μm aproximadamente). Estos resultados se relacionan con los reportes de difracción de rayos X y AAS realizados a las mismas muestras, ver figura 5.2.

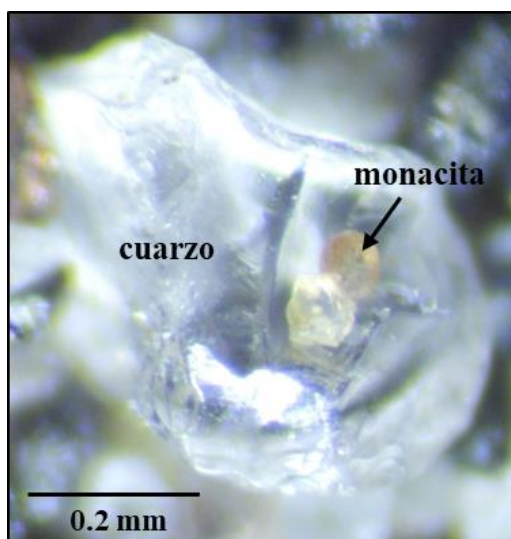


Figura 5.1. Monacita incluida en cuarzo
Fuente: Elaboración propia.

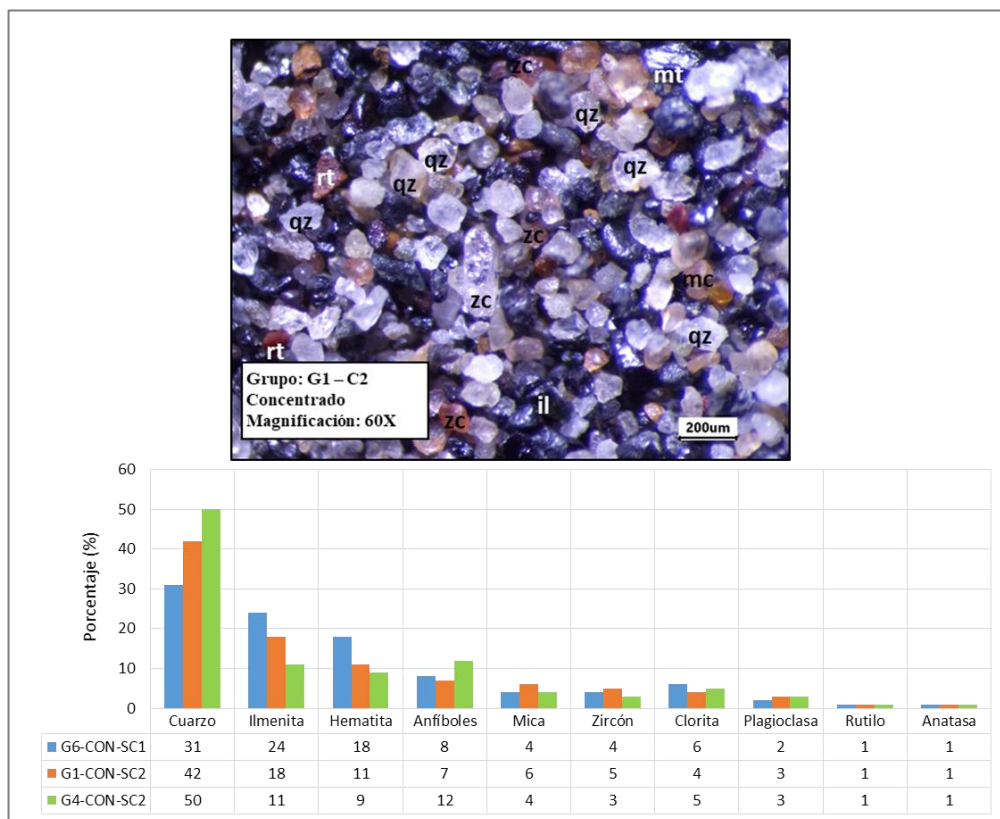


Figura 5.2. Identificación de minerales vs reporte de difracción de rayos X para muestras de concentrado.
Fuente: Elaboración propia.

Según Aranda (1991a), se puede considerar rentables a las tierras raras en leyes superiores al 0.5% en depósitos fluviales. Los reportes de leyes de elementos de tierras raras, obtenidos en esta investigación, realizados a las fracciones granulométricas de las mallas 140 y 400 son cercanas al 0.5 % y en el caso de los grupos G4 y G6 (residuos mineros) superan ampliamente el 0.5 %. En la figura 5.3 se muestran las leyes promedio de ambas mallas para los grupos G1, G4 y G6 expresados en porcentaje. El zircón contiene elementos de tierras raras desde La a Lu como trazas en su composición química y como reemplazamiento del zirconio en la red cristalina (Hinton y Upton, 1991), de esta forma, la presencia de zircón aporta valores de tierras raras en el análisis químico, siendo también un mineral importante para la obtención de tierras raras.

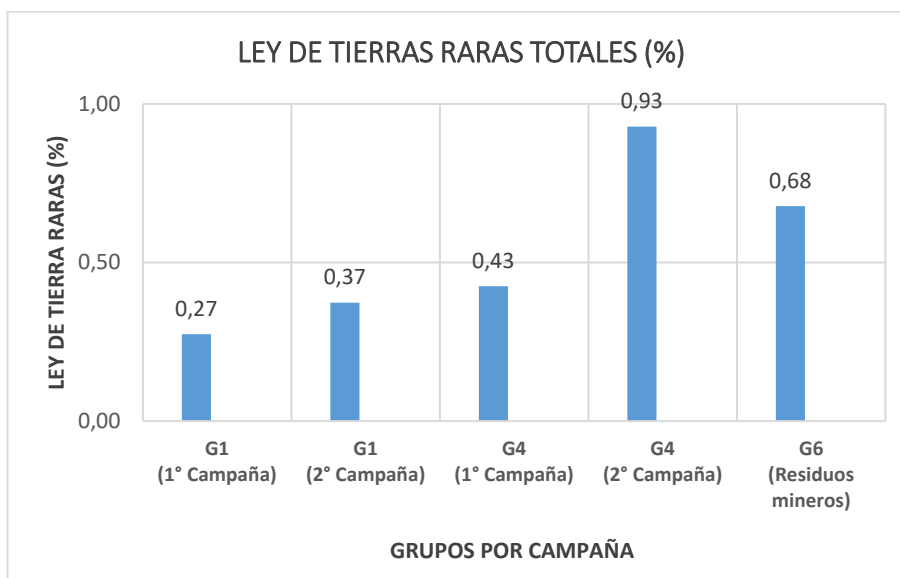


Figura 5.3. Leyes de tierras raras totales por de los grupos.
Fuente: Elaboración propia.

Los análisis por espectrometría de absorción atómica, realizados a las muestras de concentrado, reporta altos contenidos de SiO_2 (>20 %), Fe_2O_3 (> 40 %) y TiO_2 (> 20 %), como se muestra en la figura 5.4 y se relaciona con la abundante presencia de cuarzo, magnetita, hematita e ilmenita que se han encontrado en el análisis microscópico. En cambio, para las tierras raras, el reporte muestra escasos valores de lantano (< 0.04 ppm), cerio (< 0.082 ppm) y neodimio (< 0.03 ppm) en el concentrado final, como se muestra en la figura 5.4. Parece ser contradictorio que en el concentrado de minerales pesados no se encuentre buenas leyes de tierras raras, pero podría ser que, como se ha verificado, la monacita también se encuentra incluida en cuarzo y en el concentrado gravimétrico se ha descartado abundante cuarzo.

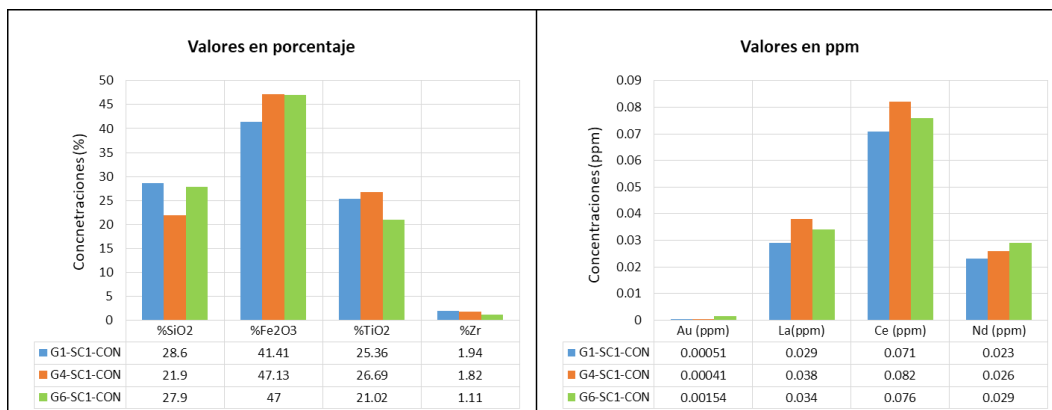


Figura 5.4. Reporte de análisis químico por espectrometría de absorción atómica para las muestras de concentrado.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis mineralógico realizado a las muestras de residuos mineros son semejantes a las muestras de depósitos fluviales sin actividad minera, pero con la diferencia de que hay una tendencia a encontrar con mayor facilidad zircón y monacita en el concentrado final. Además, con la información de leyes de tierras raras de las muestras de residuos mineros (0.68 % para G6), como se muestra en la figura 5.3, y con lo que expuso Medina (1991), que afirma la presencia de tierras raras (europio, erbio, samario y lutecio) en residuos mineros de la zona de Huepetuhe, se verifica que existe concentraciones altas de tierras raras en los residuos mineros que corresponden a la monacita y zircón. La concentración de monacita y zircón en los residuos mineros está relacionado con el concentrado gravimétrico que realizan los mineros en la búsqueda de oro, recuperan el oro y dejan los residuos con contenidos altos en otros minerales valiosos que no son de su interés. Por lo tanto, se puede dar por verdadera la primera hipótesis específica: “Es posible encontrar monacita y zircón en los sedimentos de depósitos fluviales y residuos mineros”.

5.2 Grado de libertad de la monacita y zircón

Al analizar las muestras de concentrado final en láminas delgadas se puede encontrar con facilidad granos libres de zircón y monacita. El zircón se presenta generalmente con hábito prismático euhedral de tamaños mayores a $200\ \mu\text{m}$ y también anhedrales como prismas, en alto relieve y con colores de interferencia altos, figura 5.5. La monacita se presenta de tamaños aproximados de $100\ \mu\text{m}$ como granos subredondeados y subprismáticos, se identifica por el alto relieve y los altos colores de interferencia, figura 5.6. Ambos minerales se encuentran con un grado de libertad elevado, 100% libres, se observa claramente que no se encuentran adheridos a otros minerales. Por lo tanto, se puede dar por verdadera la segunda hipótesis específica: “La monacita y zircón presentan un alto grado de libertad a partir de una determinada granulometría”.

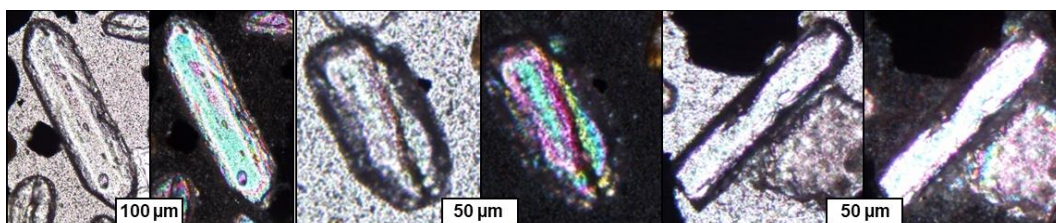


Figura 5.5. Vista de zircón en microscopio de polarización.

Fuente: Elaboración propia.

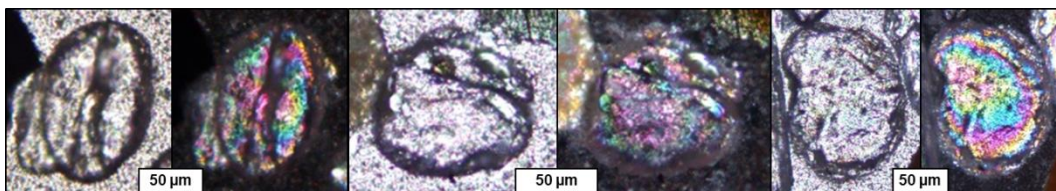


Figura 5.6. Vista de monacita en microscopio de polarización.

Fuente: Elaboración propia.

Los residuos mineros presentan características apropiadas para la recuperación ecológica de monacita, debido a la ley de tierras raras totales de 0.68 % presente en los sedimentos de los residuos mineros y la presencia de monacita y zircón con alto grado de libertad en muestras concentradas. Por lo tanto, se puede dar por verdadera

la tercera hipótesis específica: “La monacita y el zircón presentan características granulométricas y mineralógicas apropiadas para una recuperación ecológica aprovechando sus propiedades físicas”

5.3 Otros resultados

La presencia de los mineros en la zona se da mayormente en época de estiaje, cuando desciende el nivel del agua del río y deja expuesto mayores extensiones de playas. Los resultados de análisis químicos del segundo muestreo, realizado en la época de estiaje, muestran una tendencia de mayores contenidos de tierras raras que en los resultados del muestreo de la primera campaña, época de crecida, para los mismos depósitos fluviales muestreados, ver figura 5.3. El mayor contenido de tierras raras en época de estiaje podría ser debido a que se puede tener acceso a sedimentos que antes se encontraban cubiertos de agua, y a sedimentos que por su densidad suelen situarse en las partes bajas de las capas de sedimentación.

Los mineros de la zona también trabajan en depósitos de terrazas y otros extraen sedimentos del fondo del lecho fluvial, mediante bombas de succión. Si los mineros trabajan en esos depósitos es porque encuentran oro, probablemente de los horizontes de grano más gruesos de tales depósitos. Un indicador de que existe presencia de oro en las terrazas fluviales es la detección de oro (0.03 ppm) en el grupo G5 (depósitos de terrazas).

Se encontró que los minerales más pesados y con mayores contenidos de oro y tierras raras tienden a concentrarse en las fracciones granulométricas [-140 +400] como lo expusieron Aranda (1991 b) y Lanckneus (1991) que indican que el oro y los minerales de tierras raras suelen presentarse en tamaños inferiores a la malla 100 (150

μm). Esta tendencia ocurre en todos los grupos, en las dos campañas y también para los residuos mineros, figura 5.3.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA INGENIERIL

En este capítulo se proponen ideas para la extracción ecológica de monacita presentes en los sedimentos fluviales y también en los residuos mineros, ya que como se analizó en el capítulo anterior, los residuos mineros están compuestos por minerales pesados, producto de la concentración gravimétrica que realizan los mineros, donde se ha encontrado concentraciones altas de tierras raras totales (0.68 %), considerado rentable según lo expuesto por Aranda (1991 b).

En los procesos de recuperación de tierras raras no se utiliza mercurio. Se realiza una concentración gravitatoria de minerales pesados, donde se encuentran los minerales portadores de tierras raras, también se pueden realizar mediante técnicas de concentración centrífuga, mientras mayor sea la diferencia de densidad es más fácil la separación, como en el caso de separar partículas de oro (que son de alta densidad) del cuarzo (de baja densidad). Para la concentración gravimétrica se utilizan diversos equipos como: canaletas con rifles, jigs, mesas concentradoras y concentradores centrífugos (Hinojosa, 2016). Todos estos métodos son apropiados y relativamente económicos para ser utilizados en ambientes de depósitos fluviales, además no requieren de reactivos químicos, utilizan solamente agua que es un recurso que abunda

en el lugar (Concha, 2007). Existe una gran variedad de equipos de distintos tamaños y capacidades, en la tabla 6.1 se muestra los tamaños de partículas con las que trabajan los equipos comerciales, los cuales son apropiados para sedimentos fluviales.

Tabla 6.1

Tamaño de partículas de los equipos concentradores

Equipo	Tamaño de partícula (mm)
Jigs	0.08 - 100
Mesa vibratoria	0.02 - 2
Centrífugas	0.01 - 12

Fuente: Concha (2007)

6.1 Concentración gravimétrica

Las canaletas, también conocidas como alfombras por los mineros artesanales, son muy utilizadas en la minería aurífera aluvial, consiste principalmente en un canal por donde circula la pulpa y de trampas donde se acumulan los minerales pesados en el fondo, liberando hacia arriba los ligeros (Gobierno Regional de Arequipa, 2013). Principalmente es utilizado para la recuperación de oro, debido a su alto peso específico, pero también sirve para tener un preconcentrado de minerales de tierras raras, ver figura 6.1 y figura 6.2.

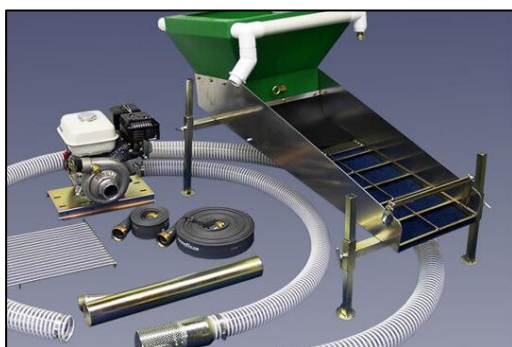


Figura 6.1. Sistema de concentración gravimétrica de sedimentos por canaletas (alfombras).

Fuente: www.911metallurgist.com



Figura 6.2. Empleo de canaletas por mineros de Madre de Dios.

Fuente: www.boliviaenergialibre.com

Los Jigs también trabajan aprovechando el peso específico de los minerales pesados, consiste en un medio acuoso donde se presenta una sedimentación libre y otra obstaculizada, debido a diversas pulsaciones, ver figura 6.3 y figura 6.4. De esta manera se recupera oro y arenas pesadas, los minerales ligeros como el cuarzo y fragmentos de roca son descartados (Gobierno Regional de Arequipa, 2013) y puede ser utilizado antes del método de canales.



Figura 6.3. Jigs para concentración gravimétrica de sedimentos
Fuente: www.spanish.alibaba.com/



Figura 6.4. Empleo de Jigs.
Fuente: <https://youtu.be/sZ51NCrMvSU>

Las mesas concentradoras, separan los minerales pesados de los ligeros mediante la circulación de los sedimentos con agua en una mesa ligeramente inclinada (0° a 6°). Existen varios tipos de mesas con pequeñas diferencias, entre las más conocidas se tiene a las mesas de Wilfley, Deister y Holman. Sirven para recuperar minerales de estaño, wolframio y oro. Son muy versátiles, pues pueden ser regulados en ciertos parámetros como, ángulo de inclinación, vibración, velocidad de flujo de agua y sedimentos, haciendo posible recuperar distintos minerales pesados (oro, sulfuros, arenas negras, entre otros), además los resultados son fácilmente observables (Gobierno Regional de Arequipa, 2013). De esta manera resulta muy útil la utilización de mesas concentradoras para aprovechar la recuperación de minerales pesados ya que

la distribución homogénea que presentan estos minerales en los sedimentos fluviales favorece la aplicación de esta técnica. Puede utilizarse para aumentar la concentración obtenida por el método de canales, ver figura 6.5 y figura 6.6.



Figura 6.5. Mesa concentradora por vibración Wilfley.

Fuente: www.911metallurgist.com



Figura 6.6. Empleo de la mesa concentradora Wilfley, concentración de arenas negras pesadas.

Fuente: www.911metallurgist.com

Los concentradores centrífugos funcionan mediante la inyección de fluido con sedimentos hacia un recipiente cerrado, en donde se efectúa la separación gravitacional mediante fuerzas centrífugas, ver figura 6.7 y figura 6.8. Las marcas más conocidas de estos equipos son Knelson y Falcon. Este método es muy útil para la recuperación de sedimentos finos y pesados (oro fino a ultrafino), presenta algunas desventajas como el costo alto del equipo y su uso, es difícil de manejar y de difícil producción local (Gobierno Regional de Arequipa, 2013). Lograr ubicar este equipo en un lugar estratégico en los depósitos fluviales podría ser de utilidad para recuperar los minerales de tierras raras que se encuentran en la malla 400 donde se presentan las mejores leyes. Podría utilizarse para aumentar la concentración de los sedimentos pesados obtenidos de las mesas concentradoras.



Figura 6.7. Concentrador centrífugo.

Fuente: www.911metallurgist.com



Figura 6.8. Instalación de planta concentradora centrífuga.

Fuente: itomakla.com

6.2 Separación magnética

Consiste de equipos que pueden calibrar el campo magnético para así separar minerales específicos, ver figura 6.9. Es importante el uso de separadores magnéticos, debido a que se pueden aprovechar las propiedades paramagnéticas de la monacita y diamagnética del circón, de esta manera poder separarlos entre ellos y recuperarlos (Gutarra et al., 2015).

Según Perino et al. (2001) el proceso de concentración de minerales pesados mediante la separación magnética puede lograr un incremento en la concentración de las tierras raras de hasta 950 veces (considerando su concentración inicial en el depósito fluvial).



Figura 6.9. Separador magnético de tierras raras.
Fuente: www.101ideen.de

6.3 Procesos químicos

Los procesos para la extracción de los elementos de tierras raras son complejos debido a las propiedades semejantes que presentan entre ellos, haciendo difícil la separación por procedimientos convencionales. Además, el requerimiento de alta pureza para sus usos prácticos ha fomentado la investigación para desarrollar nuevas tecnologías que permitan la extracción y separación de los elementos de tierras raras de alta pureza, siendo estos procesos los de separación fotoquímica, cambio de ion, extracción supercrítica, extracción con disolventes, precipitación y procesos industriales (Alguacil y Rodríguez, 1997), en la figura 6.10 se muestra un diagrama de flujo de obtención de óxidos de tierras raras y en la figura 6.11 se muestra los óxidos de cerio, neodimio y lantano.

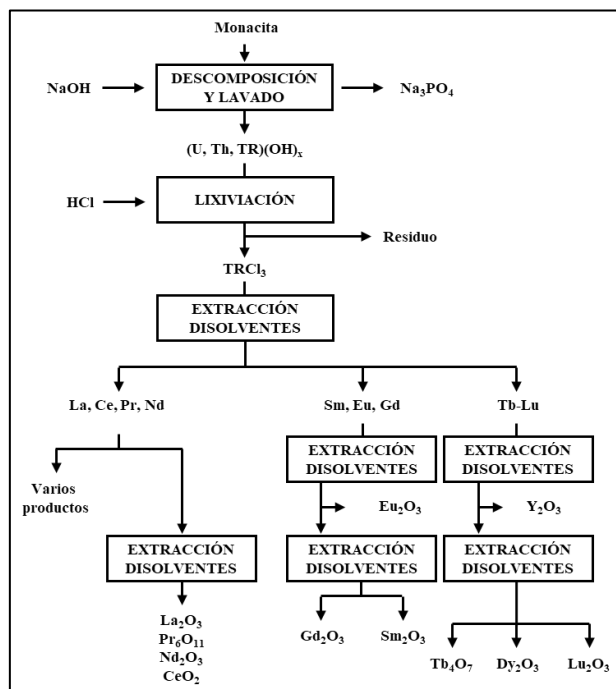


Figura 6.10. Diagrama de flujo del proceso simplificado en la planta china Yao Lung.
Fuente: Alguacil y Rodríguez (1997)



Figura 6.11. Óxidos de tierras raras
Fuente: www.atalayar.com

6.4 Propuesta

El estudio de la presente tesis se realizó en una zona del río Madre de Dios donde existe poca actividad minera, se escogió esta zona por motivos de seguridad y acceso, pero ha sido importante para conocer las leyes de tierras raras de los residuos mineros que genera la actividad minera en la zona. Con los resultados de contenido de tierras raras de los residuos mineros se ha elaborado una propuesta de recuperación de monacita.

6.4.1 Recuperación de monacita de residuos mineros

Los sedimentos producto de los residuos mineros tienen altas probabilidades de contener minerales de tierras raras, debido a que, el minero de la zona concentra gravimétricamente los minerales más pesados en su búsqueda de oro, recuperando el oro y dejando los sedimentos pesados en el lugar. Asimismo, podrían aprovechar los

residuos para la prospección de tierras raras y otros de interés como titanio, hafnio y zircón. De esta manera sería una actividad complementaria a la minería aurífera, además recuperar los minerales de tierras raras sería con visión de remediación y recuperación del terreno.

Para la concentración de minerales de tierras raras se propone obtener 3 concentrados para lograr un producto final a comercializar:

- Primer concentrado: Uso de canaletas (o alfombras) por ser de bajo costo, de buena recuperación y de gran capacidad (Gobierno Regional de Arequipa, 2013).
- Segundo concentrado: Uso de mesa vibratoria (Wilfley), ya que permite concentrar minerales pesados de tamaño de grano entre 0.02 a 2 mm (Gobierno Regional de Arequipa, 2013), rango de tamaños de grano donde se encontró mayores leyes (entre las mallas -70 y +400).
- Tercer concentrado: Aplicación de separación magnética mediante variaciones de intensidad de corriente para poder concentrar los minerales de tierras raras.

El producto final obtenido con el tercer concentrado puede ser vendido como materia prima para la extracción de los elementos.

6.4.2 Presupuesto de la propuesta

El presupuesto está basado en información recopilada en las salidas de campo, obtenida de los pobladores de la zona y personal de apoyo durante el muestreo que conocen de la actividad minera. La información del presupuesto es referencial, debido a que se está estimando valores de ley de tierras raras de 0.68% de manera uniforme y en abundantes cantidades de residuos mineros. En la tabla 6.2 se muestra los costos referenciales para realizar una operación minera de recuperación de tierras raras.

Tabla 6.2

Presupuesto estimado de operación minera anual para recuperación de tierras raras.

Detalle	Costo en Soles				Costo en dólares
	Compra	Día	Mes	Año	Año
1 Cargador frontal	-	2,000	60,000	720,000	175,610
2 Volquetes		300	9,000	108,000	26,341
4 Canaletas (alfombras)	20,000			20,000	4,878
2 Mesa Wilfley	50,000			50,000	12,195
1 Separador magnético	80,000			80,000	19,512
Traslado equipos e instalación			12,000	144,000	35,122
Mantenimiento equipos			10,000	120,000	29,268
Materiales de trabajo			25,000	300,000	73,171
Combustible		1,000	30,000	360,000	87,805
Traslado personal y materiales		300	9,000	108,000	26,341
Costos administrativos			4,000	48,000	11,707
Licencias				50,000	12,195
10 operarios			20,000	240,000	58,537
2 jefes operativos			10,000	120,000	29,268
Alimentación		500	15,000	180,000	43,902
Costos ambientales			20,000	240,000	58,537
Total				2,888,000	704,390

Fuente: Elaboración propia.

El precio de la monacita utilizado para la elaboración del presupuesto, está basado en la publicación del portal web www.businesswire.com del 2021, en la que menciona que el precio de monacita y xenotima, como producto de concentrado de arena mineral pesado, que produce la empresa Hyperion Metals en su proyecto Titan en EEUU es de \$ 37,700 por tonelada, también el precio de monacita de la empresa Lynas Rare Earths en Australia es de \$ 24,300 por tonelada (Hyperion testwork

confirms high value heavy rare earths, 2021). Con esta información de referencia, se asignó el precio de la monacita para elaborar el presupuesto a \$ 24,300 por tonelada.

En la presente tesis se tuvo una ley de tierras raras totales en residuos mineros de 0.68 %, (véase la figura 5.3), pero como no se tuvo información de la cantidad de monacita en las muestras, se asumió que una parte mínima de la ley de tierras raras, cuarta parte, correspondería a la monacita, teniendo como resultado un 0.17 % de monacita presente en los sedimentos de los residuos mineros. Además, se consideró una producción diaria de 500 toneladas. Con ello se realizó el cálculo de ganancia por tonelada de producción que se muestra en la tabla 6.3.

Tabla 6.3

Ganancia por año de producción

Detalle	Valor
Contenido de Monacita (%)	0.17
Precio monacita (\$/t)	24,300
Precio 1 T sedimento (\$)	41.31
Producción x día (t sedimento)	100
Ganancia por día (\$)	4,131
Ganancia por año (\$)	1,487,160

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de ganancias y costos de operación minera anuales dan como resultado una rentabilidad estimada de \$ 278,033, ver tabla 6.4.

Tabla 6.4

Ganancia estimada por operación minera

Detalle	Valor (\$)
Costo total de instalación y operación minera (anual)	704,390
Ingreso por producción (anual)	1,487,160
Ganancia (anual)	782,770

Fuente: Elaboración propia.

6.4.3 Problemas ambientales de la propuesta

Los problemas ambientales se vinculan principalmente al movimiento de tierras, que puede afectar el ambiente fluvial, generando turbulencias y alterando el ecosistema acuático, también puede causar cambios del curso del río, además el desbroce de material cercano a zonas de vegetación podría eliminar la masa boscosa (Brack et al., 2011).

El uso de maquinarias generan impactos ambientales como el ruido que afecta a los animales del entorno, compactación del suelo por donde transitan las maquinarias, contaminación por derrame de hidrocarburos y aceites, el mal uso de máquinas en las excavaciones del terreno puede generar grandes agujeros en el terreno (MINAM, 2017).

6.4.4 Recuperación de tierras raras de los residuos mineros y remediación en Madre de Dios

Con la información obtenida en la presente tesis y considerando los valores de leyes de tierras raras totales de los sedimentos de residuos mineros, se considera que la propuesta es viable económicamente. La propuesta puede ser desarrollada en otras zonas donde la actividad minera ha sido más intensa como en las subcuencas de los ríos Inambari, Colorado, Tambopata y Malinowsy (Brack et al., 2011). Esta propuesta se enfoca en mostrar que los residuos mineros abandonados de grandes extensiones presentan potencial de tierras raras y su recuperación es rentable. Pero la recuperación debe realizarse considerando minimizar los impactos ambientales y aplicando una correcta disposición de los nuevos residuos con la finalidad de recuperar el terreno deteriorado.

Los trabajos de anteriores actividades mineras han dejado cambios y agujeros en el terreno, ver figura 6.12, las disposiciones de los acopios son desordenados y afectan el curso del río. La presente propuesta plantea la recuperación del terreno siguiendo las recomendaciones del MINAM (2017), que los residuos deben ser acopiados en zonas cercanas a los agujeros en el terreno, para que al momento de cierre sirvan para rellenar el terreno, ver figura 6.13, además se debe tener una cancha de acopio de material de residuo con el fin de evitar acopios desordenados que afecten el curso natural del río.



Figura 6.12. Cambios en el relieve por extracción de sedimentos. A la izquierda, agujeros por uso de bombas de succión. A la derecha, agujeros por el uso de maquinaria pesada.
Fuente: MINAM (2017) y Brack et al. (2011).



Figura 6.13. Esquema de relleno de terreno afectado por la actividad minera aurífera.
Fuente: MINAM (2017)

CONCLUSIONES

- La investigación se desarrolló en un tramo del río Madre de Dios, en la provincia de Manu de la región Madre de Dios. Se accedió a depósitos fluviales accesibles y residuos mineros en donde ya no se encuentre actividad minera (por temas de seguridad).
- La zona de estudio corresponde a la Llanura Amazónica, en la parte central se ubica el río Madre de Dios y presenta una morfología meándrica. La sedimentación en los depósitos fluviales, generalmente son sedimentos gruesos (gravas y arenas) en las cabezas de las barras y más finos (arcillas) en las terrazas. Los minerales de los sedimentos de los depósitos fluviales tienen relación con las rocas por donde discurren los ríos provenientes de la Cordillera Oriental. El oro presente en las vetas de cuarzo y los diversos intrusivos de composición granítica a monzonítica de afinidad alcalina a peraluminosa (los intrusivos presentan inclusiones de minerales de tierras raras en cuarzo) son disgregados y transportados por los ríos Marcapata, Inambari, Malinowsky y Colorado hasta su desembocadura en el río Madre de Dios, formando depósitos tipo placer.
- La metodología consistió en la identificación de los depósitos fluviales y muestreo de sedimentos, concentración de minerales mediante granulometría, gravimetría y separación magnética y, finalmente, análisis mineralógicos mediante uso de un estereomicroscopio, microscopio de polarización, análisis químicos multielementales y Difractometría de Rayos X.
- 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). Además, los residuos mineros presentaron leyes de tierras raras totales de 0.68%.

- En el análisis mineralógico se detectó a la monacita como único mineral compuesto por tierras raras, se encontró evidencia de monacita incluida en cuarzo y también se encontró zircón, el zircón presenta elementos de tierras raras como trazas en su composición.
- Debido a que se encontró monacita incluida en cuarzo, es muy probable encontrar monacita libre y en mayores cantidades en granulometrías menores a 100 μm , lo que beneficia las prospecciones de tierras raras en los depósitos fluviales de la zona.
- Los minerales de los sedimentos estudiados presentan un alto grado de liberación a granulometrías menores a 100 μm . Luego de una concentración gravimétrica es posible visualizar los granos de monacita y zircón totalmente libres mediante el uso de un microscopio de polarización.
- Para concentrar los minerales pesados, como oro y monacita, es conveniente aplicar métodos de concentración gravimétrica. Con gravimetría, es probable encontrar también otros minerales pesados de valor económico como ilmenita, rutilo y zircón.
- Se puede afirmar que la prospección de tierras raras en depósitos fluviales y residuos mineros tienen altas probabilidades de ser rentable, considerando el presupuesto realizado en la tabla 6.4.

- A pesar que la actividad minera aurífera en la zona de estudio no ha sido tan intensa como en otros lugares (Huepetuhe, Caychive, río Colorado, río Ibambari y Tambopata), se han encontrado concentraciones de tierras raras rentables.
- Es posible recuperar los terrenos impactados por la minería aurífera de la región, se podría realizar una recuperación de monacita de los residuos mineros y aprovechar el movimiento de tierras, con una adecuada planificación, para realizar una mejor disposición de los residuos, uniformizando el terreno, creando canchas de disposición para no afectar el adecuado curso del río.

RECOMENDACIONES

- Debido a que existe un gran potencial de existencia de minerales de tierras raras en depósitos fluviales de la región Madre de Dios, sería importante realizar investigación en otros lugares de la región con el fin de identificarlos, caracterizarlos y evaluarlos.
- Es necesario implementar investigaciones sedimentológicas que permitan un mejor conocimiento de la dinámica de formación de yacimientos tipo placer en los depósitos fluviales de la región. Se debe investigar patrones de sedimentación de minerales pesados de valor económico en depósitos fluviales y poder contrastar con la información existente para generar información que permita mejorar el planteamiento de extracción del recurso minero.
- La metodología empleada para concentrar los minerales de interés ha sido útil, pero se recomienda que cuando se vaya a utilizar estos métodos se practique previamente, porque una mala maniobra en los procesos de concentración podría no tener buenos resultados y perder minerales valiosos.
- Si se va a realizar estudios de tierras raras y oro, se sugiere realizar la investigación en temporada de sequía (setiembre y octubre) y en los depósitos de barras de punto y finales de islotes.
- En una investigación para caracterizar minerales de tierras raras, sería muy útil realizar análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS), podría aportar más información, como las leyes de elementos de tierras raras presentes en la monacita y zircón.

- Las prospecciones de tierras raras deberían dirigirse a sedimentos de arenas finas, debido a que en esa granulometría existe mayor probabilidad de encontrar monacita libre.
- Para poder visualizar monacita en el microscopio, se recomienda realizar los procesos de concentración y separación magnética (para retirar magnetita), de esta manera se retiran minerales que no son de interés.
- Se debería muestrear más puntos por depósito para cubrir mayor extensión y extraer al menos 100 kg por depósito. De esta manera se va a tener más probabilidades de obtener oro en el concentrado final.
- Se recomienda realizar una evaluación económica a nivel de perfil de ingeniería para conocer la viabilidad de una operación minera para recuperar tierras raras de los residuos mineros de la región Madre de Dios.
- Considerando que existen lugares donde la minería ha sido más intensa y presentan mayores extensiones de residuos mineros, el potencial de contenidos de tierras raras puede ser mayor. Por lo que se recomienda investigar contenidos de tierras raras en residuos mineros donde haya existido mayor actividad minera.
- La disposición de residuos mineros de la zona debe ser controlada para no impactar al medio ambiente, por eso se recomienda que toda actividad minera tenga un plan de disposición de residuos mineros para minimizar los impactos ambientales producto de la actividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alguacil, F., y Rodríguez, F. (1997). Procesos de separación de las tierras raras. *Revista de Metalurgia*, 187–196.
- Aranda, A. (1991a). Arenas Pesadas: Concentración de minerales pesados con monacita, circón y tierras raras. En E. Dunin-Borkovski (Ed.), *Minerales industriales del Perú* (pp. 260–271). Lima, Perú: Sámame Boggio.
- Aranda, A. (1991b). Arenas Pesadas: Hacia la localización de minerales pesados en el Perú. En E. Dunin-Borkovski (Ed.), *Minerales industriales del Perú* (pp. 250–253). Lima, Perú: Sámame Boggio.
- Autoridad Nacional del Agua. (2011). Diagnostico y Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca de Madre de Dios. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/caratula_tomo_i_0_0.pdf
- Bohorquez, J., Jara, R., Mamani, Y., Guerrero, L., y Villafranca, A. (2012). Ocurrencias de tierras raras en el Perú.
- Brack, A., Ipenza, C., Alvarez, J., y Sotero, V. (2011). *Minería Aurífera en Madre de Dios y Contaminación con Mercurio - Una Bomba de Tiempo*. Ministerio del Ambiente.
- Bustamante, O., Gaviria, A., y Restrepo, O. (2008). Concentración de Minerales. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Centro de Innovación Científica Amazónica. (2018a). *Mercurio en peces de pozas mineras en Madre de Dios, Perú*.
- Centro de Innovación Científica Amazónica. (2018b). *Tres décadas de deforestación*

por minería aurífera en la Amazonía suroriental peruana.

Chirif, H. (2011). Potencial de Tierras Raras en el Perú.

Concha, H. (2007). *Estudio de la concentración gravimétrica de minerales auríferos en un jig de laboratorio* (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Folger, T. (2011). El ingrediente secreto de todas las cosas. *National Geographic Magazine*. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Forsberg, B. (2014). Mercurio en la cuenca de Madre de Dios: Un examen crítico de los niveles de contaminación existentes y sus posibles causas y consecuencias. *Wildlife Conservation Society*.

Gobierno Regional de Arequipa. (2013). *Tecnología limpia para la pequeña minería y minería artesanal recuperación del oro*. Recuperado de <http://siar.regionarequipa.gob.pe/documentos/tecnologia-limpia-pequena-mineria-mineria-artesanal-recuperacion-oro>

Gobierno Regional de Madre de Dios. (2008). *Plan estratégico regional de Madre de Dios 2008 - 2015*.

Gutarra, A., Montebiano, E., Laura, D., Avilés, L., Ochoa, J., Vera, M., Rocca, J., Carrera, E., Uza, J., Yoplac, E., y León, L. (2015). *Innovaciones en técnicas físicas y químicas para el procesamiento de minerales de tierras raras en el Perú*. Ministerio de la Producción.

Hinojosa, O. (2016). Concentración gravimétrica de menas auríferas. *Revista Metalúrgica UTO*. Recuperado de http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2078-55932016000100006&lng=es&nrm=iso

Hinton, R. y Upton, B. (1991). The chemistry of zircon: Variations within and between

large crystals from syenite and alkali basalt xenoliths. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55(11), 3287–3302.

Humsa, T., y Srivastava, R. (2015). Impact of rare earth mining and processing on soil and water environment at Chavara, Kollam, Kerala: A case study. *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 566–581.

Hyperion testwork confirms high value heavy rare earths (2021). Recuperado de <https://www.businesswire.com/news/home/20210809005233/en/Hyperion-Testwork-Confirms-High-Value-Heavy-Rare-Earths>

Infobosques. (n.d.). *Impacto ambiental de la tala ilegal en el Perú*. Recuperado de <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/374.pdf>

International Atomic Energy Agency (2019). *World Thorium Occurrences, Deposits and Resources*

IUPAC. (2018). *Periodic Table of Elements*. Recuperado de <https://iupac.org/what-wedo/periodic-table-of-elements/>

Junquera, C. (2010). *El impacto de la minería aurífera en el Departamento de Madre de Dios (Perú)*. 169–202.

Lanckneus, J. (1991). Los placeres de Madre de Dios (SE Perú). En G. Hérial y M. Fornari (Eds.), *Yacimientos aluviales de oro* (pp. 89–102).

Londoño, J., Mojica, J., Molano, J., Cañón, Y., Stella, G., Ruiz, V., Oneida, N., Gutiérrez, H., González, M., Concha, H., Galindo, B., Londoño, S., y Buriticá, J. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas*. Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Long, K., Gosen, B., Foley, N., y Cordier, D. (2010). The principal rare earth elements deposits of the United States - A summary of domestic deposits and a global

Perspective. *U.S. Geological Survey*.

Macháček, J. (2020). Alluvial artisanal and small-scale mining in a river stream-Rutsiro case study (Rwanda). *Forests*, 11(7).

Martinez, G., McCord, S., Driscoll, C., Todorova, S., Wu, S., Araújo, J., Vega, C., y Fernandez, L. (2018). Mercury contamination in riverine sediments and fish associated with artisanal and small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 1–15.

Medina, G. (1991). Arenas pesadas: Minerales pesados en gravas auríferas de Huepetuhe y Caychive (Madre de Dios). En E. Dunin-Borkovski (Ed.), *Minerales industriales del Perú* (pp. 254–259). Lima, Perú: Sámame Boggio.

MINAM. (2017). *Manual de buenas prácticas en minería aurífera aluvial para facilitar una adecuada recuperación de áreas*.

Mohd, A., Ismail, A., Zainul, C., y Aziman, E. (2019). Economic analysis of thorium extraction from monazite. *Nuclear Engineering and Technology*, 51(2), 631 - 640.

Palacios, O., Molina, O., Galloso, A., y Reyna, C. (1996). Geología de los cuadrangulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Tambopata. *INGEMMET*.

Monge, R., y Zedano, J. (1996). Geología del cuadrángulo de Limbani.

Rojas, D., y Paredes, J. (2016). *Compendio de Geología General*. Lima, Perú.

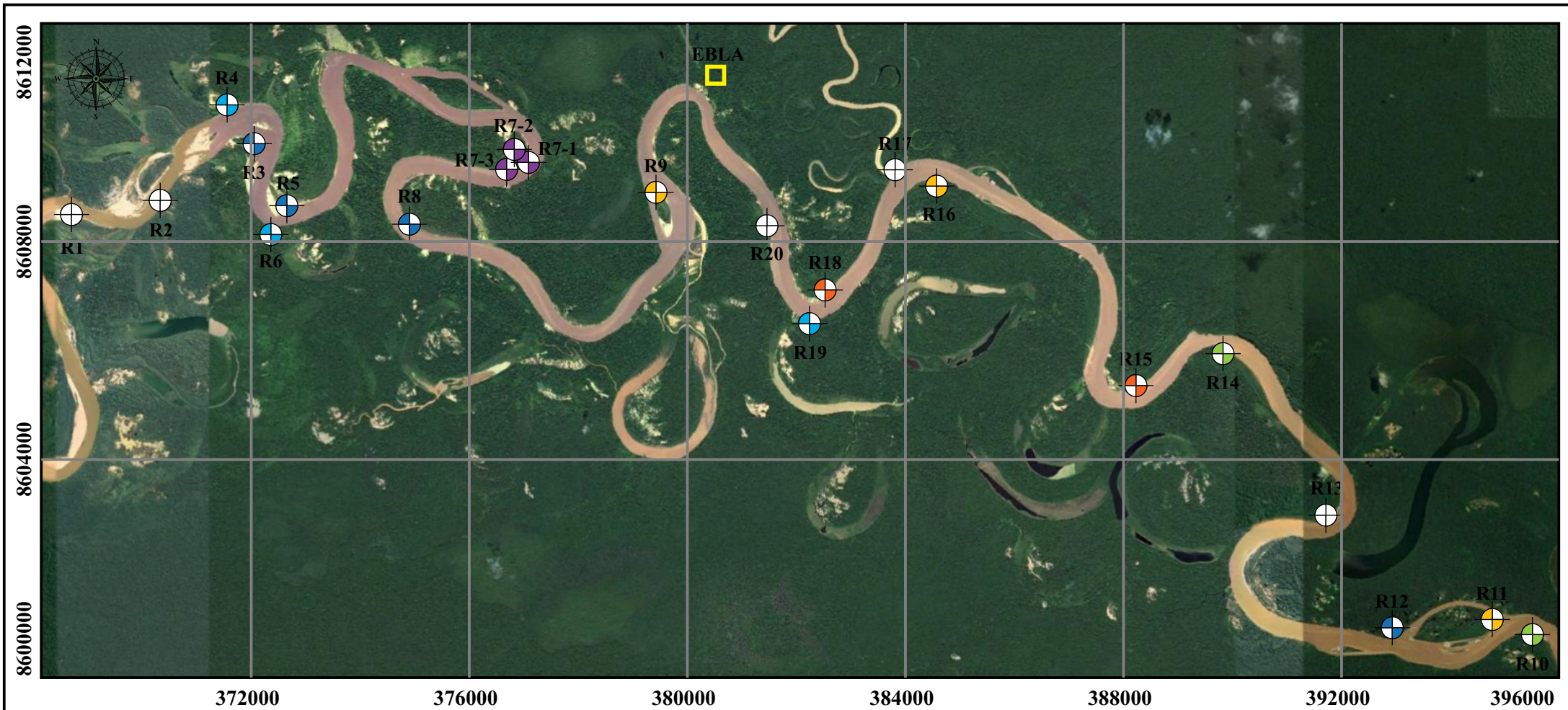
Sáez, R., Cascales, C., Porcher, P., y Maestro, P. (2000). Tierras raras: materiales avanzados. *Real Sociedad Española de Química*, 11–26.

Sengupta, D., y Gosen, B. (2016). Placer-Type Rare Earth Element Deposits. *Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits*.

- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. (2020). Minería y Fiebre del oro en Madre de Dios. *Actualidad Ambiental*. Recuperado de www.actualidadambiental.pe/fiebreddd/
- Tarbuck, E., y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid, España: Pearson Prentice Hall.
- U. S. Geological Survey. (2002). Rare Earth Elements - Critical Resources for High Technology. *U.S. Geological Survey*. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02/>
- Walters, A., y Lusty, P. (2011). Rare Earth Elements. *British Geological Survey*.
- Zainul, C., Alareqi, W., Majid, A., y Ruf, M. (2016). Production of rare earth elements from malaysian monazite by selective precipitation. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 20.

ANEXO 1

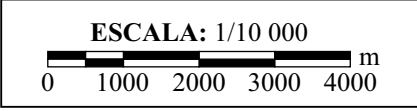
Mapas



**CARACTERIZACIÓN DE ORO Y MINERALES
DE TIERRAS RARAS EN DEPÓSITOS
FLUVIALES TIPO PLACER DEL RÍO MADRE
DE DIOS**

MAPA 2 - Ubicación de puntos de muestreo

Realizado por: Percy Ledesma **Abril 2020**



Leyenda

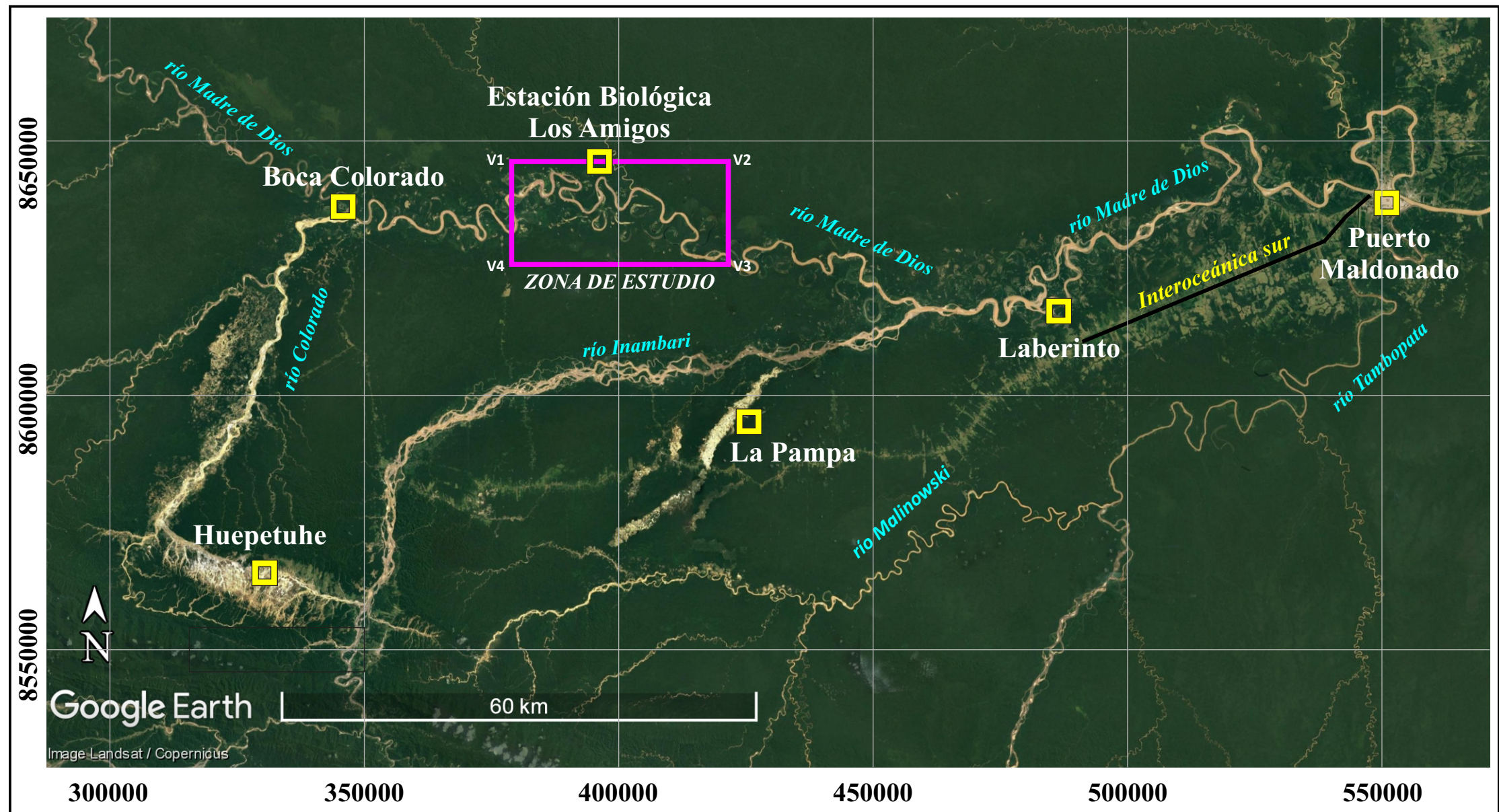
Puntos de muestreo

- Grupo G1
- Grupo G2
- Grupo G3
- Grupo G4
- Grupo G5
- Grupo G6
- Sin grupo

EBLA: Estación Biológica Los Amigos

Coordenadas UTM, WGS84, Zona 18 S

Muestra	Este	Norte	Muestra	Este	Norte
R1	0368703	8608496	R10	0395501	8600789
R2	0370331	8608755	R11	0394552	8601081
R3	0371548	8610110	R12	0392735	8600902
R4	0371558	8610507	R13	0391470	8602948
R5	0373039	8608421	R14	0389813	8605989
R6	0373437	8608383	R15	0388019	8605242
R7-1	0377097	8609473	R16	0384558	8609137
R7-2	0377056	8609494	R17	0383535	8609194
R7-3	0377023	8609474	R18	0382517	8606920
R8	0375001	8608071	R19	0382418	8606360
R9	0379203	8609138	R20	0381389	8608192

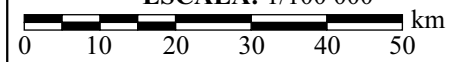


**CARACTERIZACIÓN DE ORO Y MINERALES
DE TIERRAS RARAS EN DEPÓSITOS
FLUVIALES TIPO PLACER DEL RÍO MADRE
DE DIOS**

Departamento de Madre de Dios

MAPA 1 - Ubicación y acceso

ESCALA: 1/100 000



Realizado por: Percy Ledesma

Abril 2020

ANEXO 2

Reportes de laboratorio

ANEXO 2.1

Primera salida de campo

Análisis multielemental a fracciones granulométricas



INFORME DE ENSAYO N° SEP0142.R19

Solicitante :	UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA
Dirección :	Av. Cascanueces N° 2221 Santa Anita, Lima Perú
Solicitado por :	Percy Ledesma
Referencia :	E-mail del 04-09-2019
Proyecto / Prospecto :	-
Tipo(s) de Muestra(s) :	Exploración Geoquímica
Estado de la Muestra :	Las muestras tipo Sediamentos se recibieron en sobres de Polietileno.
Número de muestras :	17
Fecha de Recepción :	Jueves, 05 de Setiembre de 2019
Lugar de Recepción :	S.J. de Miraflores, Lima
Fecha de Ejecución de Ensayo :	2019-09-05 al 2019-09-18
Fecha de reporte :	Miércoles, 18 de Setiembre de 2019

Los resultados corresponden al ensayo solicitado en la(s) muestra(s) recibida(s)

Los ensayos han sido realizados en:

CERTIMIN S.A.
Av. Las Vegas 845.
San Juan de Miraflores - Lima.
Perú.
Teléfonos: (51-1) 205-5656.
Fax: (51-1) 205-5656.
Correo Electronico: certimin@certimin.pe

SANTOS OROYA ROJAS
Gerente de Laboratorios

Lima, 18 de Setiembre de 2019

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."
"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce".

INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

RESULTADOS

Muestras		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0207 Weight* kg	G0108 Au ppm 0.005 10	G0146 Ag ppm 0.2 100	G0146 Al* % 0.01 15	G0146 As* ppm 3 10000	G0146 Ba* ppm 1 10000	G0146 Be* ppm 0.5 10000	G0146 Bi* ppm 5 10000	G0146 Ca* % 0.01 15	G0146 Cd* ppm 1 10000
1	LIXI 3-G0-400	0.30	<0.005	<0.2	1.51	18	99	<0.5	<5	2.60	1
2	LIXI 3-G1-140	0.30	<0.005	<0.2	0.71	<3	55	<0.5	<5	0.16	<1
3	LIXI 3-G1-400	0.30	0.077	<0.2	1.02	5	71	<0.5	<5	1.49	<1
4	LIXI 3-G2-1-140	0.30	<0.005	<0.2	0.91	<3	67	0.5	<5	0.19	<1
5	LIXI 3-G2-1-400	0.30	<0.005	0.2	1.03	<3	75	0.5	<5	0.59	<1
6	LIXI 3-G2-2-140	0.30	<0.005	<0.2	0.74	6	53	<0.5	<5	0.14	<1
7	LIXI 3-G2-2-400	0.30	<0.005	<0.2	1.06	6	76	<0.5	<5	1.15	<1
8	LIXI 3-G3-140	0.30	<0.005	<0.2	0.76	<3	54	<0.5	<5	0.14	<1
9	LIXI 3-G3-400	0.30	<0.005	<0.2	1.11	7	83	<0.5	<5	1.43	<1
10	LIXI 3-G4-140	0.30	<0.005	<0.2	0.63	<3	54	<0.5	<5	0.16	<1
11	LIXI 3-G4-400	0.30	0.043	<0.2	1.22	13	98	<0.5	<5	1.85	<1
12	LIXI 3-G5-140	0.30	<0.005	<0.2	1.01	10	72	0.7	<5	0.11	<1
13	LIXI 3-G5-400	0.30	0.029	<0.2	1.07	<3	77	0.7	<5	0.12	<1
14	LIXI 3-G6-140	0.30	<0.005	<0.2	0.64	5	69	<0.5	<5	0.25	<1
15	LIXI 3-G6-400	0.30	<0.005	0.3	1.09	6	80	<0.5	<5	1.81	<1
16	LIXI 3-G7-140	0.29	<0.005	<0.2	0.67	<3	52	<0.5	<5	0.15	<1
17	LIXI 3-G8-140	0.30	0.006	<0.2	0.63	<3	70	<0.5	<5	0.24	<1

[IC-VH-33] Los elementos Al, Ba, Be, Ca, Cr, Ga, K, La, Mg, Na, S, Sc, Sn, Sr, Ti, Tl, W, Zr la digestión podría ser incompleta

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Registro N°LE -022

INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146
		Co*	Cr*	Cu	Fe*	Ga*	K*	La*	Mg*	Mn*	Mo*
		ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm
		1	1	0.5	0.01	10	0.01	0.5	0.01	2	1
		10000	10000	10000	15	10000	15	10000	15	10000	10000
1	LIXI 3-G0-400	9	281	19.4	4.48	<10	0.25	20.9	0.65	476	<1
2	LIXI 3-G1-140	8	229	12.9	2.28	<10	0.10	18.0	0.26	254	<1
3	LIXI 3-G1-400	9	214	17.7	4.06	<10	0.15	25.6	0.47	380	<1
4	LIXI 3-G2-1-140	10	123	17.2	2.47	<10	0.11	12.6	0.35	257	<1
5	LIXI 3-G2-1-400	10	239	21.0	3.19	<10	0.14	18.8	0.41	323	<1
6	LIXI 3-G2-2-140	8	184	13.5	2.12	<10	0.10	12.0	0.27	226	1
7	LIXI 3-G2-2-400	10	318	18.4	3.71	<10	0.16	27.2	0.44	370	<1
8	LIXI 3-G3-140	9	175	13.6	2.10	<10	0.11	12.4	0.27	227	3
9	LIXI 3-G3-400	8	332	20.6	4.07	<10	0.18	30.8	0.47	425	<1
10	LIXI 3-G4-140	9	200	11.6	2.23	<10	0.09	19.5	0.23	264	<1
11	LIXI 3-G4-400	11	310	18.4	6.06	10	0.19	53.2	0.53	587	<1
12	LIXI 3-G5-140	14	171	19.5	2.86	<10	0.12	16.0	0.33	488	<1
13	LIXI 3-G5-400	13	241	19.8	3.14	<10	0.13	20.9	0.34	456	<1
14	LIXI 3-G6-140	10	287	13.3	5.26	<10	0.09	70.3	0.25	542	<1
15	LIXI 3-G6-400	10	213	15.9	5.57	<10	0.16	36.2	0.52	481	<1
16	LIXI 3-G7-140	8	235	13.2	2.25	<10	0.09	16.6	0.24	245	<1
17	LIXI 3-G8-140	11	257	12.2	4.82	<10	0.09	68.5	0.25	502	<1



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Registro N°LE -022

Muestras		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146
		Na* %	Nb* ppm	Ni* ppm	P* %	Pb ppm	S* %	Sb* ppm	Sc* ppm	Sn* ppm	Sr* ppm
		0.01 15	1 10000	1 10000	0.01 15	2 10000	0.01 10	5 10000	0.5 10000	10 10000	0.5 5000
1	LIXI 3-G0-400	0.33	<1	16	0.18	133	0.07	<5	5.0	<10	111
2	LIXI 3-G1-140	0.02	<1	22	0.03	6	<0.01	<5	1.7	<10	14.2
3	LIXI 3-G1-400	0.16	<1	16	0.13	93	0.06	<5	3.2	<10	61.6
4	LIXI 3-G2-1-140	0.02	<1	21	0.04	9	0.02	<5	2.0	<10	17.0
5	LIXI 3-G2-1-400	0.07	<1	25	0.07	30	0.04	<5	2.6	<10	30.8
6	LIXI 3-G2-2-140	0.02	<1	22	0.03	9	0.01	<5	1.7	<10	14.0
7	LIXI 3-G2-2-400	0.14	<1	22	0.10	53	0.05	<5	3.3	<10	51.2
8	LIXI 3-G3-140	0.02	<1	21	0.03	8	<0.01	<5	1.7	<10	14.5
9	LIXI 3-G3-400	0.18	<1	20	0.12	106	0.05	<5	3.6	<10	63.1
10	LIXI 3-G4-140	0.02	<1	19	0.03	10	<0.01	<5	1.7	<10	13.0
11	LIXI 3-G4-400	0.22	<1	20	0.15	90	0.07	<5	4.5	<10	79.8
12	LIXI 3-G5-140	0.02	<1	23	0.03	6	<0.01	<5	2.3	<10	11.6
13	LIXI 3-G5-400	0.02	<1	24	0.03	11	<0.01	<5	2.5	<10	12.9
14	LIXI 3-G6-140	0.02	<1	21	0.04	13	0.01	<5	2.6	<10	16.6
15	LIXI 3-G6-400	0.20	<1	14	0.16	87	0.06	<5	3.7	<10	73.3
16	LIXI 3-G7-140	0.02	<1	19	0.03	7	0.01	<5	1.6	<10	13.7
17	LIXI 3-G8-140	0.02	<1	23	0.04	15	0.02	<5	2.5	<10	15.7

INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0873	G0873	G0873
		Ti*	Tl*	v*	W*	Y*	Zn	Zr*	Ce*	Dy*	Er*
		%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		0.01	2	2	10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.05	0.03
		15	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000	1000
1	LIXI 3-G0-400	0.21	<2	151	<10	12.7	69.4	14.0	83.3	5.36	3.06
2	LIXI 3-G1-140	0.08	<2	32	<10	5.1	38.0	4.4	88.9	4.28	2.68
3	LIXI 3-G1-400	0.18	<2	111	<10	10.3	59.5	13.2	141	8.87	5.76
4	LIXI 3-G2-1-140	0.05	<2	29	<10	4.9	50.5	3.4	72.4	4.87	2.77
5	LIXI 3-G2-1-400	0.09	<2	52	<10	7.7	55.4	7.5	104	7.37	4.18
6	LIXI 3-G2-2-140	0.05	<2	24	<10	4.3	40.0	3.1	63.3	3.54	2.05
7	LIXI 3-G2-2-400	0.16	<2	90	<10	10.2	55.2	12.0	136	8.75	5.30
8	LIXI 3-G3-140	0.05	<2	25	<10	4.3	41.5	3.4	60.9	3.56	2.08
9	LIXI 3-G3-400	0.21	<2	109	<10	11.4	60.1	17.8	124	7.14	5.27
10	LIXI 3-G4-140	0.09	<2	33	<10	5.3	34.6	4.8	96.0	4.90	2.95
11	LIXI 3-G4-400	0.35	<2	179	<10	16.4	63.9	38.7	261	15.1	9.50
12	LIXI 3-G5-140	0.06	<2	37	<10	5.8	49.0	3.8	71.5	4.44	2.77
13	LIXI 3-G5-400	0.07	<2	42	<10	7.2	51.3	5.1	97.3	6.93	4.64
14	LIXI 3-G6-140	0.40	<2	117	<10	11.3	41.5	18.4	404	11.3	6.80
15	LIXI 3-G6-400	0.26	<2	171	<10	13.0	60.9	22.3	192	9.37	6.54
16	LIXI 3-G7-140	0.07	<2	30	<10	5.1	36.9	4.7	84.7	4.51	2.69
17	LIXI 3-G8-140	0.36	<2	108	<10	10.7	43.7	14.0	354	9.99	5.92



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Registro N°LE -022

INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0873 Eu* ppm 0.03 1000	G0873 Gd* ppm 0.05 1000	G0873 Hf* ppm 0.2 10000	G0873 Ho* ppm 0.01 1000	G0873 La* ppm 0.5 10000	G0873 Lu* ppm 0.01 1000	G0873 Nb* ppm 0.2 10000	G0873 Nd* ppm 0.1 10000	G0873 Pr* ppm 0.03 1000	G0873 Rb* ppm 0.2 10000
1	LIXI 3-G0-400	1.42	6.40	10.1	1.11	42.8	0.48	15.5	35.0	10.01	54.0
2	LIXI 3-G1-140	1.45	5.28	15.3	0.92	43.4	0.47	26.6	38.4	10.63	43.7
3	LIXI 3-G1-400	2.00	9.80	48.0	1.91	68.8	1.04	36.4	64.0	17.26	46.0
4	LIXI 3-G2-1-140	1.21	5.10	9.0	0.88	36.9	0.40	41.1	31.2	8.34	56.1
5	LIXI 3-G2-1-400	1.72	7.55	19.9	1.47	51.0	0.73	495	45.1	12.49	55.2
6	LIXI 3-G2-2-140	1.13	4.06	8.0	0.76	30.7	0.28	352	27.5	7.47	48.7
7	LIXI 3-G2-2-400	2.00	9.77	37.3	1.97	67.0	0.90	151	60.2	16.56	48.0
8	LIXI 3-G3-140	1.10	4.31	7.8	0.70	29.7	0.32	21.8	26.2	7.32	51.6
9	LIXI 3-G3-400	1.86	8.89	37.3	1.55	61.3	0.90	34.9	55.1	15.27	39.2
10	LIXI 3-G4-140	1.52	6.05	18.0	1.01	47.3	0.53	34.1	40.9	11.55	39.4
11	LIXI 3-G4-400	3.85	17.0	101	3.26	126	1.91	72.0	118	32.36	45.5
12	LIXI 3-G5-140	1.31	5.09	12.1	0.95	35.0	0.44	233	30.7	8.46	61.4
13	LIXI 3-G5-400	1.64	7.07	24.9	1.50	47.8	0.71	35.6	41.9	11.67	64.5
14	LIXI 3-G6-140	5.39	20.6	78.9	2.22	183	1.33	141	178	48.64	32.8
15	LIXI 3-G6-400	2.86	12.5	74.5	2.12	92.2	1.29	140	83.1	23.17	43.9
16	LIXI 3-G7-140	1.32	5.33	16.1	0.95	41.5	0.42	25.5	37.3	10.20	43.7
17	LIXI 3-G8-140	4.84	19.4	72.0	1.96	162	1.14	105	159	43.76	31.2

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0873 Sm* ppm 0.03 1000	G0873 Sn* ppm 1 10000	G0873 Ta* ppm 0.1 10000	G0873 Tb* ppm 0.01 1000	G0873 Th* ppm 0.05 1000	G0873 Tm* ppm 0.01 1000	G0873 U* ppm 0.05 1000	G0873 W* ppm 1 10000	G0873 Y* ppm 0.5 10000	G0873 Yb* ppm 0.03 10000
1	LIXI 3-G0-400	6.98	6	0.5	0.99	11.01	0.45	4.17	14	26.9	2.82
2	LIXI 3-G1-140	6.84	4	4.2	0.76	7.56	0.41	2.80	11	22.4	2.74
3	LIXI 3-G1-400	11.25	7	2.3	1.47	17.99	0.96	7.17	11	49.6	6.72
4	LIXI 3-G2-1-140	5.43	4	37.3	0.77	9.21	0.40	2.78	9	23.7	2.74
5	LIXI 3-G2-1-400	8.51	4	340	1.15	10.60	0.72	4.20	29	37.9	4.44
6	LIXI 3-G2-2-140	4.39	6	660	0.61	7.31	0.28	2.45	16	18.5	2.00
7	LIXI 3-G2-2-400	10.73	6	1110	1.49	13.47	0.83	6.39	12	48.3	5.89
8	LIXI 3-G3-140	4.97	3	1.3	0.59	7.49	0.31	1.86	7	18.3	2.24
9	LIXI 3-G3-400	10.02	5	3.2	1.29	15.91	0.78	6.00	7	43.4	5.42
10	LIXI 3-G4-140	7.65	2	11.6	0.87	8.96	0.39	2.81	7	26.2	3.35
11	LIXI 3-G4-400	22.36	7	5.8	2.55	30.74	1.62	12.82	8	84.3	11.8
12	LIXI 3-G5-140	5.91	3	163	0.79	10.86	0.37	2.69	10	23.9	2.71
13	LIXI 3-G5-400	8.26	3	9.2	1.17	12.33	0.66	4.30	6	39.2	4.63
14	LIXI 3-G6-140	31.53	7	282	2.29	25.24	1.02	9.24	8	54.6	7.47
15	LIXI 3-G6-400	15.84	10	162	1.66	29.47	1.11	11.41	7	55.1	7.74
16	LIXI 3-G7-140	6.73	3	1.4	0.79	10.11	0.43	2.62	5	22.5	2.57
17	LIXI 3-G8-140	28.51	10	14.2	2.05	23.80	0.97	8.54	6	49.5	6.94

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras		Elementos
N°	Codigo de Servicio	G0873
	Elemento	Zr*
	Unidad	ppm
	Límite Inferior	0.5
	Límite Superior	10000
1	LIXI 3-G0-400	341
2	LIXI 3-G1-140	535
3	LIXI 3-G1-400	1632
4	LIXI 3-G2-1-140	315
5	LIXI 3-G2-1-400	703
6	LIXI 3-G2-2-140	280
7	LIXI 3-G2-2-400	1239
8	LIXI 3-G3-140	270
9	LIXI 3-G3-400	1277
10	LIXI 3-G4-140	651
11	LIXI 3-G4-400	3655
12	LIXI 3-G5-140	434
13	LIXI 3-G5-400	863
14	LIXI 3-G6-140	3068
15	LIXI 3-G6-400	2871
16	LIXI 3-G7-140	606
17	LIXI 3-G8-140	2674

INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

CONTROL DE CALIDAD

Muestras QC		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0108 Au ppm 0.005 10	G0146 Ag ppm 0.2 100	G0146 Al* % 0.01 15	G0146 As* ppm 3 10000	G0146 Ba* ppm 1 10000	G0146 Be* ppm 0.5 10000	G0146 Bi* ppm 5 10000	G0146 Ca* % 0.01 15	G0146 Cd* ppm 1 10000	G0146 Co* ppm 1 10000
1	GXR1 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	GXR1 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	--	4.4	2.06	310	41	--	76	0.45	3	8
4	STD41R-AR-ICP Rango	--	4.1-4.9	1.48-2.20	275-315	31-43	--	60-76	0.40-0.52	2-6	4-12
5	CDN-RE-1201 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	CDN-RE-1201 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	33.6	--	--	--	--	--	--	--	--
8	CDN-ME-1501 Rango	--	32.3-36.9	--	--	--	--	--	--	--	--
9	STD 213 (Obtenido)	0.091	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	STD 213 Rango	0.073-0.093	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	LIXI 3-G0-400 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12	LIXI 3-G0-400 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	LIXI 3-G1-400 (Original)	0.077	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	LIXI 3-G1-400 (Dup)	0.081	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	LIXI 3-G8-140 (Original)	--	<0.2	0.63	<3	70	<0.5	<5	0.24	<1	11
16	LIXI 3-G8-140 (Dup)	--	<0.2	0.65	<3	68	<0.5	<5	0.25	<1	10
17	Blanco	<0.005	<0.2	<0.01	<3	<1	<0.5	<5	<0.01	<1	<1

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras QC		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0146 Cr* ppm 1 10000	G0146 Cu ppm 0.5 10000	G0146 Fe* % 0.01 15	G0146 Ga* ppm 10 10000	G0146 K* % 0.01 15	G0146 La* ppm 0.5 10000	G0146 Mg* % 0.01 15	G0146 Mn* ppm 2 10000	G0146 Mo* ppm 1 10000	G0146 Na* % 0.01 15
1	GXR1 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	GXR1 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	40	223	4.73	--	0.31	13.0	0.45	1015	4	0.05
4	STD41R-AR-ICP Rango	33-41	211-240	4.44-4.76	--	0.24-0.32	11.5-13.9	0.41-0.45	935-1063	3-7	0.02-0.06
5	CDN-RE-1201 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	CDN-RE-1201 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	2882	--	--	--	--	--	--	--	--
8	CDN-ME-1501 Rango	--	2820-3020	--	--	--	--	--	--	--	--
9	STD 213 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	STD 213 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	LIXI 3-G0-400 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12	LIXI 3-G0-400 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	LIXI 3-G1-400 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	LIXI 3-G1-400 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	LIXI 3-G8-140 (Original)	257	12.2	4.82	<10	0.09	68.5	0.25	502	<1	0.02
16	LIXI 3-G8-140 (Dup)	261	12.6	4.96	<10	0.09	70.6	0.25	518	<1	0.02
17	Blanco	<1	<0.5	<0.01	<10	<0.01	<0.5	<0.01	<2	<1	<0.01

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras QC		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146
		Nb*	Ni*	P*	Pb	S*	Sb*	Sc*	Sn*	Sr*	Ti*
		ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%
		1	1	0.01	2	0.01	5	0.5	10	0.5	0.01
		10000	10000	15	10000	10	10000	10000	10000	5000	15
1	GXR1 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	GXR1 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	--	4	0.07	220	0.28	42	4.0	31	33.7	0.13
4	STD41R-AR-ICP Rango	--	3-7	0.05-0.09	197-233	0.25-0.29	39-51	3.6-4.0	8-52	28.5-34.1	0.11-0.15
5	CDN-RE-1201 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	CDN-RE-1201 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	--	--	3886	--	--	--	--	--	--
8	CDN-ME-1501 Rango	--	--	--	3670-4030	--	--	--	--	--	--
9	STD 213 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	STD 213 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	LIXI 3-G0-400 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12	LIXI 3-G0-400 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	LIXI 3-G1-400 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	LIXI 3-G1-400 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	LIXI 3-G8-140 (Original)	<1	23	0.04	15	0.02	<5	2.5	<10	15.7	0.36
16	LIXI 3-G8-140 (Dup)	<1	23	0.04	16	0.02	<5	2.5	<10	17.0	0.37
17	Blanco	<1	<1	<0.01	<2	<0.01	<5	<0.5	<10	<0.5	<0.01

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras QC		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0146 Tl* ppm 2 10000	G0146 V* ppm 2 10000	G0146 W* ppm 10 10000	G0146 Y* ppm 0.5 10000	G0146 Zn ppm 0.5 10000	G0146 Zr* ppm 0.5 10000	G0873 Ce* ppm 0.5 10000	G0873 Dy* ppm 0.05 1000	G0873 Er* ppm 0.03 1000	G0873 Eu* ppm 0.03 1000
1	GXR1 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	17.0	4.80	--	0.64
2	GXR1 Rango	--	--	--	--	--	--	10.0-24.0	3.1-5.5	--	0.59-0.79
3	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	--	47	57	7.2	363	13.0	--	--	--	--
4	STD41R-AR-ICP Rango	--	43-47	56-64	6.3-7.5	343-379	9.1-13.9	--	--	--	--
5	CDN-RE-1201 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	6.81	--
6	CDN-RE-1201 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	6.00-7.00	--
7	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	--	--	--	2442	--	--	--	--	--
8	CDN-ME-1501 Rango	--	--	--	--	2430-2630	--	--	--	--	--
9	STD 213 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	STD 213 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	LIXI 3-G0-400 (Original)	--	--	--	--	--	--	83.3	5.36	3.06	1.42
12	LIXI 3-G0-400 (Dup)	--	--	--	--	--	--	82.3	5.27	3.02	1.40
13	LIXI 3-G1-400 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	LIXI 3-G1-400 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	LIXI 3-G8-140 (Original)	<2	108	<10	10.7	43.7	14.0	--	--	--	--
16	LIXI 3-G8-140 (Dup)	<2	112	<10	11.2	41.2	14.2	--	--	--	--
17	Blanco	<2	<2	<10	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.05	<0.03	<0.03

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras QC		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0873 Gd* ppm 0.05 1000	G0873 Hf* ppm 0.2 10000	G0873 Ho* ppm 0.01 1000	G0873 La* ppm 0.5 10000	G0873 Lu* ppm 0.01 1000	G0873 Nb* ppm 0.2 10000	G0873 Nd* ppm 0.1 10000	G0873 Pr* ppm 0.03 1000	G0873 Rb* ppm 0.2 10000	G0873 Sm* ppm 0.03 1000
1	GXR1 (Obtenido)	4.16	1.0	--	7.7	0.31	--	--	--	--	--
2	GXR1 Rango	3.6-4.8	0.72-1.20	--	6.70-8.30	0.22-0.34	--	--	--	--	--
3	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	STD41R-AR-ICP Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	CDN-RE-1201 (Obtenido)	--	--	2.49	--	--	--	306	115	--	34.74
6	CDN-RE-1201 Rango	--	--	2.30-2.70	--	--	--	293-329	105-119	--	32.5-38.7
7	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	CDN-ME-1501 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	STD 213 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	STD 213 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	LIXI 3-G0-400 (Original)	6.40	10.1	1.11	42.8	0.48	15.5	35.0	10.01	54.0	6.98
12	LIXI 3-G0-400 (Dup)	6.33	10.0	1.02	42.2	0.47	15.1	34.2	10.02	53.2	6.90
13	LIXI 3-G1-400 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	LIXI 3-G1-400 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	LIXI 3-G8-140 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	LIXI 3-G8-140 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17	Blanco	<0.05	<0.2	<0.01	<0.5	<0.01	<0.2	<0.1	<0.03	<0.2	<0.03

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

Muestras QC		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0873 Sn* ppm 1 10000	G0873 Ta* ppm 0.1 10000	G0873 Tb* ppm 0.01 1000	G0873 Th* ppm 0.05 1000	G0873 Tm* ppm 0.01 1000	G0873 U* ppm 0.05 1000	G0873 W* ppm 1 10000	G0873 Y* ppm 0.5 10000	G0873 Yb* ppm 0.03 10000	G0873 Zr* ppm 0.5 10000
1	GXR1 (Obtenido)	48	--	--	--	--	35.27	171	27.9	2.22	--
2	GXR1 Rango	45.0-63.0	--	--	--	--	31.30-38.50	99.0-229	21.0-43.0	1.3-2.5	--
3	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	STD41R-AR-ICP Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	CDN-RE-1201 (Obtenido)	--	--	2.98	--	--	--	--	--	--	--
6	CDN-RE-1201 Rango	--	--	2.60-3.20	--	--	--	--	--	--	--
7	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	CDN-ME-1501 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	STD 213 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	STD 213 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	LIXI 3-G0-400 (Original)	6	0.5	0.99	11.01	0.45	4.17	14	26.9	2.82	341
12	LIXI 3-G0-400 (Dup)	6	0.5	0.96	11.00	0.45	4.11	13	26.6	2.77	344
13	LIXI 3-G1-400 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	LIXI 3-G1-400 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	LIXI 3-G8-140 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	LIXI 3-G8-140 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17	Blanco	<1	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.05	<1	<0.5	<0.03	<0.5



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° SEP0142.R19
18-Set.-2019

METODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO

N°	Descripción			
	Analito	Cod.Serv	Metodo	Descripción
1	Au	G0108	IC-EF-01	Muestras de Exploración Geoquímica: Análisis de Oro por Ensayos al Fuego - AAS.(Validado).Rev.32/2019
2	Varios *	G0146	IC-VH-33	Muestras de Exploración Geoquímica: Análisis Multielemental por ICP-OES - Digestión Agua Regia (HNO3, HCl).(Validado en Ag,Cu,Pb,Zn).Rev.12/2019
3	Varios *	G0873	IC-VH-92	Análisis multielemental-Espectrometría de Masa Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)-Fusion Metaborato de Litio

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

ANEXO 2.2

Primera salida de Campo

Análisis por Absorción Atómica a los Concentrados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

ANALISIS MULTIELEMENTAL DE TRES MUESTRAS DE ARENAS BATEADAS

APOYO A TESIS : PERCY ANGEL LEDESMA ARISTA
Procedencia de muestra : Madre de Dios
Recepción de muestras : Lima, 18 de Octubre del 2019

RESULTADO DEL ANALISIS MULTIELEMENTAL DE TRES MUESTRAS DE ARENAS

Componentes químicos	Arena G1	Arena G4	Arena G6
%SiO ₂	28.60	21.90	27.9
%Al ₂ O ₃	0.48	0.38	0.36
%Fe ₂ O ₃	41.41	47.13	47.00
%MgO	0.23	0.21	0.34
%CaO	1.77	1.76	1.88
%Na ₂ O	0.01	0.02	0.14
%K ₂ O	0.01	0.01	0.02
%TiO ₂	25.36	26.69	21.02
%Zr	1.94	1.82	1.11
%Mn	0.021	0.016	0.018
%V	0.0025	0.0030	0.0020
%Cu	0.0006	0.0004	0.0005
%Pb	0.0003	0.0002	0.0004
%Zn	0.0011	0.0018	0.0012
%Cd	0.00002	0.00001	0.00001
%As	0.00003	0.00002	0.00001
Ag(ppm)	2.00	1.00	0.60
Au(ppm)	0.51	0.41	1.54
Sc(ppm)	22	25	21
Y(ppm)	33	36	32
La(ppm)	29	38	34
Ce(ppm)	71	82	76
Nd(ppm)	23	26	29
Yb(ppm)	56	49	41
Lu(ppm)	0.6	0.9	0.7

Tierras raras : La,Ce,Nd,Yb,Lu,Y,Sc

Métodos analíticos utilizados: Espectrometría de emisión, absorción atómica y vía seca.

Lima, 10 de Diciembre del 2019

MSc. Atilio Mendoza A.
Jefe Lab. ESPECTROMETRÍA

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú

Teléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245

e-mail: labespectro@uni.edu.pe



ANEXO 2.3

Segunda salida de campo

Análisis multielemental a fracciones granulométricas



INFORME DE ENSAYO N° DIC0117.R19

Solicitante :	UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA
Dirección :	Av. Cascanueces N° 2221 Santa Anita, Lima Perú
Solicitado por :	Karina Visurraga
Referencia :	Solicitud de Análisis del 11-12-2019
Proyecto / Prospecto :	-
Tipo(s) de Muestra(s) :	Exploración Geoquímica
Estado de la Muestra :	Las muestras tipo Suelos se recibieron en sobres de Polietileno.
Número de muestras :	4
Fecha de Recepción :	Miércoles, 11 de Diciembre de 2019
Lugar de Recepción :	S.J. de Miraflores, Lima
Fecha de Ejecución de Ensayo :	2019-12-11 al 2019-12-19
Fecha de reporte :	Jueves, 19 de Diciembre de 2019

Los resultados corresponden al ensayo solicitado en la(s) muestra(s) recibida(s)

Los ensayos han sido realizados en:

CERTIMIN S.A.
Av. Las Vegas 845.
San Juan de Miraflores - Lima.
Perú.
Teléfonos: (51-1) 205-5656.
Fax: (51-1) 205-5656.
Correo Electronico: certimin@certimin.pe

SANTOS OROYA ROJAS
Gerente de Laboratorios

Lima, 19 de Diciembre de 2019

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."
"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce".

RESULTADOS

Muestras		Elementos													
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0207 Weight* kg	G0108 Au ppm 0.005 10	G0146 Ag ppm 0.2 100	G0146 Al* % 0.01 15	G0146 As* ppm 3 10000	G0146 Ba* ppm 1 10000	G0146 Be* ppm 0.5 10000	G0146 Bi* ppm 5 10000	G0146 Ca* % 0.01 15	G0146 Cd* ppm 1 10000	G0146 Co* ppm 1 10000	G0146 Cr* ppm 1 10000	G0146 Cu ppm 0.5 10000	G0146 Fe* % 0.01 15
1	LIXI3-G1-140-SC2	0.15	<0.005	<0.2	0.72	7	54	<0.5	<5	0.15	<1	9	238	14.0	2.32
2	LIXI3-G1-400-SC2	0.15	<0.005	<0.2	0.83	<3	69	<0.5	<5	0.26	<1	11	286	18.7	3.99
3	LIXI3-G4-140-SC2	0.15	<0.005	<0.2	0.73	<3	60	<0.5	<5	0.22	<1	10	446	18.9	2.52
4	LIXI3-G4-400-SC2	0.15	<0.005	<0.2	0.72	<3	86	<0.5	<5	0.37	<1	18	321	21.8	10.04

[IC-VH-33] Los elementos Al, Ba, Be, Ca, Cr, Ga, K, La, Mg, Na, S, Sc, Sn, Sr, Ti, W, Zr la digestión podría ser incompleta

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
19-Dic.-2019

Muestras		Elementos													
N°	Codigo de Servicio	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146
	Elemento	Ga*	K*	La*	Mg*	Mn*	Mo*	Na*	Nb*	Ni*	P*	Pb	S*	Sb*	Sc*
	Unidad	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm
	Límite Inferior	10	0.01	0.5	0.01	2	1	0.01	1	1	0.01	2	0.01	5	0.5
	Límite Superior	10000	15	10000	15	10000	10000	15	10000	10000	15	10000	10	10000	10000
1	LIXI3-G1-140-SC2	<10	0.10	18.3	0.26	262	<1	0.02	<1	22	0.03	10	0.01	8	1.7
2	LIXI3-G1-400-SC2	<10	0.12	40.5	0.30	400	<1	0.03	<1	25	0.05	23	0.03	<5	2.6
3	LIXI3-G4-140-SC2	<10	0.12	23.9	0.26	314	4	0.03	<1	23	0.03	16	0.01	<5	2.2
4	LIXI3-G4-400-SC2	<10	0.10	114	0.28	860	3	0.03	<1	30	0.07	24	0.05	<5	4.1



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
 19-Dic.-2019

Muestras		Elementos														
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0146	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873
		Sn*	Sr*	Ti*	Tl*	V*	W*	Y*	Zn	Zr*	Ce*	Dy*	Er*	Eu*	Gd*	
		ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		10	0.5	0.01	2	2	10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.05	0.03	0.03	0.05
		10000	5000	15	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000	1000	1000	1000
1	LIXI3-G1-140-SC2	<10	14.2	0.08	<2	31	<10	5.4	39.6	4.5	95.3	4.43	2.66	1.54	5.94	
2	LIXI3-G1-400-SC2	<10	19.2	0.20	<2	76	<10	10.7	51.1	14.8	219	12.87	9.06	3.04	14.96	
3	LIXI3-G4-140-SC2	<10	16.9	0.13	<2	35	<10	6.6	44.0	6.0	107	4.11	2.35	1.64	6.43	
4	LIXI3-G4-400-SC2	<10	22.1	0.68	<2	261	<10	22.6	62.0	54.7	689	30.65	21.92	9.28	42.22	

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
19-Dic.-2019

Muestras		Elementos													
N°	Codigo de Servicio	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873
	Elemento	Hf*	Ho*	La*	Lu*	Nb*	Nd*	Pr*	Rb*	Sm*	Sn*	Ta*	Tb*	Th*	Tm*
	Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	Límite Inferior	0.2	0.01	0.5	0.01	0.2	0.1	0.03	0.2	0.03	1	0.1	0.01	0.05	0.01
	Límite Superior	10000	1000	10000	1000	10000	10000	1000	10000	1000	10000	10000	1000	1000	1000
1	LIXI3-G1-140-SC2	16.5	0.92	46.0	0.44	31.8	43.6	11.16	49.2	7.94	11	3.0	0.84	5.24	0.41
2	LIXI3-G1-400-SC2	101	2.84	104	1.66	71.3	98.8	25.17	48.7	17.95	14	9.8	2.21	19.07	1.46
3	LIXI3-G4-140-SC2	8.0	0.85	50.9	0.30	29.5	49.4	12.53	42.6	8.86	9	3.2	0.80	6.74	0.35
4	LIXI3-G4-400-SC2	302	6.79	314	4.29	232	319	80.07	29.9	57.30	27	20.0	5.62	63.69	3.70



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
19-Dic.-2019

Muestras		Elementos				
N°	Codigo de Servicio	G0873	G0873	G0873	G0873	G0873
	Elemento	U*	W*	Y*	Yb*	Zr*
	Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	Límite Inferior	0.05	1	0.5	0.03	0.5
	Límite Superior	1000	10000	10000	10000	10000
1	LIXI3-G1-140-SC2	2.33	1	23.7	2.78	628
2	LIXI3-G1-400-SC2	10.50	2	76.5	10.31	3693
3	LIXI3-G4-140-SC2	1.75	1	20.7	2.27	319
4	LIXI3-G4-400-SC2	27.42	5	181	25.78	>10000

INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
19-Dic.-2019

CONTROL DE CALIDAD

Muestras QC		Elementos													
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0108 Au ppm 0.005 10	G0146 Ag ppm 0.2 100	G0146 Al* % 0.01 15	G0146 As* ppm 3 10000	G0146 Ba* ppm 1 10000	G0146 Be* ppm 0.5 10000	G0146 Bi* ppm 5 10000	G0146 Ca* % 0.01 15	G0146 Cd* ppm 1 10000	G0146 Co* ppm 1 10000	G0146 Cr* ppm 1 10000	G0146 Cu ppm 0.5 10000	G0146 Fe* % 0.01 15	G0146 Ga* ppm 10 10000
1	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	--	4.8	1.90	302	41	--	76	0.47	4	10	39	226	4.76	--
2	STD41R-AR-ICP Rango	--	4.1-4.9	1.48-2.20	275-315	31-43	--	60-76	0.40-0.52	2-6	4-12	33-41	211-240	4.44-4.76	--
3	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	34.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2947	--	--
4	CDN-ME-1501 Rango	--	32.3-36.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2820-3020	--	--
5	STD 213 (Obtenido)	0.081	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	STD 213 Rango	0.073-0.093	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	OREAS 149 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	OREAS 149 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	NCS DC 86304 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	NCS DC 86304 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	LIXI3-G1-140-SC2 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12	LIXI3-G1-140-SC2 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	LIXI3-G1-400-SC2 (Original)	--	<0.2	0.83	<3	69	<0.5	<5	0.26	<1	11	286	18.7	3.99	<10
14	LIXI3-G1-400-SC2 (Dup)	--	<0.2	0.84	<3	69	<0.5	<5	0.27	<1	11	299	18.2	4.08	<10
15	LIXI3-G4-140-SC2 (Original)	<0.005	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	LIXI3-G4-140-SC2 (Dup)	<0.005	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17	Blanco	<0.005	<0.2	<0.01	<3	<1	<0.5	<5	<0.01	<1	<1	<1	<0.5	<0.01	<10

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
19-Dic.-2019

Muestras QC		Elementos													
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0146 K* %	G0146 La* ppm	G0146 Mg* %	G0146 Mn* ppm	G0146 Mo* ppm	G0146 Na* %	G0146 Nb* ppm	G0146 Ni* ppm	G0146 P* %	G0146 Pb ppm	G0146 S* %	G0146 Sb* ppm	G0146 Sc* ppm	G0146 Sn* ppm
		0.01	0.5	0.01	2	1	0.01	1	1	0.01	2	0.01	5	0.5	10
		15	10000	15	10000	10000	15	10000	10000	15	10000	10	10000	10000	10000
1	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	0.30	13.0	0.45	1051	3	0.05	--	7	0.07	230	0.29	46	3.8	47
2	STD41R-AR-ICP Rango	0.24-0.32	11.5-13.9	0.41-0.45	935-1063	3-7	0.02-0.06	--	3-7	0.05-0.09	197-233	0.25-0.29	39-51	3.6-4.0	8-52
3	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3940	--	--	--	--
4	CDN-ME-1501 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3670-4030	--	--	--	--
5	STD 213 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	STD 213 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	OREAS 149 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	OREAS 149 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	NCS DC 86304 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	NCS DC 86304 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	LIXI3-G1-140-SC2 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12	LIXI3-G1-140-SC2 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	LIXI3-G1-400-SC2 (Original)	0.12	40.5	0.30	400	<1	0.03	<1	25	0.05	23	0.03	<5	2.6	<10
14	LIXI3-G1-400-SC2 (Dup)	0.12	42.4	0.31	415	<1	0.03	<1	25	0.05	24	0.03	<5	2.7	<10
15	LIXI3-G4-140-SC2 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	LIXI3-G4-140-SC2 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17	Blanco	<0.01	<0.5	<0.01	<2	<1	<0.01	<1	<1	<0.01	<2	<0.01	<5	<0.5	<10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
19-Dic.-2019

Registro N°LE -022

Muestras QC		Elementos													
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0146 Sr* ppm	G0146 Ti* %	G0146 Tl* ppm	G0146 V* ppm	G0146 W* ppm	G0146 Y* ppm	G0146 Zn ppm	G0146 Zr* ppm	G0873 Ce* ppm	G0873 Dy* ppm	G0873 Er* ppm	G0873 Eu* ppm	G0873 Gd* ppm	G0873 Hf* ppm
		0.5	0.01	2	2	10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.05	0.03	0.03	0.05	0.2
		5000	15	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000	1000	1000	1000	10000
1	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	32.0	0.13	--	45	60	7.1	370	12.2	--	--	--	--	--	--
2	STD41R-AR-ICP Rango	28.5-34.1	0.11-0.15	--	43-47	56-64	6.3-7.5	343-379	9.1-13.9	--	--	--	--	--	--
3	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	2478	--	--	--	--	--	--	--
4	CDN-ME-1501 Rango	--	--	--	--	--	--	2430-2630	--	--	--	--	--	--	--
5	STD 213 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	STD 213 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	OREAS 149 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	432	4.41	1.89	4.14	10.67	5.5
8	OREAS 149 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	396-468	3.94-4.84	1.48-2.16	3.77-4.81	8.33-11.01	3.3-7.2
9	NCS DC 86304 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	1.9	0.58	0.24	0.12	0.71	--
10	NCS DC 86304 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	1.8-2.4	0.53-0.59	0.17-0.29	0.09-0.13	0.56-0.74	--
11	LIXI3-G1-140-SC2 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	95.3	4.43	2.66	1.54	5.94	16.5
12	LIXI3-G1-140-SC2 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	93.4	4.32	2.52	1.51	5.90	16.6
13	LIXI3-G1-400-SC2 (Original)	19.2	0.20	<2	76	<10	10.7	51.1	14.8	--	--	--	--	--	--
14	LIXI3-G1-400-SC2 (Dup)	19.6	0.21	<2	78	<10	11.0	52.6	14.7	--	--	--	--	--	--
15	LIXI3-G4-140-SC2 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	LIXI3-G4-140-SC2 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17	Blanco	<0.5	<0.01	<2	<2	<10	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.05	<0.03	<0.03	<0.05	<0.2

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
19-Dic.-2019

Muestras QC		Elementos													
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite Inferior Límite Superior	G0873 Ho* ppm	G0873 La* ppm	G0873 Lu* ppm	G0873 Nb* ppm	G0873 Nd* ppm	G0873 Pr* ppm	G0873 Rb* ppm	G0873 Sm* ppm	G0873 Sn* ppm	G0873 Ta* ppm	G0873 Tb* ppm	G0873 Th* ppm	G0873 Tm* ppm	G0873 U* ppm
		0.01	0.5	0.01	0.2	0.1	0.03	0.2	0.03	1	0.1	0.01	0.05	0.01	0.05
		1000	10000	1000	10000	10000	1000	10000	1000	10000	10000	1000	1000	1000	1000
1	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	STD41R-AR-ICP Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	CDN-ME-1501 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	STD 213 (Obtenido)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	STD 213 Rango	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	OREAS 149 (Obtenido)	0.70	261	--	--	152	47.30	805	18.64	2929	31.1	1.09	103	0.25	23.66
8	OREAS 149 Rango	0.62-0.88	253-281	--	--	131-171	44.02-51.58	793-855	16.68-22.32	2670-3910	24.7-36.5	0.76-1.44	100-132	0.16-0.32	22.5-27.3
9	NCS DC 86304 (Obtenido)	--	--	0.04	47.9	2.2	--	--	0.53	100	--	--	--	0.04	--
10	NCS DC 86304 Rango	--	--	0.02-0.04	36.0-49.4	2.1-2.7	--	--	0.47-0.63	92-102	--	--	--	0.03-0.05	--
11	LIXI3-G1-140-SC2 (Original)	0.92	46.0	0.44	31.8	43.6	11.16	49.2	7.94	11	3.0	0.84	5.24	0.41	2.33
12	LIXI3-G1-140-SC2 (Dup)	0.81	43.7	0.40	32.0	43.8	11.20	53.7	8.13	10	3.7	0.80	5.25	0.39	2.38
13	LIXI3-G1-400-SC2 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	LIXI3-G1-400-SC2 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	LIXI3-G4-140-SC2 (Original)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	LIXI3-G4-140-SC2 (Dup)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17	Blanco	<0.01	<0.5	<0.01	<0.2	<0.1	<0.03	<0.2	<0.03	<1	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.05

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
19-Dic.-2019

Muestras QC		Elementos			
N°	Codigo de Servicio	G0873	G0873	G0873	G0873
	Elemento	W*	Y*	Yb*	Zr*
	Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm
	Límite Inferior	1	0.5	0.03	0.5
	Límite Superior	10000	10000	10000	10000
1	STD41R-AR-ICP (Obtenido)	--	--	--	--
2	STD41R-AR-ICP Rango	--	--	--	--
3	CDN-ME-1501 (Obtenido)	--	--	--	--
4	CDN-ME-1501 Rango	--	--	--	--
5	STD 213 (Obtenido)	--	--	--	--
6	STD 213 Rango	--	--	--	--
7	OREAS 149 (Obtenido)	--	17.1	1.32	148
8	OREAS 149 Rango	--	13.9-20.7	1.20-1.74	108-204
9	NCS DC 86304 (Obtenido)	41	--	0.19	--
10	NCS DC 86304 Rango	41-47	--	0.13-0.27	--
11	LIXI3-G1-140-SC2 (Original)	1	23.7	2.78	628
12	LIXI3-G1-140-SC2 (Dup)	1	21.8	2.58	631
13	LIXI3-G1-400-SC2 (Original)	--	--	--	--
14	LIXI3-G1-400-SC2 (Dup)	--	--	--	--
15	LIXI3-G4-140-SC2 (Original)	--	--	--	--
16	LIXI3-G4-140-SC2 (Dup)	--	--	--	--
17	Blanco	<1	<0.5	<0.03	<0.5

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° DIC0117.R19
19-Dic.-2019

METODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO

N°	Descripción			
	Analito	Cod.Serv	Metodo	Descripción
1	Au	G0108	IC-EF-01	Muestras de Exploración Geoquímica: Determinación de Oro por Ensayos al Fuego - AAS.(Validado).Rev.32/2019
2	Varios *	G0146	IC-VH-33	Muestras de Exploración Geoquímica: Determinación Multielemental por ICP-OES - Digestión Agua Regia (HNO3, HCl).(Validado en Ag,Cu,Pb,Zn).Rev.12/2019
3	Varios *	G0873	IC-VH-92	Análisis multielemental-Espectrometría de Masa Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)-Fusion Metaborato de Litio

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

ANEXO 2.4

Segunda salida de campo

Difractometría de rayos X



INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE TRES MUESTRAS

Para:

UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA - UTEC

Aprobado por:

Gerente General: Erika Gabriel

Informe de Ensayo No: IL-001MI-1205			
REV	EDICION	EMITIDO PARA	FECHA
0	Primera	Información	10-Ene-2020
<p>Descargo de Responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce.</p>			

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION.....	3
II. ANALISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	4
Muestra G1-CON-SC2.....	4
Muestra G4-CON-SC2.....	4
Muestra G6-CON-SC1.....	5
III. ANEXO.....	6

I. INTRODUCCION

A solicitud de la empresa UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA – UTEC, se ha realizado el análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) de tres muestras.

Las muestras se recibieron como polvo, encontrándose secas y en cantidades apropiadas para los análisis a realizar. El servicio corresponde a la orden de trabajo OT-001MI-1136.

En el análisis mineralógico por DRX se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en las muestras. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1%; sin embargo, para muestras con alto contenido de hierro éste se incrementa a 3%. La cuantificación de fases amorfas se evalúa a partir del 20% de contenido en la muestra. La identificación y cuantificación de fases de silicatos de cobre es limitada debido a que éstas carecen de ordenamiento estructural (baja cristalinidad). El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio.

II. ANALISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X
Muestra G1-CON-SC2

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	42
Ilmenita	FeTiO ₃	18
Hematita	Fe ₂ O ₃	11
Anfíbol (Actinolita)	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	7
Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	6
Zircon	ZrSiO ₄	5
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	4
Plagioclasa (Andesina)	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	3
Rutilo	TiO ₂	< L. D.
Anatasa	TiO ₂	< L. D.

Muestra G4-CON-SC2

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	50
Anfíbol (Actinolita)	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	12
Ilmenita	FeTiO ₃	11
Hematita	Fe ₂ O ₃	9
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	5
Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	4
Plagioclasa (Andesina)	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	3
Zircon	ZrSiO ₄	3
Anatasa	TiO ₂	< L. D.
Rutilo	TiO ₂	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

Muestra G6-CON-SC1

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	31
Ilmenita	FeTiO ₃	24
Hematita	Fe ₂ O ₃	18
Anfíbol (Actinolita)	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	8
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	6
Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	4
Zircon	ZrSiO ₄	4
Plagioclasa (Andesina)	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	2
Rutilo	TiO ₂	< L. D.
Anatasa	TiO ₂	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

III. ANEXO

OBSERVACIONES DE ANÁLISIS DRX:

- Los resultados aproximados han sido redondeados a su menor valor entero, por lo que la sumatoria de los resultados no siempre suma el 100%.
- El presente informe no puede ser utilizado como certificado.
- Los resultados corresponden a las muestras proporcionadas por el cliente, las cuales han sido entregadas en las instalaciones del laboratorio.
- Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.
- %: Porcentaje masa relativa (g/g).
- < L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

CONDICIONES DE OPERACIÓN DRX:

Equipo: Difractometro
Tubo Cu (40kV, 40mA): KAlfa1: 1.54060 Å
KAlfa2: 1.54439 Å
Filtro: Kbeta: Ni
Detector: LynxEye
Rango de medida desde $2\theta = 5^\circ$ hasta $2\theta = 70^\circ$
Identificación: Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD).
Cuantificación: Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD).

A continuación se presentan los difractogramas correspondientes a las muestras analizadas.

Figura 1. Difractograma de la Muestra G1-CON-SC2 con los respectivos minerales identificados

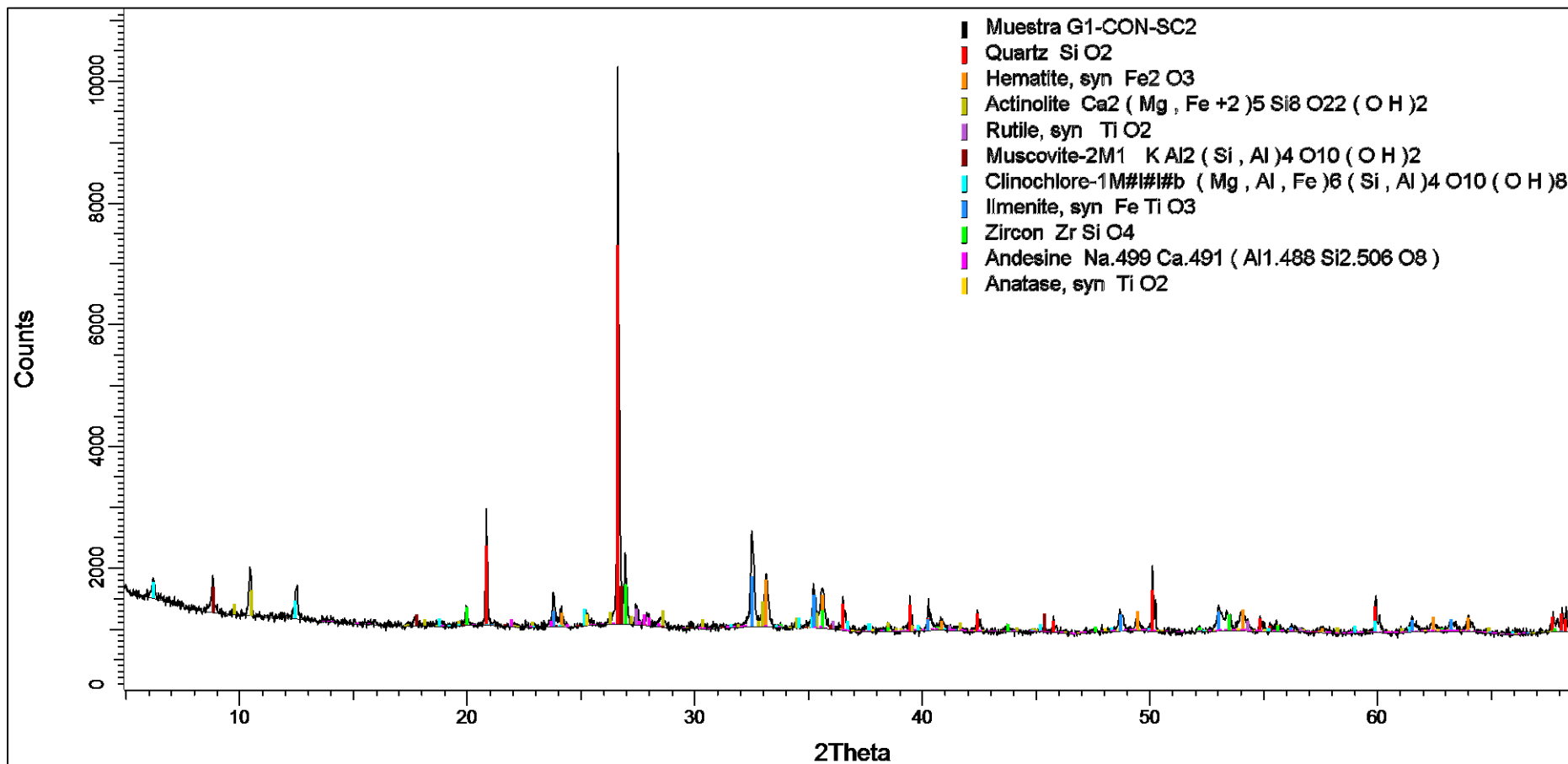


Figura 2. Difractograma de la Muestra G4-CON-SC2 con los respectivos minerales identificados

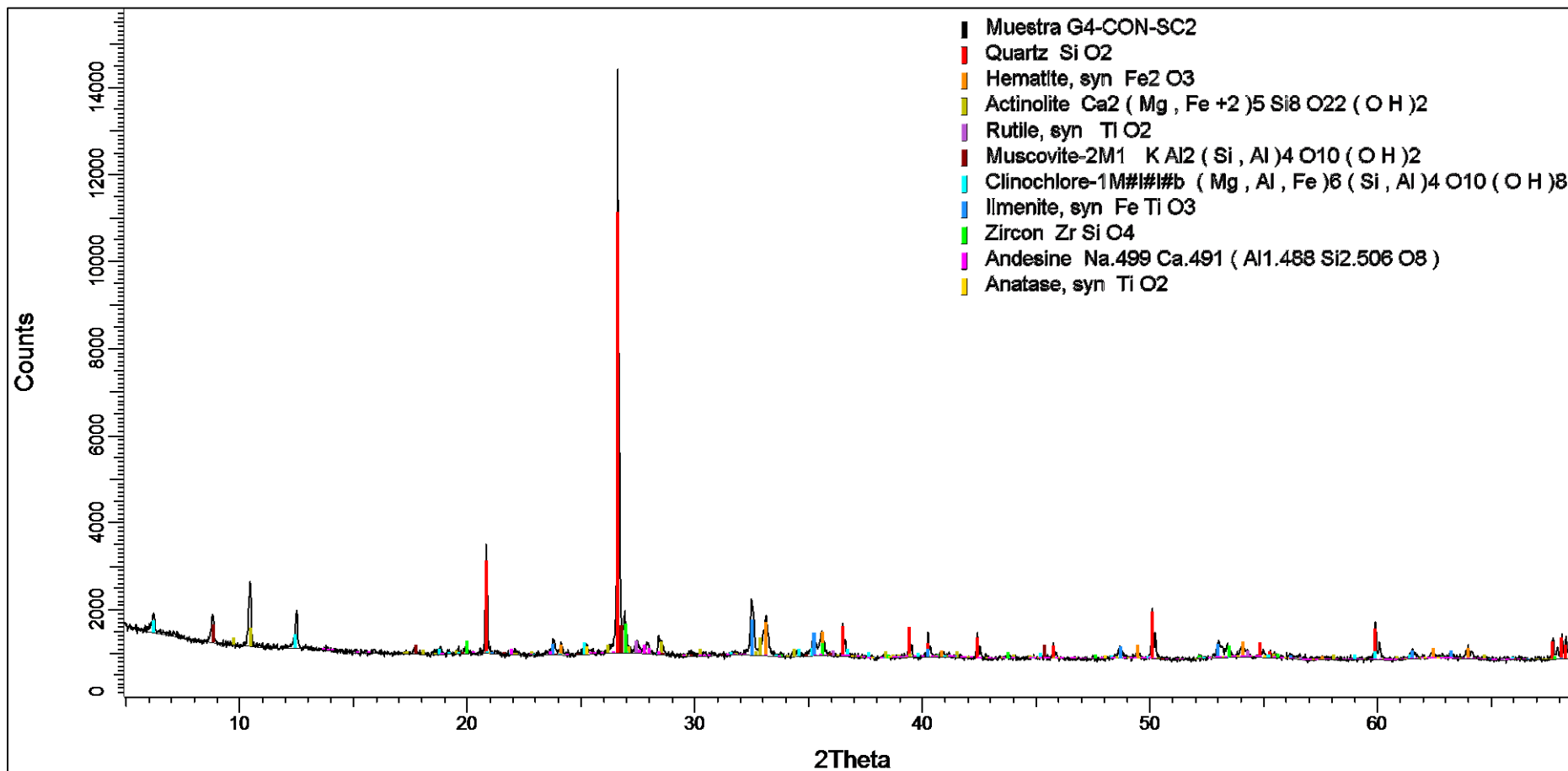


Figura 3. Difractograma de la Muestra G6-CON-SC1 con los respectivos minerales identificados

