

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



TESIS

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES
AURÍFEROS PUERTO BELÉN Y RAÚL 1, EN EL CORREDOR MINERO DE
MADRE DE DIOS, PERÚ**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO

AUTOR:

Bach. SÁNCHEZ CELIS HENRY ALBERTO

ASESOR:

Dr. Ing. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN

CAJAMARCA, PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Henry Alberto Sánchez Celis

2. DNI : 71284457

3. Escuela Profesional : Ingeniería Geológica

4. Asesor : Crispín Zenón Quispe Mamani

Facultad : Ingeniería

5. Grado académico o título profesional

Bachiller Título profesional Segunda especialidad

Maestro Doctor

6. Tipo de Investigación:

Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

1. Título de Trabajo de Investigación: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES AURÍFEROS PUERTO BELÉN Y RAÚL 1, EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS, PERÚ.

2. Fecha de evaluación : 24 de junio de 2025

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

4. Porcentaje de Informe de Similitud : 4%

5. Código Documento : Trn: Oid: 3117:469568778

6. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión : 25 de junio de 2025


FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani

DNI : 29243825



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad

Fecha: 25/06/2025 00:06:27-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES AURÍFEROS PUERTO BELÉN Y RAÚL 1, EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS, PERÚ

ASESOR : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0648-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 01 de octubre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **diecisiete días del mes de octubre de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Vocal : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES AURÍFEROS PUERTO BELÉN Y RAÚL 1, EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS, PERÚ**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica **HENRY ALBERTO SÁNCHEZ CELIS**, asesorado por el Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA :0.6..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA :1.2..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL :1.8..... PTS DRECOCHU..... (En letras)

En consecuencia, se lo declaraALBERTO SÁNCHEZ CELIS..... con el calificativo deDRECOCHU..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las10.00.00..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Sede de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 4015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: HENRY ALBERTO SÁNCHEZ CELIS.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	3
2.2. Dominio del tema	3
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	3
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	3
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	12

Cajamarca, 17 de octubre de 2025

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: HENRY ALBERTO SÁNCHEZ CELIS.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	06
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	12
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	18
EN LETRAS (A + B)	DIECIOCHO
- Excelente 20 - 19	
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	MUY BUENO
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 17 de octubre de 2025

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zerón Quispe Mamani.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi alma máter, la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica por permitirme representarla como egresado, a cada uno de los docentes y trabajadores por transmitirme sus conocimientos y experiencias.

Agradecimiento y gratitud al Dr. Ing. Zenón Crispín Quispe Mamani, por su disposición para la asesoría y orientación en la presente investigación.

De igual manera, expreso mi agradecimiento al Msc. Daniel Alex Merino Natorce, representante en Perú de Artisanal Gold Council (AGC), y al Dr. Kevin Telmer, director ejecutivo de AGC, por el soporte técnico y científico, por brindarme todos los medios necesarios para la exitosa culminación de la presente investigación.

H. A. S. C.

DEDICATORIA

A mis ángeles en el cielo, mis abuelitos, Marcos y Margarita, por el amor infinito, esfuerzo y dedicación que tuvieron hacia mí. A mis padres y a mi hermano Anthony, por su continuo respaldo. A mis primos, Elsa, Cristhopher e Itzel. Y en especial dedico esta tesis, a mis tíos Mirian, Maritza, Olga e Isabel, por haber creído en mí, por su constante apoyo e infinito cariño.

H. A. S. C.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA	ii
CONTENIDO	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xxiv
RESUMEN	xxv
ABSTRACT	xxvi

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Internacionales.....	3
2.1.2. Nacionales.....	4
2.1.3. Locales	4
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. Depósitos Minerales	5
2.2.2. Tipos de Yacimientos de Oro en el Perú	7
2.2.3. Depósitos Tipo Placer.....	8
2.2.3.1. <i>Clasificación de Depósitos Tipo Placer</i>	9
2.2.3.2. <i>Geología de Depósitos Tipo Placer</i>	11
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	24

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN.....	26
3.1.1. Geográfica	26
3.1.2. Política	26

	Pág.
3.1.3. Accesibilidad	28
3.1.4. Clima y Vegetación.....	31
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	33
3.2.1. Etapa Pre-Campo	33
3.2.2. Etapa de Campo	34
3.2.3. Etapa Post-Campo.....	34
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	34
3.3.1. Población de Estudio	35
3.3.2. Muestra.....	35
3.3.3. Unidad de Análisis.....	35
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	35
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	36
3.5.1. Técnicas	36
3.5.2. Instrumentos y Equipos	36
3.6. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	39
3.7. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	39
3.7.1. Geomorfología	39
3.7.1.1. <i>Unidades Geomorfológicas de Primer Orden</i>	41
3.7.1.2. <i>Unidades Morfogenéticas</i>	43
3.7.2. Estratigrafía.....	48
3.7.3. Geología y Mineralogía	52
3.7.4. Hidrografía e Hidrogeología.....	58

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA LOCAL	61
4.1.1. Depósitos Aluviales.....	61
4.1.2. Basamento Rocososo	67
4.1.3. Estratigrafía	68
4.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA	112
4.2.1. Separación y Concentración de Minerales.....	112
4.2.2. Geoquímica	114

	Pág.
4.2.3. Microscopía	129
4.2.4. Granulometría	142
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	147
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. CONCLUSIONES	148
5.2. RECOMENDACIONES.....	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
ANEXOS	154
A. MAPAS	154
B. DIAGRAMAS	154
C. COLUMNAS.....	154

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Clasificación genética simplificada de los depósitos minerales.....	6
Tabla 2: Aparición de minerales metálicos.....	7
Tabla 3: Propiedades de los principales minerales de placeres.....	18
Tabla 4: Capacidad de migración de los minerales pesados en un entorno de placer....	18
Tabla 5: Tipos de depósitos de placer para ambientes sedimentarios.....	20
Tabla 6: Ubicación geográfica de las zonas de investigación.....	26
Tabla 7: Tipos de vías, distancias y tiempos entre los puntos de control involucrado en la investigación.....	28
Tabla 8: Clasificación y tipos de investigación.....	35
Tabla 9: Variables independientes y dependientes.....	35
Tabla 10: Clasificación de las unidades morfogenéticas.....	43
Tabla 11: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. Nº 01. Longitud Este: 347877 – Latitud Norte: 8553643 – Altitud: 470 msnm.....	70
Tabla 12: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. Nº 02. Longitud Este: 347938 – Latitud Norte: 8553665 – Altitud: 463 msnm.....	72
Tabla 13: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. Nº 03. Longitud Este: 348113 – Latitud Norte: 8554033 – Altitud: 433 msnm.....	74
Tabla 14: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. Nº 04. Longitud Este: 348205 – Latitud Norte: 8554128 – Altitud: 402 msnm.....	76
Tabla 15: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. Nº 05. Longitud Este: 347975 – Latitud Norte: 8554456 – Altitud: 430 msnm.....	78
Tabla 16: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. Nº 06. Longitud Este: 347938 – Latitud Norte: 8554599 – Altitud: 426 msnm.....	80
Tabla 17: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. Nº 07. Longitud Este: 348192 – Latitud Norte: 8553781 –	

	Pág.
Altitud: 441 msnm.....	82
Tabla 18: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 08. Longitud Este: 348276 – Latitud Norte: 8554622 – Altitud: 425 msnm.....	84
Tabla 19: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 09. Longitud Este: 348508 – Latitud Norte: 8554237 – Altitud: 360 msnm.....	86
Tabla 20: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 10. Longitud Este: 348200 – Latitud Norte: 8554388 – Altitud: 417 msnm.....	88
Tabla 21: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 11. Longitud Este: 328628 – Latitud Norte: 8579203 – Altitud: 268 msnm.....	91
Tabla 22: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 12. Longitud Este: 328371 – Latitud Norte: 8579629 – Altitud: 270 msnm.....	93
Tabla 23: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 13. Longitud Este: 328459 – Latitud Norte: 8578975 – Altitud: 301 msnm.....	95
Tabla 24: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 14. Longitud Este: 328625 – Latitud Norte: 8578162 – Altitud: 272 msnm.....	97
Tabla 25: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 15. Longitud Este: 328681 – Latitud Norte: 8578424 – Altitud: 296 msnm.....	99
Tabla 26: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 16. Longitud Este: 328728 – Latitud Norte: 8578884 – Altitud: 266 msnm.....	101
Tabla 27: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 17. Longitud Este: 328554 – Latitud Norte: 8578639 – Altitud: 280 msnm.....	103
Tabla 28: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 18. Longitud Este: 328299 – Latitud Norte: 8578694 –	

	Pág.
Altitud: 264 msnm.....	105
Tabla 29: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 19. Longitud Este: 328062 – Latitud Norte: 8579504 – Altitud: 298 msnm.....	107
Tabla 30: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 20. Longitud Este: 328395 – Latitud Norte: 8578305 – Altitud: 268 msnm.....	109
Tabla 31: Resumen comparativo entre los dos depósitos aluviales seleccionados como zonas de investigación.....	111
Tabla 32: Resultados de los ensayos al fuego para el análisis de oro – Puerto Belén....	114
Tabla 33: Resultados de los ensayos al fuego para el análisis de oro – Raúl 1.....	116
Tabla 34: Resultados de los análisis de oro por el método Newmont – Puerto Belén. ..	118
Tabla 35: Resultados de los análisis de oro por el método Newmont – Raúl 1.....	119
Tabla 36: Resultados de los análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF) de dos muestras representativas de preconcentrados de los depósitos aluviales.	122
Tabla 37: Resultados de los análisis de Difracción de Rayos X (XRD) de dos muestras representativas de preconcentrados de los depósitos aluviales.	125
Tabla 38: Resultados del método analítico de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) para la muestra representativa Dai-03 Cbz de preconcentrado del depósito aluvial Puerto Belén.	127
Tabla 39: Resultados del método analítico de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) para la muestra representativa Dai-29 Cbz de preconcentrado del depósito aluvial Puerto Belén.	128
Tabla 40: Elementos químicos relevantes, concentraciones registradas mediante el método analítico de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).	128
Tabla 41: Distribución de las partículas de oro nativo expresada en porcentajes (%) de acuerdo al tamaño (μm), según el ensayo por Microscopía óptica de luz reflejada (RLOM).	131
Tabla 42: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Dai-02 Cbz (Bloque I), a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	136

Tabla 43: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Dai-02 Cbz (Bloque II), a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	137
Tabla 44: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Dai-Hg 06 (Bloque I), a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	138
Tabla 45: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Dai-Hg 06 (Bloque II), a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	139
Tabla 46: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Cqi-04 Cbz, a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	141
Tabla 47: Elementos químicos relevantes, registradas mediante el análisis por Microscopía electrónica de barrido (SEM).	142
Tabla 48: Resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para la muestra Dai-01 Cbz, ejecutado en Laboratorio Metasil SAC.....	143
Tabla 49: Resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para la muestra Dai-29 Cbz, ejecutado en Laboratorio Metasil SAC.....	144
Tabla 50: Resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para la muestra Cqi-05 Cbz, ejecutado en Laboratorio Metasil SAC.....	145
Tabla 51: Resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para la muestra Cqi-08 Cbz, ejecutado en Laboratorio Metasil SAC.....	145

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: A) Sección esquemática de un valle fluvial y las relaciones entre los Depósitos de tipo eluvial, coluvial y aluvial; formación de depósitos aluviales que actúan concentrando minerales pesados: B) las curvas de los ríos (meandros); C) la confluencia de dos ríos con diferentes velocidades; D) las zonas accidentadas del lecho del río, y E) las marmitas (potholes) que se forman en lechos rocosos (modificada de Pereira et al., 2005 en Toscano et al., 2012).....	10
Figura 2: Formas de meteorización física o mecánica, i) las temperaturas elevadas generan dilatación en la roca, ii) las temperaturas bajas producen volumen reducido, iii) el agua llena las grietas de una roca y luego se congela, el hielo se expande (10 %) y separa la roca (Griem, 2016).	12
Figura 3: Incremento de la superficie sometida al ataque químico por efecto de la fragmentación producida por la meteorización física. Cuando un cubo se rompe en trozos más pequeños, su volumen no varía, pero su superficie expuesta al intemperismo aumenta (modificada de Plummer et al., 2016).	13
Figura 4: Meteorización química: solución y precipitación de los carbonatos, influenciados por cambios de temperatura, variación de pH. Las reacciones químicas se desarrollan mejor en temperaturas elevadas (Griem, 2016).	14
Figura 5: Esquema de cono de deyección con indicación de los distintos materiales que lo componen (modificada de Plummer et al., 2016).....	14
Figura 6: Calibrado y estrío de las partículas (modificada de Orche, 2001).....	15
Figura 7: Acción combinada de calibrado y estrío de las diferentes partículas de minerales (modificada de Orche, 2001).	16
Figura 8: Diagrama de Hjulström – Sundborg, muestra las relaciones entre el tamaño de la partícula y la tendencia a erosionarse, transportarse o depositarse a diferentes velocidades de corriente (modificada de Earle, 2015).	16

Figura 9: Diferentes grados de libertad de partículas de minerales: cuando una partícula está compuesta por más de un mineral se llama partícula mixta, se observan partículas mixtas con diferentes grados de libertad (Bustamante et al., 2008).....	19
Figura 10: Principales medios sedimentarios sobre la superficie terrestre (modificada de Earle, 2015 en Norton, 2012).	19
Figura 11: Lugares de acumulación y formación de placeres aluviales (modificada de Mupaya, 2020).....	21
Figura 12: Disposición de placeres fósiles o paleoplaceres (placeres mineralizados mesozoicos, paleógenos, neógenos y cuaternarios), formados a partir de un yacimiento primario debido al carácter cíclico de las zonas de placeres (modificada de Lunar & Oyarzun, 1991).	22
Figura 13: Boque diagrama esquemático del trayecto de un curso fluvial meandriforme. Las líneas blancas indican el camino más rápido y de mayor energía de la corriente, asimismo es la zona propensa a erosión y a la migración conforme indican las flechas rojas. El oro se depositará donde la corriente fluvial pierda energía (parte convexa de meandros) y donde existen obstáculos como bloques e islas (modificada de Jones, 2017).	23
Figura 14: Ubicación política de las zonas de investigación: departamento de Madre de Dios, provincia de Manu, distritos de Huepetuhe y Madre de Dios.	27
Figura 15: Ruta de acceso aéreo y terrestre desde la ciudad de Lima hasta la ciudad de Puerto Maldonado (Madre de Dios).....	29
Figura 16: Rutas de acceso desde la ciudad de Puerto Maldonado hacia las áreas de estudio: Puerto Belén (tramo verde) y Raúl 1 (tramo naranja).....	30
Figura 17: Climograma, en el que están representadas las temperaturas y precipitaciones promedio, registradas desde mayo de 2023 hasta abril de 2024, en la Estación de tipo Convencional – Meteorológica, con código 100109 (Dist.: Tambopata, Prov.: Tambopata, Dep.: Madre de Dios).....	31
Figura 18: Procedimientos y técnicas de recopilación de datos.....	33
Figura 19: Perfil de elevación, identificación de las unidades morfoestructurales y distribución espacial de las áreas de estudio.....	40

Figura 20: Clasificación (pendiente – tipo de relieve) y distribución de las unidades morfogenéticas y geoformas antropogénicas.	47
Figura 21: Columna estratigráfica generalizada de los cuadrángulos de Puerto Luz (Raúl 1, 26-U), Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco (Puerto Belén, 27-V), Astillero y Tambopata (modificada de Palacios et al., 1996).	50
Figura 22: Geología regional, las zonas de estudio están dentro de los cuadrángulos de Puerto Luz: 26-U (Raúl 1) y Masuco: 27-V (Puerto Belén).	51
Figura 23: Principales zonas de aporte de mineral (Cordillera Oriental), conducto de alimentación (flechas y líneas rosa) y distribución (Llanura Amazónica). La dirección de alimentación es influenciada por la orientación de los ríos tributarios.	53
Figura 24: Relación entre la granulometría de los sedimentos y partículas de oro en la Llanura Amazónica, respecto a la distancia de transporte.	54
Figura 25: Unidades litoestratigráficas locales.	55
Figura 26: Los principales afluentes del río Madre de Dios son el Colorado, Inambari, Tambopata, Los Amigos y Las Piedras.	59
Figura 27: Proceso para la separación y concentración de minerales: A) Preparación del banco (desbroce de la cobertura vegetal, arranque de la sobrecarga y arranque del material aurífero), B) Carguío, C) Acarreo, D) Descarga de material en el chute, E) Lavado con agua a presión en la tolva del chute y clasificación granulométrica en la zaranda, F) Clasificación por densidades en las alfombras millonarias, G) Recuperación de preconcentrados mediante el sacudido de las alfombras, H) Preconcentrado final.	112
Figura 28: Método de muestreo utilizado: A) Preparación del preconcentrado, B) Secado del preconcentrado, C) Ventilación del preconcentrado, D) Homogenización a través del roleo, E) Toma de muestra utilizando Cuarteador tipo Jones o Cruceta, F) Muestra representativa rotulada y embalada.	113

Figura 29: Diagrama de flujo de la separación y concentración de minerales, aplicado en cada una de las zonas de investigación hasta obtener las muestras representativas de preconcentrados para los respectivos análisis y ensayos.....	113
Figura 30: Registro de las leyes de oro reportadas para cada una de las muestras analizadas, correspondientes a preconcentrados del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio CITE.....	115
Figura 31: Registro de las leyes de oro reportadas para cada una de las muestras analizadas, correspondientes a preconcentrados del depósito aluvial aurífero Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio CJV SAC.....	116
Figura 32: Diagrama de barras horizontales que muestra las leyes promedio de oro en g/t en cada uno de los depósitos aluviales auríferos.	117
Figura 33: Diagramas de sectores, indican la distribución de partículas de oro finas (-M150) y gruesas (+M150) expresadas en leyes (g/t) correspondientes a los preconcentrados del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio CITE.	118
Figura 34: Diagramas de sectores, indican la predominancia de partículas de oro gruesas (+M150) expresadas en leyes (g/t) correspondientes a los preconcentrados del depósito aluvial aurífero Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio Beltcor, CJV SAC.	119
Figura 35: Diagramas de sectores, exponen los resultados de los análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF) de las muestras Dai-02 Cbz y Dai-Hg 06, del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.....	121
Figura 36: Diagrama de sectores, expone los resultados del análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF) de la muestra Cqi-04 Cbz, del depósito aluvial aurífero Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.....	121
Figura 37: Diagrama de barras horizontales, muestra la composición elemental expresada en compuestos químicos, mediante análisis de XRF, correspondientes a muestras de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.....	123

- Figura 38:** Diagramas de sectores, exponen los resultados de los análisis de Difracción de Rayos X (XRD) de las muestras Dai-02 Cbz, Dai-Hg 06 y Dai-29 Cbz, del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC..... 124
- Figura 39:** Diagrama de sectores, expone los resultados del análisis de Difracción de Rayos X (XRD) de la muestra Cqi-04 Cbz, del depósito aluvial aurífero Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC..... 125
- Figura 40:** Diagrama de barras horizontales, con el análisis mineralógico por XRD se realizó la determinación de las fases cristalinas presentes en las muestras, muestras representativas de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC..... 126
- Figura 41:** Diagramas de sectores, revelan los resultados del método analítico de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) de las muestras Dai-03 Cbz, 3 y Dai-29 Cbz, del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio ALS Global..... 127
- Figura 42:** Fotomicrografías (A, B y C) registradas en el ensayo por Microscopía óptica de luz reflejada (RLOM), correspondientes a la muestra Dai-02 Cbz (Puerto Belén), donde se identificaron partículas de oro nativo libre (Au), presencia de magnetita (mt), ilmenita (il), hematita (hm), goetita (goe), casiterita (cst) y gangas (GGs). 130
- Figura 43:** Fotomicrografías (D, E y F) registradas en el ensayo por Microscopía óptica de luz reflejada (RLOM), correspondientes a la muestra Cqi-04 Cbz (Raúl 1), donde se identificaron partículas de oro nativo libre (Au), presencia de ilmenita (il), hematita (hm), magnetita (mt) y gangas (GGs). D y E) Se identificó intercrecimiento lateral de ilmenita con hematita..... 131
- Figura 44:** Diagrama de barras horizontales, representa la concentración en porcentajes (%) aproximados de los principales óxidos de hierro que se encuentran distribuidos en cada uno de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1..... 132

- Figura 45:** Imagen, composición y espectro de oro nativo registrados a través de Microscopia electrónica de barrido (SEM), para la muestra Dai-02 Cbz; A) 100 % contenido de Au, B) 93.84 % de Au y 6,16 de Ag.... 134
- Figura 46:** Imagen, composición y espectro de oro nativo registrados a través de Microscopia electrónica de barrido (SEM), para la muestra Dai-Hg 06; C) 95.12 % de Au y 4.88 % de Ag, D) 96.23 % de Au y 3.77 % de Ag. 135
- Figura 47:** Imagen, composición y espectro de oro nativo registrados a través de Microscopia electrónica de barrido (SEM), para la muestra Cqi-04 Cbz; A) 100 % de Au, B) 98.5 % de Au y 1.5 % de Ag. 140
- Figura 48:** Diagrama de barras horizontales que representa los resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para las muestras representativas de los depósitos aluviales auríferos estudiados.
– Datos reportados por Laboratorio CJV SAC (g/t Au). 146
- Figura 49:** Diagrama de barras horizontales que representa la distribución granulométrica de arenas negras expresada en porcentajes para las muestras representativas de los depósitos aluviales auríferos estudiados. 147

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1: Altos niveles de precipitación pluvial en la Llanura Amazónica de Madre de Dios (Raúl 1, diciembre de 2023), las fuertes y constantes lluvias saturan los bancos de explotación, dificultando las actividades en la minería aluvial.	32
Fotografía 2: Vegetación predominante en las zonas de estudio: A) Bosque de pie de monte en la Faja Subandina (Puerto Belén), se observa mayormente árboles de cetico (<i>Cecropia sp.</i>), y B) Bosque de aguajales en el Llano Amazónico (Raúl 1).....	32
Fotografía 3: Vista del flanco este de la Cordillera Oriental (Cordillera de Carabaya) y de la Faja Subandina, fotografía tomada desde Raúl 1, dentro de la Llanura Amazónica de Madre de Dios.	41
Fotografía 4: Vista panorámica de la Llanura Amazónica de Madre de Dios, observada desde la Cordillera Oriental, donde se identificación los depósitos aluviales auríferos analizados en el presente estudio.	42
Fotografía 5: Planicie ubicada en Raúl 1, su génesis se asocia a ambientes de baja energía, se observa una superficie amplia y casi horizontal, cubierta por abundantes árboles y arbustos.	43
Fotografía 6: Lomadas ubicadas al margen izquierdo del río Inambari (aguas abajo), cercanas a Puerto Belén, cuyas pendientes varían entre 8° y 20°.	44
Fotografía 7: Taludes considerablemente inclinados, están propensos a la erosión, sobre todo aquellos que no tienen cobertura vegetal.	45
Fotografía 8: Se observa la pendiente abrupta que supera los 50° de inclinación, ubicado al margen izquierdo del río Inambari (aguas abajo).	45
Fotografía 9: En esta fotografía se identifican plataformas horizontales (a), montículos estériles (b) y embalses (c), áreas que han sido modificadas por la actividad minera y ahora forman parte de las geoformas antropogénicas.	46
Fotografía 10: Formación Ipururo, intercalaciones de arcillolitas calcáreas, areniscas limosas y limonitas grises a rojizas, ubicada al suroeste de Puerto Belén, localidad de Quimiri.....	56

- Fotografía 11:** La Formación Madre de Dios (miembro inferior), compuesta por gravas y una matriz arenosa con limos y arcillas, con manchas rojizas por la oxidación (principalmente hematita y goetita), banco de aproximadamente 7 metros de altura, ubicado al margen izquierdo del río Puquiri (aguas abajo)..... 57
- Fotografía 12:** Depósito aluvial formado por gravas mal seleccionadas en matriz de arenas, limos y arcillas, banco de aproximadamente 5 metros de altura, ubicado al margen izquierdo del río Inambari (aguas abajo). 58
- Fotografía 13:** Capa superior de sobrecarga o material estéril, compuesto por limos y arcillas, espesor aproximado de 2.5 metros, en contacto directo con una unidad sedimentaria gravo-arenosa subyacente. El perfil litoestratigráfico corresponde a un banco ubicado al margen derecho del río Colorado (aguas abajo)..... 62
- Fotografía 14:** Distribución de gravas polimícticas subredondeadas a redondeadas, moderadamente seleccionadas y semiconsolidadas, con páginas de óxidos en sus superficies, dentro de una matriz compuesta por arenas y arcillas, observada en un perfil litoestratigráfico en Raúl 1. 63
- Fotografía 15:** Distribución de partículas de arenas que rodean a las gravas polimícticas altamente alteradas, siendo la arena el componente dominante de la matriz (matriz arenosa), observada en el corte litoestratigráfico correspondiente a Puerto Belén..... 64
- Fotografía 16:** Registro del proceso de monitoreo de sedimentos limosos acumulados en las pozas de sedimentación (Raúl 1), debido a su baja densidad y tamaño de partícula fina, estos materiales son fácilmente transportados por el agua en forma de sólidos suspendidos, siendo finalmente depositados por decantación en la superficie. 65
- Fotografía 17:** Corte litoestratigráfico con predominio de gravas polimícticas y matriz arenosa, destaca un horizonte arcilloso compacto y continuo, de color marrón a beige, que contrasta con los sedimentos gruesos y sugiere un cambio en el ambiente depositacional. 66
- Fotografía 18:** Las arenas negras compuestas principalmente por minerales pesados como magnetita, ilmenita y otros minerales opacos, pueden ser concentrados mediante técnicas de separación gravimétrica,

- obteniéndose un preconcentrado. A) Preconcentrado húmedo de elevada ley (más del 10 % corresponde a oro), se observan las partículas de oro (color amarillo). B) Arenas negras después de eliminar el porcentaje de humedad (secado), listas para muestreo. C) Identificación de minerales en un preconcentrado, resaltan las charpas o partículas de oro, además de minerales opacos (magnetita, ilmenita) y óxido de silicio..... 67
- Fotografía 19:** Afloramiento rocoso cercano a las zonas de investigación, ubicado al sureste de Raúl 1, en la Quebrada Barranco Chico. La Formación Ipururo (constituida por estratos de areniscas limosas grises, areniscas cuarzosas arcillosas con intercalaciones de limonitas grises), como basamento rocoso, en contacto con los depósitos aluviales antiguos compuestos por gravas y conglomerados semiconsolidados. 68
- Fotografía 20:** A) Perfil litoestratigráfico del frente de explotación, donde se reconocen dos horizontes principales de sedimentación, superior e inferior, diferenciados por características litológicas observables en el corte, B) Fragmento de andesita con vetillas orientadas de forma irregular, indicativas de procesos hidrotermales posteriores a la consolidación de la roca huésped, C) Fragmento de canto de arenisca de grano medio con superficie débilmente alterada. 69
- Fotografía 21:** A) Sección del frente de explotación, donde se reconocen dos niveles de depositación, superior e inferior, diferenciados por sus características litológicas y disposición estructural, B) Gravas altamente alteradas en una matriz de textura arenosa, se observa alta concentración óxidos de manganeso (pirolusita) y óxidos de hierro (goetita), lo que sugiere condiciones de oxidación avanzadas asociadas a procesos de meteorización química o diagénesis tardía, C) Fragmento clástico de arenisca de granulometría fina, que presenta alto grado de alteración mineralógica, posiblemente asociado a procesos avanzados de meteorización química. 71
- Fotografía 22:** A) Gravas fuertemente compactadas y desordenadas en matriz arenosa, presentando señales de oxidación en clastos y arenas,

- B) Gravas moderadamente seleccionados en matriz arenosa consolidada, abundantes óxidos de manganeso (pirolusita) y óxidos de hierro (goetita, hematita), C) Cantos y guijarros de andesita, dacita, arenisca y cuarcita, fuertemente alterados, en matriz arenosa bien consolidada..... 73
- Fotografía 23:** A) Frente de explotación, dividida en dos niveles de deposición diferenciados por la disposición de los clastos, lo que sugiere variaciones en los procesos de depositación y transporte, B) Gravas mal seleccionados fuertemente alteradas en matriz limo-arcillosa, presencia de óxidos de manganeso (pirolusita), C) Bloque de arenisca de grano fino moderadamente alterada..... 75
- Fotografía 24:** A) Sección del frente de explotación con altura aproximada de 5 metros (superior e inferior), constituida por gravas de moderadamente a bien seleccionadas, dispuestas de manera aleatoria y fuertemente compactadas dentro de una matriz de arenas, lo cual sugiere un ambiente de depositación con energía variable, B) Gravas moderadamente seleccionados y fuertemente alteradas en matriz arenosa, C) Canto de roca ígnea intrusiva (sienita) fuertemente alterada. 77
- Fotografía 25:** A) Corte de explotación de aproximadamente 4 metros de altura, con gravas moderadamente seleccionadas, matriz con limos y arcillas, en los niveles más profundos la matriz cambia gradualmente a textura arenosa, todo el perfil presenta coloración rojiza, indicativa de condiciones de oxidación avanzada asociada a procesos de meteorización química, B) Cantos y guijarros moderadamente seleccionados fuertemente alterados en matriz arenosa oxidada, C) Fragmento moderadamente alterado de un bloque de arenisca..... 79
- Fotografía 26:** A) Sección del frente de explotación en la que la distribución y clasificación de las gravas es mal seleccionada, gravas moderadamente alteradas en una matriz arcillo – limosa consolidada, este perfil sugiere un proceso de depositación en condiciones de baja energía y una posterior alteración mineral debido a factores de meteorización, B) Fragmento de una roca ígnea plutónica (gabro),

	Pág.
moderadamente alterada, C) Fragmento moderadamente alterado de una andesita con vetillas de óxidos de silicio (Qz).....	81
Fotografía 27: A) Perfil del frente de explotación donde la distribución y clasificación de las gravas es mal seleccionada, lo que sugiere variabilidad en las condiciones de transporte y depositación de los materiales, B) Roca sedimentaria (arenisca), con superficie fuertemente alterada, que alberga principalmente óxidos (pirolusita, goetita), C) Fragmento moderadamente alterado de una arenisca de grano medio	83
Fotografía 28: A) Perfil del frente de explotación, la distribución y clasificación de las gravas es moderadamente seleccionada, lo que indica una selección parcial durante el proceso de depositación, B) Cantos y guijarros en matriz arenosa, rodeados por óxidos, C) Fragmento de un bloque moderadamente alterado de una arenisca de grano medio	85
Fotografía 29: A) Perfil de un frente de explotación, compuesto por gravas con una clasificación mal seleccionada y distribución irregular, lo que sugiere condiciones de transporte y depositación poco uniformes, típicas de ambientes de energía variable, B) Fragmento de un canto de cuarcita con óxidos en las fracturas e intensidad de alteración débil, C) Canto de andesita porfirítica fuertemente alterada, rodeada por una matriz limo-arcillosa.....	87
Fotografía 30: A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, con evidencias puntuales de estratificación flaser, lo cual sugiere condiciones de sedimentación intermitente bajo un régimen de flujo variable, B) Estratificación cruzada lenticular, indicativa de condiciones de flujo variable durante la depositación o superficie de sedimentación es curva, C) Canto de una cuarcita, con superficie débilmente alterada.....	90
Fotografía 31: A) Sección del frente de explotación, la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, horizontes de arcillas bien definidos, lo que indica una estratificación diferenciada y posibles	

variaciones en las condiciones de deposición asociados a eventos sedimentarios sucesivos en un ambiente de baja a moderada energía,	
B) Guijarros de diferente composición en matriz arenosa,	
C) Fragmento de un bloque de andesita moderadamente alterada.	92
Fotografía 32: A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, horizontes con estratificación cruzada lenticular, lo que sugiere procesos de sedimentación influenciados por corrientes de flujo variable, donde se alternan fases de transporte y decantación, B) Guijarros de diferente composición rodeados por óxidos, en matriz arenosa,	
C) Fragmento de un canto de granito fuertemente alterado.	94
Fotografía 33: A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, lo que indica una adecuada selección de los clastos durante el proceso de deposición, indicador de que es un ambiente de flujo moderado, B) Guijarros de diferente composición rodeados por óxidos, en matriz arenosa,	
C) Fragmento de un guijarro de anfíbolita moderadamente alterada.	96
Fotografía 34: A) Sección del frente de explotación, la distribución y clasificación de las gravas es moderadamente seleccionada, abundantes óxidos de hierro, lo que indica un proceso de meteorización avanzada, y niveles de arcillas bien definidos, sugiere variaciones en las condiciones de deposición, como fluctuaciones en la energía del ambiente sedimentario, B) Lentes de óxido de manganeso, niveles bien definidos de arcillas y óxidos de hierro rodeando a las gravas,	
C) Fragmento de un canto de andesita moderadamente alterada, presencia de una pátina de sulfuro de hierro.	98
Fotografía 35: A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, hay niveles de arcillas bien definidos, lo que sugiere una estratificación diferenciada y una variabilidad en las condiciones de deposición,	
B) Cantos y guijarros de diferente composición en matriz arcillo - limosa, C) Fragmento de un bloque de cuarcita con la superficie moderadamente alterada.	100

- Fotografía 36:** A) Perfil del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, niveles de arcillas mayor a 35 cm, lo que indica una estratificación marcada y una variabilidad en las condiciones de deposición, B) Cantos y guijarros de diferente composición en matriz arenosa, C) Cantos de rocas ígneas intrusivas fuertemente alteradas en matriz arenosa. 102
- Fotografía 37:** A) Perfil del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada y niveles bien definidos de arcillas, lo que indica una diferenciación en las condiciones de deposición a lo largo del proceso de deposición, B) Cantos y guijarros de diferente composición rodeados por pátinas de óxidos, C) Gravas en matriz arenosa, presencia de pátinas de óxidos de hierro. 104
- Fotografía 38:** A) Corte de explotación con más de 10 metros de profundidad e inclinación de talud de 30°, niveles superiores con predominancia de arcillas, B) Cantos y guijarros de diferente composición rodeados por abundantes pátinas de óxidos, horizontes de arcillas mayores a los 10 cm, C) Fragmento de un canto de roca metamórfica corneana o horfels moderadamente alterada, con vetillas de óxido de silicio y láminas de clorita. 106
- Fotografía 39:** A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, lo que sugiere un proceso de deposición eficiente bajo condiciones de flujo estable, B) Guijarros de diferente composición y horizontes de arcillas hasta de 2.5 cm, C) Guijarros de diferentes orígenes y composiciones, presencia de óxidos en los alrededores. 108
- Fotografía 40:** Partículas de oro nativo libre extraídas del depósito aluvial Puerto Belén, A) Oro fino, que granulométricamente está por debajo de malla 150 (< 106 µm), B) Partículas de oro grueso (>106 µm) vistas a través del lente de una lupa de aumento de 20x. 118
- Fotografía 41:** Partículas de oro nativo libre extraídas del depósito aluvial Raúl 1, A) Las partículas de oro finas tan solo alcanzan el 6 % en concentración, B) Partículas de oro homogéneas en forma y en

Pág.

tamaño ($> 106 \mu\text{m}$), vistas a través del lente de una lupa de aumento de 20x, al aplicar temperatura (entre 300° y 500°C), las partículas de oro tienden a unirse entre ellas (sinterización). 120

LISTA DE ABREVIATURAS

INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
ASTM	: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales.
MAPE	: Minería Artesanal y de Pequeña Escala.
AUFFAA	: Análisis de oro por ensayo al fuego.
USCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
XRF	: Fluorescencia de Rayos X.
XRD	: Difracción de Rayos X.
ICP-MS	: Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente.
RLOM	: Microscopía Óptica de Luz Reflejada.
SEM	: Microscopía Electrónica de Barrido.
GSAv	: Análisis Granulométrico Valorado.
UTM	: Universal Transversal de Mercator.
WGS-84	: Sistema Geodésico Mundial 1984.
SE	: Sureste.
NE	: Noreste.
NW	: Noroeste.
SW	: Suroeste.
COB	: Cobertura Vegetal.
MMC	: Millones de metros cúbicos.
Est. L.	: Estación Litoestratigráfica.
REEs	: Tierras raras.

RESUMEN

Los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1, ubicados en el corredor minero de Madre de Dios, están constituidos por fragmentos líticos y minerales procedentes de la Cordillera Oriental Andina, producto de la erosión, transporte y depositación. La estructura vertical generalizada comprende una sobrecarga seguida por niveles de gravas (bloques, cantes y guijarros) en matriz compuesta por arenas, limos y arcillas, además de otros minerales. El objetivo principal fue realizar la caracterización geológica de los depósitos aluviales, ejecutándose a través del registro de estaciones litoestratigráficas, incluyendo descripciones macroscópicas de clastos, descripciones de matrices, identificación de minerales, complementando con análisis geoquímicos (Fire Assays, Newmont, XRF, XRD, ICP-MS), microscopía (RLOM y SEM), granulometría y gravimetría. Obteniendo como resultados, similitudes y diferencias entre los depósitos, composición y clasificación de las gravas, estimación porcentual de gravas y minerales, elaboración de columnas litoestratigráficas, análisis semicuantitativo y determinación de la abundancia relativa de minerales, incluyendo la caracterización de minerales económicos (Au). Concluyendo que, Puerto Belén se formó con energía elevada en un tiempo de depositación corto, son gravas limo-arcillosas arenosas, predominan los óxidos de hierro, el oro es grueso, pero las partículas no son homogéneas; Raúl 1 se formó con baja energía en un tiempo de depositación largo, son gravas arenosas arcillo-limosas, predomina el óxido de silicio, el oro es grueso, pero existe homogeneidad en la granulometría, en ambos depósitos el oro es de alta pureza (Au nativo). Además, fue posible identificar minerales portadores o compuestos por tierras raras y elementos químicamente radiactivos como trazas.

Palabras Clave: Depósitos aluviales, Madre de Dios, minería artesanal, litoestratigrafía, preconcentrados, gravas, oro, geoquímica.

ABSTRACT

The Puerto Belen and Raul 1 gold-bearing alluvial deposits, situated within the Madre de Dios mining corridor, are composed of lithic fragments and minerals originating from the Eastern Andean Mountain Range, a consequence of erosion, transport, and deposition processes. The generalized vertical structure comprises an overburden followed by gravel levels (boulder, pebbles and cobbles) in a matrix composed of sands, silts and clays, in addition to other minerals. The primary objective of the study was to conduct a comprehensive geological characterization of the alluvial deposits, this was achieved by establishing lithostratigraphic stations and conducting a thorough macroscopic examination of clasts and matrix, the mineral composition was subsequently identified through rigorous analytical techniques, including geochemical analysis (Fire Assays, Newmont, XRF, XRD, ICP-MS), microscopic analysis (RLOM and SEM), granulometric analysis, and gravimetric measurement. The results obtained are, a comparison of the deposits, composition and classification of gravels, an estimation of the percentage of gravels and minerals, an elaboration of lithostratigraphic columns, a semi-quantitative analysis, a determination of the relative abundance of minerals, including the characterization of economic minerals (Au). It is evident that the formation of Puerto Belen occurred with high energy and a brief deposition time, the gravels in this deposit are characterized by a predominance of sandy silt-clayey composition, with iron oxides being the primary constituents, the gold present in these gravels exhibits a coarse grain size, though the particles lack homogeneity. In contrast, Raul 1 was formed with low energy over an extended deposition time, the gravels in this deposit are dominated by Sandy silt-clayey composition, with silicon oxide being the predominant oxide, the gold present in these gravels is coarse in size, but exhibits homogeneity in its granulometry; notably, both deposits contain gold that is of high purity (Native Au). Furthermore, the analysis enabled the identification of minerals containing or composed of rare earths and chemically radioactive elements as trace elements.

Keywords: Alluvial deposits, Madre de Dios, artisanal mining, lithostratigraphy, preconcentrates, gravels, gold, geochemistry.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1, están ubicados dentro del Corredor Minero de Madre de Dios, recibe ese nombre en referencia a la ubicación de las concesiones mineras; estos depósitos albergan materiales originarios de formaciones geológicas que comprenden desde la era Paleozoica Inferior (Complejo Iscaybamba) hasta la era Cenozoica, sistema Cuaternario; por lo que los depósitos aluviales son producto de la erosión de la Cordillera Oriental y los procesos de sedimentación controlados por la deformación tectónica del Mioceno – Pleistoceno de los Andes (Palacios et al., 1996). La formación de los depósitos aluviales depende directamente de la erosión, energía de transporte (distancia) y características de depositación que sufrieron las rocas y minerales libres, por lo que se caracterizaron los horizontes de sedimentación y se hizo énfasis en el mineral del oro. Éstos depósitos aluviales son explotados por mineros que pertenecen a la MAPE (Minería Artesanal y de Pequeña Escala) de manera artesanal y semi mecanizada, sin tener en su mayoría estudios de caracterización del mineral, además de planes de minado necesarios en la exploración y explotación de estos yacimientos de oro. La caracterización geológica de los depósitos aluviales auríferos, se desarrolló a través del registro de estaciones litoestratigráficas (geología local), la caracterización mineralógica con énfasis en oro, gracias a la geoquímica (análisis de oro por ensayo al fuego, análisis de oro por método Newmont, XRF, XRD, ICP-MS), microscopía (RLOM y SEM), granulometría y gravimetría.

La síntesis de la problemática se expresa formulando la siguiente incógnita, ¿Cuáles son las características geológicas de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1, en el corredor minero de Madre de Dios?, teniendo como respuesta la hipótesis siguiente, que los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1, en el corredor minero de Madre de Dios, son acumulaciones de materiales (gravas, arenas, limos y arcillas) y de minerales de interés económico, producto de la erosión de la Cordillera Oriental, diferenciados por las proximidades hacia la fuente primaria de mineralización, estilo de depositación (diferentes eventos); mientras que en Puerto Belén, la depositación es desordenada y mal seleccionada,

las arenas negras están enriquecidas con óxidos de hierro y titanio (magnetita e ilmenita), aproximadamente el 50 % de las partículas de oro son de elevada granulometría ($> 106 \mu\text{m}$), por otro lado en Raúl 1, se observan horizontes bien definidos con gravas, arenas y arcillas, arenas negras con abundante concentración de óxidos de silicio (cuarzo), ilmenita y más del 90 % de las partículas de oro son de similar granulometría ($> 106 \mu\text{m}$).

La presente investigación promueve un mejor entendimiento de la geología local y de las características mineralógicas de los depósitos aluviales explotables en la región de Madre de Dios, brindará mayor información y contribuirá a entender las características fisicoquímicas del oro y minerales asociados a los preconcentrados, lo cual permitirá al minero evaluar los métodos más adecuados y eficientes para la recuperación del oro libre. Además, la investigación representa un aporte académico para posteriores estudios o proyectos relacionados con las ciencias geológicas y minería, a través del logro del objetivo general: Realizar la caracterización geológica de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1, en el corredor minero de Madre de Dios; cumpliendo con los objetivos específicos: Realizar el cartografiado geológico a través del levantamiento de columnas litoestratigráficas, elaborar columnas litoestratigráficas generalizadas para cada depósito aluvial aurífero y caracterizar los preconcentrados mediante análisis geoquímicos, microscópicos, granulométricos y gravimétricos.

La estructura de la tesis se desarrolla en cinco capítulos; el **Capítulo I**, Introducción, se presenta el contexto del problema a resolver conjuntamente con la hipótesis, justificación y objetivos; el **Capítulo II**, Marco Teórico, integrado por antecedentes locales, nacionales e internacionales, bases teóricas que fundamenta la investigación y generan la problemática y finalmente la definición de términos básicos; el **Capítulo III**, Materiales y métodos, muestra la ubicación de las zonas de investigación, procedimientos, metodología, técnicas de recolección de datos, análisis de datos y presentación de resultados, contexto geológico; el **Capítulo IV**, Análisis y discusión de resultados, incluye la caracterización geológica local, caracterización mineralógica y contrastación de la hipótesis; el **Capítulo V**, Conclusiones y recomendaciones, se verifican las conclusiones respecto a los objetivos planteados, representando la síntesis de los resultados obtenidos, además de proponer los ítems que se originaron durante el proceso de ejecución de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Cuenca et al., (2022), Prospección de placeres aluviales en el Río Upano ubicado en la parroquia Alshi 9 de octubre, cantón Morona, provincia de Morona Santiago. Describe la geología (formaciones antiguas y depósitos recientes del Cenozoico), presencia de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias, como bloques, cantes, conglomerados, gravas y arenas. La granulometría del oro va desde 0.5 a 2 mm., establece parámetros geoquímicos y determina valores de anomalías, lo que permite delimitar dos zonas de mayor enriquecimiento aurífero (26.9 y 27.345 ppm).

Eloung et al., (2020), Sedimentological characterization of alluvial gold deposits of Betrare-Oya and its surroundings (Cameroon Eastern Region). Identificaron óxidos y sulfuros (33 %), hornblenda (16 %), zircón (12 %), biotita y sillimanita, ambos con 9 %, turmalina (8 %), moscovita (6 %). El 80 % de las partículas de oro están distribuidas entre 0.2 y 0.05 mm; estos análisis permitieron identificar el origen, condiciones de formación, naturaleza y distribución de zonas mineralizadas auríferas.

Tupiza (2019), Tecnologías limpias para el aprovechamiento de depósitos detríticos (oro aluvial) ubicados en la Provincia del Napo. Determina que la sobrecarga varía de 0.25 a 2 m, la grava aurífera: 80 % de cantes rodados y un 20 % de matriz arcillo-arenosa; el oro presenta formas irregulares, con granulometría de 0.5 a 2 mm, predomina de 1 a 2 mm (75 %), la pureza es de 88 % (21k), el 12 % de plata, y la ley varía entre 0.15 a 1.57 g/t Au.

Valdivia (2019), Evaluación geológica – económica del yacimiento aurífero aluvial Okara, cantón Ancona, distrito de Sorata, provincia de Larecaja, departamento de La Paz, (Bolivia). Describe el depósito, paquete de gravas auríferas de 10 a 15 m de espesor, con ley promedio

de 0.46 g/t Au, rellenos aluviales de gravas auríferas de 5 a 10 m de espesor, que actúa como bedrock, con ley promedio de 3.08 g/t Au.

2.1.2. Nacionales

Alvarado (2019), Exploración geológica de un yacimiento de placer de oro en la cuenca baja del río Marañón. Concluye que el yacimiento es el resultado de la dispersión geoquímica secundaria y tiene como fuente primaria distritos auríferos de las Cordilleras del Condor y Huancabamba. La mineralización (> 60 %) está en horizontes que presenta clastos ígneos (volcánicas, porfídicas y cuarzo). Granulométricamente, el oro se distribuye entre 0.01 – 0.03 mg y en excepciones hasta 4 mg. Las arenas negras representan el 5 a 10 % en volumen del material aluvial, y tienen como subproducto hierro y tierras raras.

Lobe (2018), Concentración de magnetita y oro libre, en los suelos aluviales de Inguro (Bellavista, Jaén, Cajamarca) por el método gravimétrico, como una alternativa ambiental. Evaluó la concentración de oro libre y magnetita en las arenas aluviales, el oro es laminado, 70 % son finos (debido a la distancia larga de transporte). El depósito presenta una gradación en el tamaño de clastos y sobre el basamento de areniscas, se comporta como un depósito aluvial, hubo varias secuencias de depositación, las leyes de oro (g/t Au) y magnetita varían.

2.1.3. Locales

Ledesma (2021), Caracterización de oro y minerales de tierras raras en depósitos fluviales tipo placer del río Madre de Dios. Concluye que los minerales encontrados en los placeres auríferos tienen relación con las rocas por donde discurren los ríos provenientes de la Cordillera Oriental; detectó leyes de tierras raras (monacita), destacando que los minerales estudiados presentan alto grado de liberación a granulometrías menores a 100 µm (~M140).

Loaiza & Calderón (2021), Actividad minera artesanal en la región Madre de Dios. Clasifican en bloques las operaciones mineras, de acuerdo a su ubicación (Llanura amazónica y zona subandina), resaltando que las partículas de oro se encuentran en forma diseminada, charpas y como granos finos o láminas, además de estar acompañadas por minerales de tierras raras y estratégicos como ilmenita, monacita, zircón, entre otros.

Alcantara et al., (2016), Auriferous placer sampling and dimensioning – Caychive river area. Comprueban que los placeres auríferos fueron formados en el cenozoico, los cuales son pequeños y de bajas leyes, pero su explotación es posible porque los materiales están sueltos. El oro nativo se encuentra acompañado por otros minerales densos como platino, monacita, zircón, magnetita. Además, realizan la modelación (Leapfrog) del yacimiento aurífero tipo placer en la zona del río Caychive.

Pérez et al., (2003), Reconocimiento de las actividades mineras y metalúrgicas en la cuenca de los ríos Madre de Dios e Inambari. Determinan que la principal composición mineralógica en los ríos cercanos a las actividades mineras son óxidos con alto contenido de hierro, como la magnetita, ilmenita, hematita y limonita, y con los ensayos de malla valorada especifican que la mayor concentración de oro está sobre la malla 100 (0.149 mm).

2.2. BASES TEÓRICAS

Se definen los conceptos teóricos para el correcto análisis de los resultados:

2.2.1. Depósitos Minerales

Como introducción al tema principal que se está abordando, se opta por mencionar que los depósitos minerales se clasifican de acuerdo a la naturaleza del proceso generador (origen).

Tabla 1: Clasificación genética simplificada de los depósitos minerales.

Tipo	Naturaleza del proceso	Depósito
		Origen Ígneo
Segregación Magmática	Cristalización fraccionada durante la diferenciación magmática.	Depósitos de Ni, Cr, Pt, Fe-Ti, Sn, etc.
	Diferenciación en el líquido.	Depósitos de Ni-Cu
Formaciones pegmatíticas y neumatolíticas	Cristalización a partir de la fracción residual de un magma	Pegmatitas con U, Sn-W, Li-Sn-Cs. Skarns de Fe, W, Cu, Pb-Zn, Sn-W.
Origen Agua Caliente		
Formaciones Hidrotermales	Soluciones acuosas que pueden tener origen magmático, metamórfico, superficial u otro.	Filones, diseminaciones, stockworks, depósitos estratoconfinados y volcanogénicos con Sn, W, Cu, Pb, Zn, Ag, Au, Ni, Co, Bi, Mo, Fe, etc.
Origen Sedimentario		
Concentraciones mecánicas	Concentración de minerales pesados resistentes.	Arenas con Ti-Zr. Placeres de Au y Sn.
	Acumulaciones de restos de materia vegetal o animal.	Yacimientos de carbón, petróleo, y fosfatos y nitratos orgánicos.
Precipitados químicos o bioquímicos	Precipitación de minerales con o sin participación de organismos vivos.	Evaporitas. Depósitos de Fe bandeado.
Concentraciones residuales	Lixiviación de elementos solubles concentrándose los insolubles remanentes.	Lateritas níquelíferas. Bauxitas.
Enriquecimientos supergénicos	Lixiviación de elementos valiosos de la parte superior del depósito y precipitación posterior en profundidad aumentando la concentración de esa zona.	Parte superior de algunos pórfidos cupríferos y de yacimientos de Fe y Mn.
Origen Metamórfico		
Formaciones metamórficas	Concentración o transformación de minerales por metamorfismo.	Pizarras, mármol, minerales industriales.

Fuente: Adaptada de Orche, (2001).

Los minerales metálicos y/o económicamente explotables son distribuidos teniendo en cuenta diferentes contextos geológicos:

Tabla 2: Aparición de minerales metálicos.

Metal	Menás principales	Contexto geológico
Aluminio	Bauxita	Producto residual de la meteorización.
Cobre	Calcopirita	Yacimientos hidrotermales; metamorfismo de contacto; enriquecimiento por procesos de meteorización.
	Bornita	
	Calcosina	
Cromo	Cromita	Segregación magmática.
Estaño	Casiterita	Yacimientos hidrotermales; depósitos de placeres.
Hierro	Hematites, Magnetita	Formaciones bandeadas sedimentarias; segregación magmática.
	Limonita	
Magnesio	Magnesita, Dolomita	Yacimientos hidrotermales.
Manganoso	Pirolusita	Producto residual de meteorización.
Mercurio	Cinabrio	Yacimientos hidrotermales.
Molibdeno	Molibdenita	Yacimientos hidrotermales.
Níquel	Pentlandita	Segregación magmática.
Oro	Oro nativo	Yacimientos hidrotermales; depósitos placeres.
Plata	Plata nativa	Yacimientos hidrotermales; enriquecimiento por procesos de meteorización.
	Argentita	
Platino	Platino nativo	Segregación magmática; depósitos de placeres.
Plomo	Galena	Yacimientos hidrotermales.
Titanio	Ilmenita	Segregación magmática; depósitos de placeres.
Uranio	Uranita (Petchblenda)	Pegmatitas; depósitos sedimentarios.
Wolframio	Wolframita	Pegmatitas; yacimientos de metamorfismo de contacto; depósitos de placeres.
	Scheelita	
Zinc	Esfalerita	Yacimientos hidrotermales.

Fuente: Tarbuck et al., (2005).

2.2.2. Tipos de Yacimientos de Oro en el Perú

Los tipos de yacimientos auríferos más representativos en nuestro país, de acuerdo con Henley, (1975), son:

- **Vetas de cuarzo:** Es el tipo de yacimiento más común, son depósitos que contienen oro en su forma nativa junto con otros metales menos valiosos desde el punto de vista económico. Están distribuidos en dos unidades principales: El Batolito Occidental Andino y el conjunto de rocas paleozoicas e intrusivas (Cordillera Oriental).

- **Placeres:** Formados por la deposición de gravas, limos, arcillas, arenas y metales de alta densidad (oro, plata, hierro), son abundantes y significativos, están distribuidos en el sur oriente, cerca de las rocas paleozoicas metamórficas e intrusivas de la Cordillera Oriental, y son resultado de la erosión de estas últimas.
- **Oro diseminado:** Concentración o cuerpo mineral que presenta estructura reticular y se extiende por amplias áreas y en todas las direcciones, por lo general se halla en rocas paleozoicas (calizas, pizarras).
- **Oro como subproducto:** Metal presente en la mayoría de yacimientos polimetálicos, alcanzando elevadas leyes, por ejemplo, Toquepala, Cuajone, Quellaveco (pórfitos de Cu).

2.2.3. Depósitos Tipo Placer

El término “placer”, fue empleado por mineros españoles en América, para referirse a los depósitos o concentraciones de oro que se encontraban junto con las arenas y gravas en los cauces de los ríos (Viladevall, 2007).

Viladevall, (2007), da una interpretación más amplia sobre los depósitos tipo placer: “Es la acumulación económica de minerales de alta resistencia fisicoquímica procedentes de la desmantelación de yacimientos de zonas preenriquecidas, de desechos antrópicos o de todo el conjunto a la vez, cuyo vector de concentración ha sido la actividad de los agentes de transporte exógenos tales como el agua, el hielo y el viento”.

Basándose en su definición, Viladevall, (2007), plantea que para la formación de depósitos tipo placer de interés económico, se necesita la interacción principalmente de tres fenómenos:

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

- Un fenómeno geodinámico – geomorfológico, susceptible de acumular y preservar los elementos minerales liberados.

De igual manera, será necesaria la interacción de otros fenómenos de tipo hidráulico ligados en el espacio y en el tiempo, los cuales serían la causa de la liberación o del desprendimiento de las partículas, del transporte y la sedimentación de los minerales de elevada densidad en las cuencas fluviales, lacustres y marinas (Rodríguez et al., 2023).

2.2.3.1. Clasificación de Depósitos Tipo Placer

Según Rodríguez et al., (2023), la clasificación de estos depósitos depende directamente de los distintos tipos de fenómenos físico – químicos que los producen:

- Placeres eluviales: Son aquellos que se originan a partir de una zona enriquecida o preenriquecida en función del clima. En estos, los fenómenos químicos tienen mayor predominancia que los físicos (Viladevall, 2007). Dado que surgen de la descomposición de la roca madre in situ, también se les conoce como depósitos residuales, estos depósitos sobreyacen o se encuentran relativamente cerca de la roca madre, y el índice de concentración de minerales más resistentes está fuertemente influenciada por la topografía y el clima (Toscano et al., 2012).
- Placeres coluviales o diluviales: Son la transición entre depósitos eluviales o residuales (componente química) y fluviales o aluviales (componente física) (Viladevall, 2007). Son concentraciones minerales al pie de la ladera originadas por el desplazamiento gravitacional, donde predominan directamente: la velocidad de enterramiento de los minerales pesados o ligeros, y la velocidad de desplazamiento de las partículas en la pendiente (Toscano et al., 2012).
- Placeres fluviales o aluviales: Son aquellos que están constituidos por partículas no consolidadas, compuestos principalmente por grava, arena, limo y arcillas, fue depositado y/o está depositándose fundamentalmente a lo largo de las corrientes fluviales. Según su ubicación y teniendo en cuenta el curso fluvial principal, recibe la siguiente clasificación: - *Depósitos de terrazas*, son concentraciones clásticas formadas por los ríos y afluentes, durante etapas más antiguas en diferentes periodos de avenida de los ríos, y que están

constituidos por arcilla, limo, arena y grava, distribuidos horizontalmente, - *Depósitos fluviales recientes*, son sedimentos depositados periódicamente en el mismo curso de los ríos y que están relacionados con las avenidas en épocas de lluvias (Toscano et al., 2012).

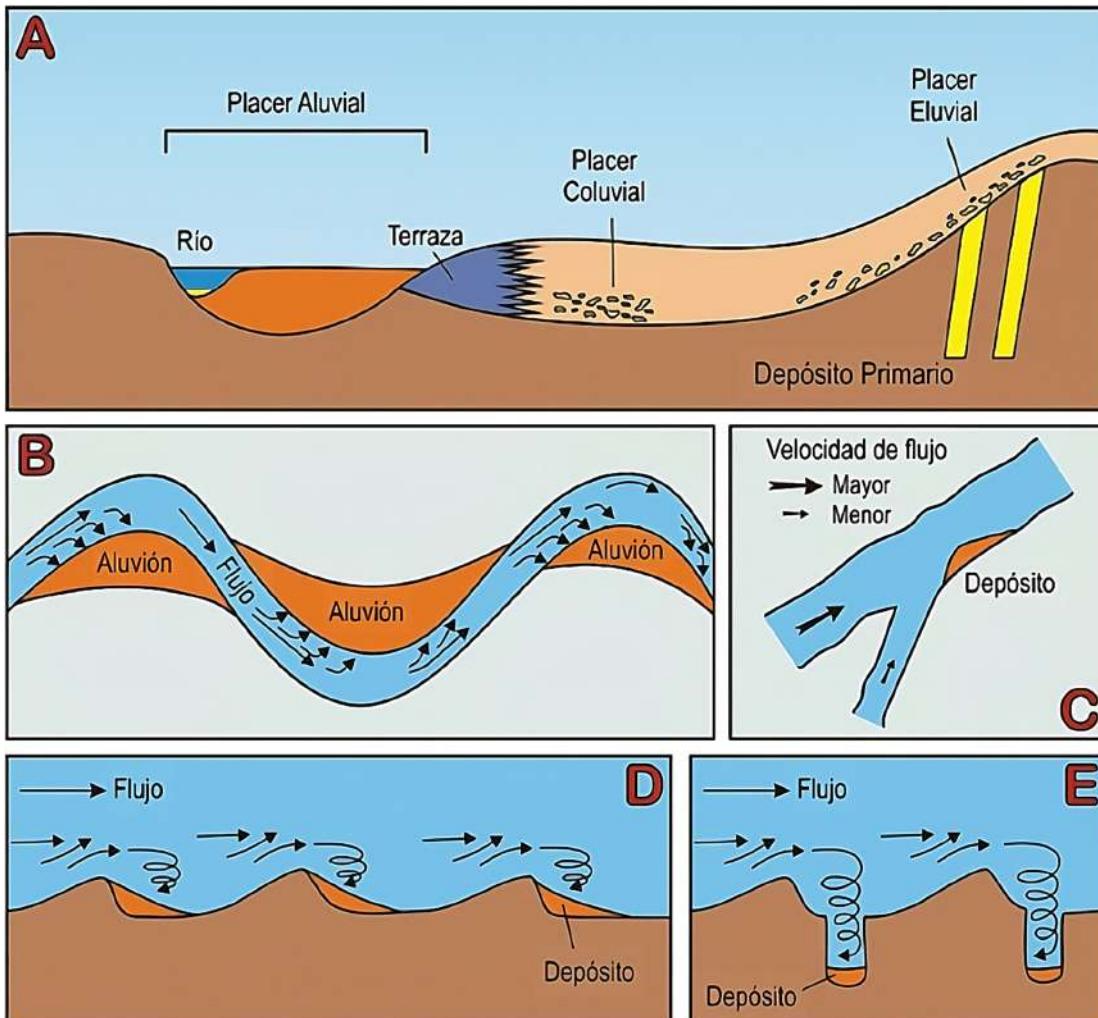


Figura 1: A) Sección esquemática de un valle fluvial y las relaciones entre los depósitos de tipo eluvial, coluvial y aluvial; formación de depósitos aluviales que actúan concentrando minerales pesados; B) las curvas de los ríos (meandros); C) la confluencia de dos ríos con diferentes velocidades; D) las zonas accidentadas del lecho del río, y E) las marmitas (potholes) que se forman en lechos rocosos (modificada de Pereira et al., 2005 en Toscano et al., 2012).

2.2.3.2. Geología de Depósitos Tipo Placer

a) Ámbito generador

La fase inicial en la formación de un depósito o yacimiento tipo placer es la liberación del mineral valioso de su fuente primaria. Los múltiples fenómenos y factores que se combinan para descomponer y desintegrar las rocas, se denomina meteorización (Alvarado, 2019).

Según Alvarado, (2019), los agentes clave asociados a la meteorización de las rocas son: el nivel freático, los cambios de temperatura, el crecimiento de vegetación y las superficies de erosión.

El agua es el principal agente capaz de disolver las rocas, particularmente por debajo de la superficie donde el ataque es constante; los cambios de temperatura, sobre todo en lugares donde se presentan cambios extremos y rápidos, como el caso de zonas desérticas, generándose el fracturamiento y denudación posterior a partir del congelamiento del agua contenida en las grietas; el crecimiento de las plantas contribuye a la destrucción de las rocas y la posterior liberación de los minerales económicos en dos vías: el crecimiento de las raíces que se extienden y fracturan las rocas constantemente y la degradación de la vegetación que se suma al agua como un agente capaz de descomponer aceleradamente las rocas de las fuentes primarias (Alvarado, 2019).

Para que exista un yacimiento detrítico es condición indispensable que la roca madre contenga una mineralización, concentrada o diseminada, y que se den una serie de circunstancias favorables para que se produzca el arranque, transporte y depositación selectiva de dicha mineralización (Alvarado, 2019).

De acuerdo con Orche, (2001), los procesos que intervienen en la concentración de minerales detríticos son los siguientes:

- Arranque

Las rocas que afloran están sometidas a una serie de procesos destructivos que en conjunto se conoce como erosión. Estos fenómenos erosivos dependen de muchos factores, por ejemplo, condiciones climáticas, naturaleza de la roca madre, posición geomorfológica de la roca madre, ambiente químico del medio y duración del proceso erosivo.

La acción de los agentes atmosféricos es capaz de transformar una roca masiva en una serie de fragmentos rocosos más o menos sueltos, teniendo dos tipos de meteorizaciones (Orche, 2001):

Meteorización física: disgrega la roca.

Los agentes de índoles física provocan la disgregación mecánica de las rocas, que se fragmentan en bloques y finalmente, en arena. Ejemplos de agentes físicos: congelación del agua en fisuras, acción del sol, variaciones de temperatura, hinchamiento por hidratación de las sales que penetran en los poros, raíces vegetales, excavaciones producidas por animales, cursos de agua, glaciares, ventiscas, terremotos, erupciones volcánicas.

De todo lo anterior se deduce que la situación geográfica de las rocas influye de gran manera en los procesos erosivos.

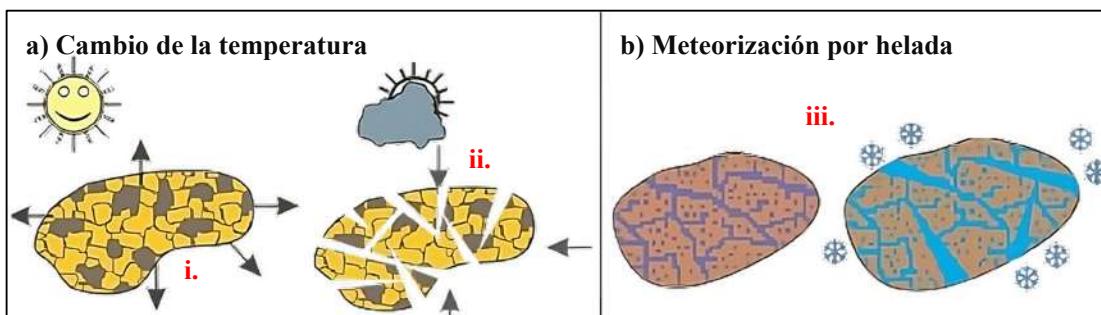


Figura 2: Formas de meteorización física o mecánica, **i)** las temperaturas elevadas generan dilatación en la roca, **ii)** las temperaturas bajas producen volumen reducido, **iii)** el agua llena las grietas de una roca y luego se congela, el hielo se expande (10 %) y separa la roca (Griem, 2016).

Meteorización química: modifica la composición y la constitución de la roca.

Una vez la roca está disgregada, la superficie expuesta al ataque atmosférico aumenta exponencialmente (ver Figura 3), lo que lleva consigo una mayor posibilidad de acción de los agentes químicos del medio (Orche, 2001).

Este tipo de alteración se produce al ponerse en contacto los minerales de las rocas con el agua, que por llevar en disolución ciertos gases e iones, favorece oxidaciones, hidrataciones, etc., formándose nuevos compuestos más estables. Cuanto mayor sea el grado de ataque químico de los minerales, mayor será la pérdida de cohesión y resistencia mecánica de la roca (Orche, 2001).

El grado de meteorización química depende de: la composición mineralógica de la roca madre, el tiempo de ataque, la acidez del medio, la temperatura ambiente. Los agentes que provocan la alteración química son muy variados: el oxígeno libre, el anhídrido carbónico atmosférico, las aguas de escorrentía cargados de O₂, CO₂, sales y ácidos libres, los ácidos orgánicos, los ácidos húmicos.

Al final del proceso de meteorización, una parte de los nuevos compuestos es soluble y es transportada lejos por las aguas; el resto, más estable (óxidos, hidróxidos y silicatos secundarios hidratados), queda al pie de la roca, acumulándose (Orche, 2001).

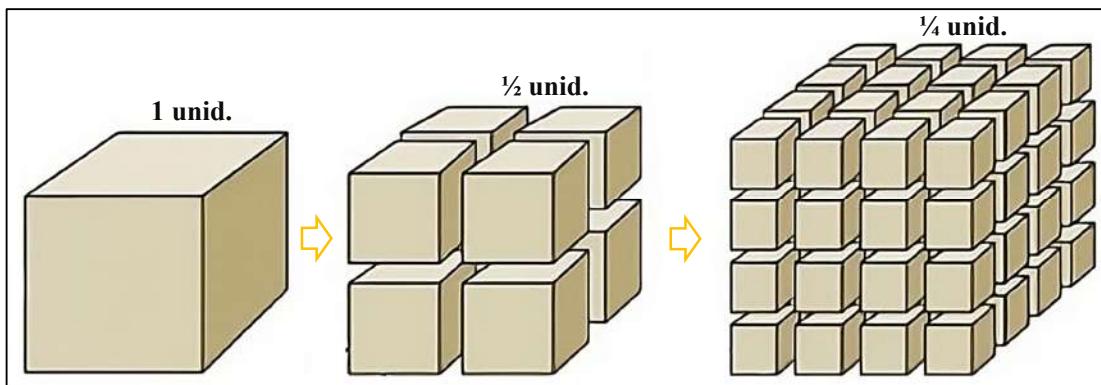


Figura 3: Incremento de la superficie sometida al ataque químico por efecto de la fragmentación producida por la meteorización física. Cuando un cubo se rompe en trozos más pequeños, su volumen no varía, pero su superficie expuesta al intemperismo aumenta (modificada de Plummer et al., 2016).

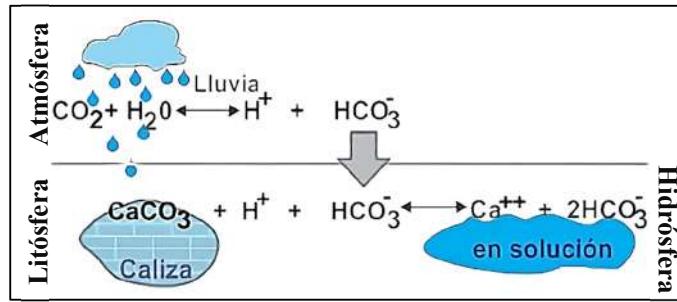


Figura 4: Meteorización química: solución y precipitación de los carbonatos, influenciados por cambios de temperatura, variación de pH. Las reacciones químicas se desarrollan mejor en temperaturas elevadas (Griem, 2016).

- Transporte

El material detrítico acumulado en las cercanías de los afloramientos de la roca madre es transportado por gravedad o por un medio móvil y dirigido (curso de agua, viento, olas, etc.). Durante este recorrido, primero a lo largo del cono de deyección (ver Figura 5) y luego inmersas en un medio fluido, las partículas se clasifican en función de diversos factores físicos: fragilidad, densidad, forma, desgaste y separación entre granos (Orche, 2001).

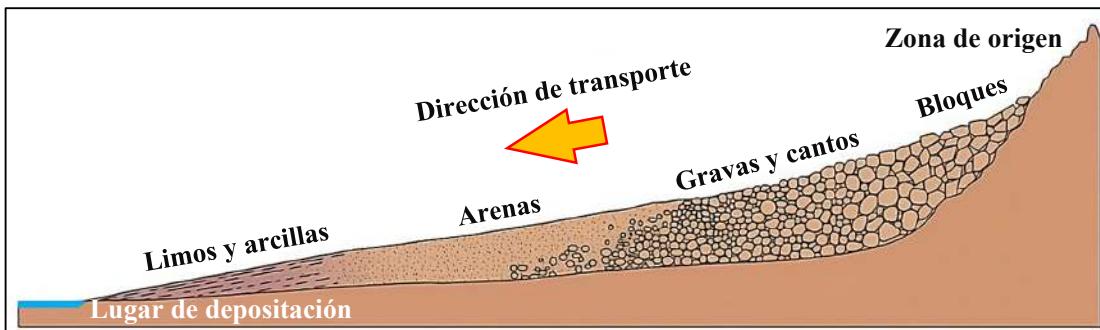


Figura 5: Esquema de cono de deyección con indicación de los distintos materiales que lo componen (modificada de Plummer et al., 2016).

El transporte fluvial de los detritus se puede realizar de tres maneras: en suspensión, la energía de la corriente contrarresta el peso de las partículas, que viajan largas distancias a la velocidad de aquella, es la forma de transporte más importante (los materiales son finos y de poca densidad); por saltación, los granos van brincando por el fondo del cauce (el material puede ser de tamaño fino a grueso); por arrastre, los granos ruedan y a veces, deslizan a lo

largo del fondo del cauce, con el que permanecen en contacto casi permanentemente (Orche, 2001).

- Depositación

El material transportado es clasificado según su peso específico o densidad, la forma y el tamaño de las partículas. Para el cálculo de la velocidad de caída de las partículas al fondo del río se utilizan dos modelos, uno para tamaños de grano inferiores a 0.1 mm (Ley de Stokes), y otro para tamaños superiores a 0.2 mm (Ley del impacto). Del análisis de ambas leyes se deduce que, si dos granos con la misma densidad tienen forma idéntica, cuanto mayor sea su diámetro, con mayor velocidad se depositará, resultando una clasificación por tamaños (Orche, 2001).

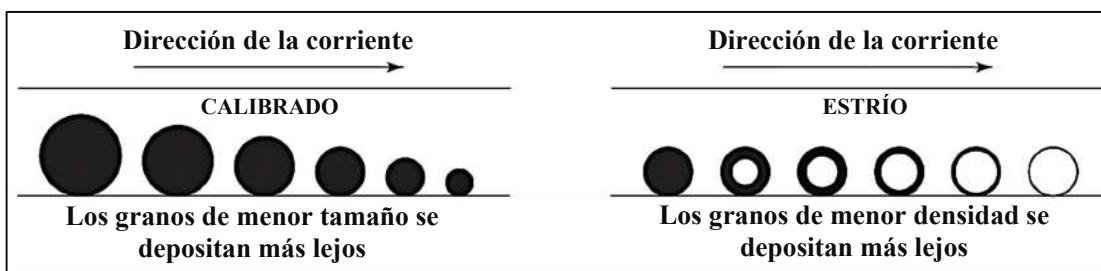


Figura 6: Calibrado y estrío de las partículas (modificada de Orche, 2001).

En esta instancia, se produce la clasificación de los minerales por su densidad y su forma, durante el transporte fluvial también se separan los minerales por su resistencia mecánica. Durante el transporte, las partículas chocan entre sí y se pulen, se estrían, se fragmentan y finalmente, se pulverizan. La estabilidad de las partículas durante el transporte depende de la resistencia a la abrasión, ésta, aumenta con la dureza y la tenacidad del mineral. Las diferencias en el comportamiento de los minerales durante un largo transporte conducen al concepto de capacidad de migración (distancia a la que se puede encontrar un mineral del área fuente) (Orche, 2001).

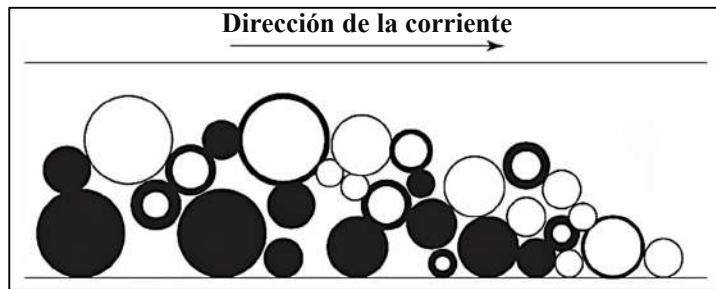


Figura 7: Acción combinada de calibrado y estrío de las diferentes partículas de minerales (modificada de Orche, 2001).

Se representa gráficamente la relación entre la velocidad del flujo y la erosión, transporte y depositación de partículas de diferente tamaño, para una densidad dada. Dicha figura explica las removilizaciones y consiguientes sedimentaciones que puede experimentar una partícula dada cuando cambia la energía del medio fluvial (velocidad) (Orche, 2001).

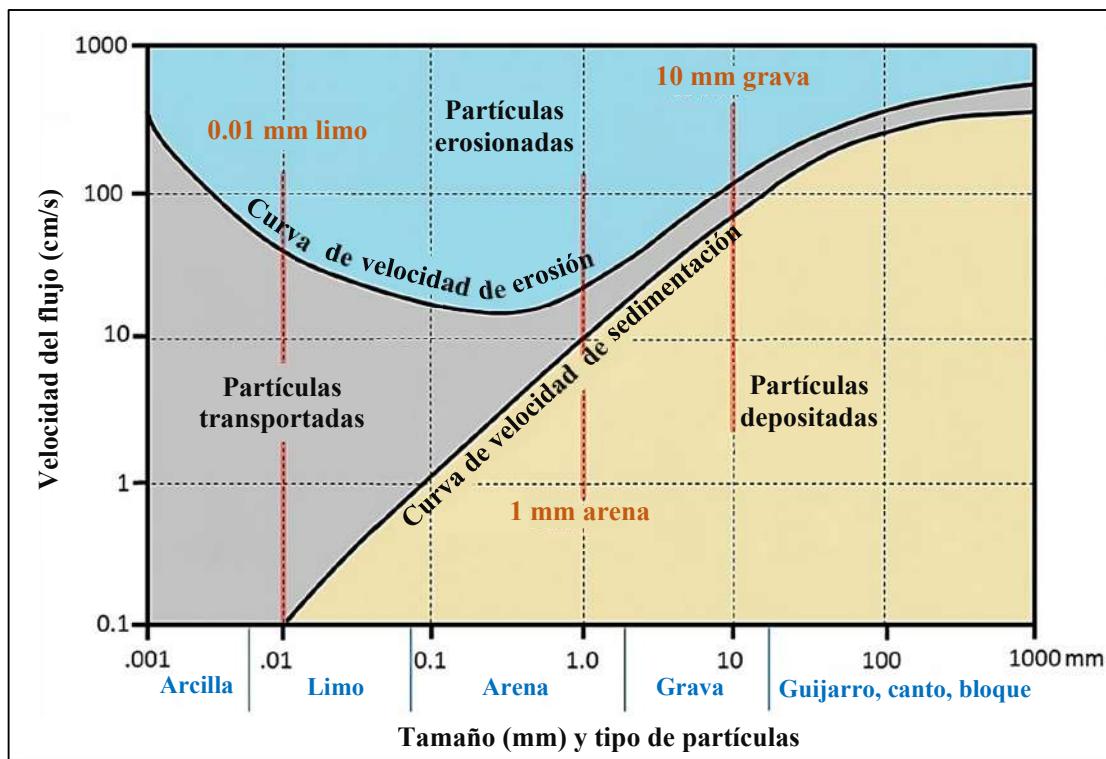


Figura 8: Diagrama de Hjulström – Sundborg, muestra las relaciones entre el tamaño de la partícula y la tendencia a erosionarse, transportarse o depositarse a diferentes velocidades de corriente (modificada de Earle, 2015).

b) Propiedades y características de los minerales en un placer

Los minerales liberados producto de los procesos de meteorización in situ, serán movilizados por los agentes de la geodinámica externa, principalmente agua y en menor proporción hielo y viento, donde posteriormente se depositarán en lugares alejados a la fuente primaria (Alvarado, 2019).

Durante el transporte, se producirán dos tipos de procesos que afectan el tamaño y la forma de las partículas. el primer proceso es el desgaste por fricción o abrasión, dependiendo de la naturaleza y la concentración de carga en suspensión. La dureza superficial del mineral juega un rol importante en este proceso. El segundo proceso consiste en la trituración de los minerales más frágiles y en contacto con los elementos de mayor tamaño durante el transporte. Los minerales maleables resisten mejor el proceso como es el caso del oro y el grupo del platino, pudiendo experimentar un transporte mayor al de otros minerales frágiles (Alvarado, 2019).

Según Alvarado, (2019), los minerales que logran preservarse ante los mecanismos de meteorización y transporte hasta formar el depósito tipo placer, poseen las siguientes características: son generalmente de dureza elevada y carecen de clivaje; presentan una densidad relativa elevada como el oro, platino, magnetita, ilmenita, no obstante minerales como los granates y cuarzo de baja densidad logran preservarse debido a su alta resistencia mecánica; el alto grado de maleabilidad, ductilidad e inalterabilidad química de algunos elementos como el oro y platino; los hacen posibles de encontrar en sistemas aluviales muy alejados a la fuente primaria.

Dentro de los minerales comunes, solo algunos silicatos como los granates, turmalinas, circones, berilos o topacios, permanecen inalterables frente a una meteorización química activa. Los minerales sulfurados, arseniuros y antimoníuros se alteran en los entornos oxidantes actuales; salvo en climas glaciares. Los óxidos, incluyendo al cuarzo, son minerales muy estables, por ello los minerales como las espinelas, corindón, casiterita, columbita, ilmenita, magnetita y rutilo, constituyen una parte importante de los minerales útiles y extraíbles en los depósitos tipo placer (Alvarado, 2019).

Los minerales nativos poseen una elevada resistencia a la meteorización química, siendo los diamantes, el oro y los del grupo del platino los que representan el blanco de exploración y explotación debido a su alto valor económico (Alvarado, 2019).

Tabla 3: Propiedades de los principales minerales de placeres.

Mineral	Dureza	Densidad relativa	Rocas primarias	Asociaciones
Oro	2.5 - 3.0	19.3	Filones de cuarzo asociados a rocas ígneas.	Magnetita, ilmenita, pirita, galena y otros sulfuros.
Platino	3.5	21.5	Gabros básicos, peridotitas, dunitas, serpentinitas.	Magnetita, ilmenita, cromita, olivino, diamante, corindón.
Diamante	10.0	3.5	Rocas ígneas básicas: peridotitas, kimberlitas.	Piropo, ilmenita, magnetita, cromita, olivino, platino.
Casiterita	6.0 - 7.0	6.8 - 7.1	Pegmatitas, filones de cuarzo, greisens, granitos.	Turmalina, molibdenita, wolframita, granates, sulfuros.
Monacita	5.0 - 5.5	4.6 - 5.4	Granitoides alcalinos y calcoalcalinos, filones de cuarzo, rocas metamórficas de contacto.	Ilmenita, circón, granate, apatito, rutilo, turmalina, espinela, magnetita, piroxenos, anfíboles.
Circón	7.5	4.2 - 4.8		
Scheelita	4.5 - 5.0	5.9 - 6.1		
Corindón	9.0	4.0	Dolomía cristalina, calizas, pegmatitas, sienitas.	Granates, espinelas, rutilo, berilo, crisoberilo.
Cromita	5.0 - 6.0	4.3 - 4.6	Rocas ultramáficas, serpentina.	Magnetita, olivino, talco.

Fuente: Tomada de Cornejo, (2009).

Tabla 4: Capacidad de migración de los minerales pesados en un entorno de placer.

Baja	Media	Alta
Cinabrio	Magnetita	Espinela
Wolframita	Apatito	Ilmenita
Pirita	Esfena	Hematites
Scheelita	Almandino	Leucoxeno
Olivino	Estaurolita	Topacio
Augita	Anatasa	Rutilo
Baritina	Distena	Platino
Grosularia	Casiterita	Circón
Fluorita	Andalucita	Corindón
Hornblenda	Oro	Diamante
Diópsido	Limonita	
Columbita		

Fuente: Tomada de Cornejo, (2009).

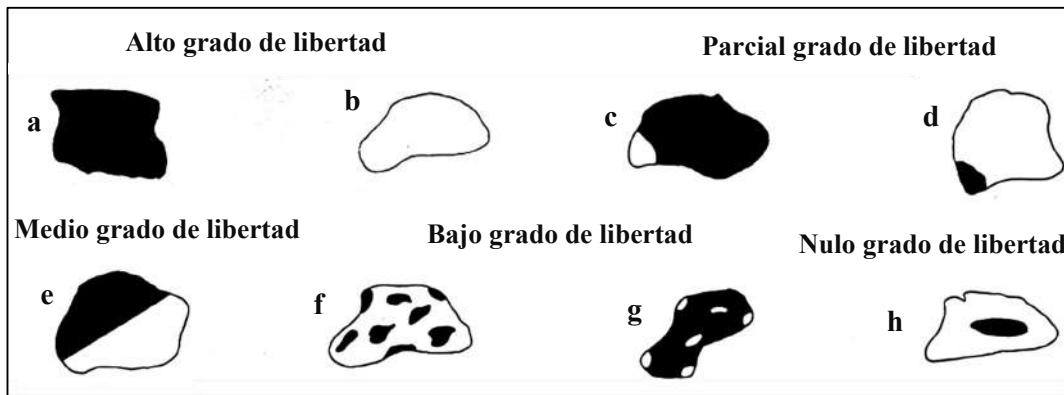


Figura 9: Diferentes grados de libertad de partículas de minerales: cuando una partícula está compuesta por más de un mineral se llama partícula mixta, se observan partículas mixtas con diferentes grados de libertad (Bustamante et al., 2008).

c) Distribución de los yacimientos de placeres en el medio fluvio – aluvial o fluvial

Un ambiente o medio sedimentario es la parte de la superficie terrestre donde se acumulan sedimentos, diferenciándose física, química y biológicamente de las zonas adyacentes, como resultados de procesos de meteorización física, química y del transporte a través de redes de drenaje que favorecen la depositación de los sedimentos (Alvarado, 2019).

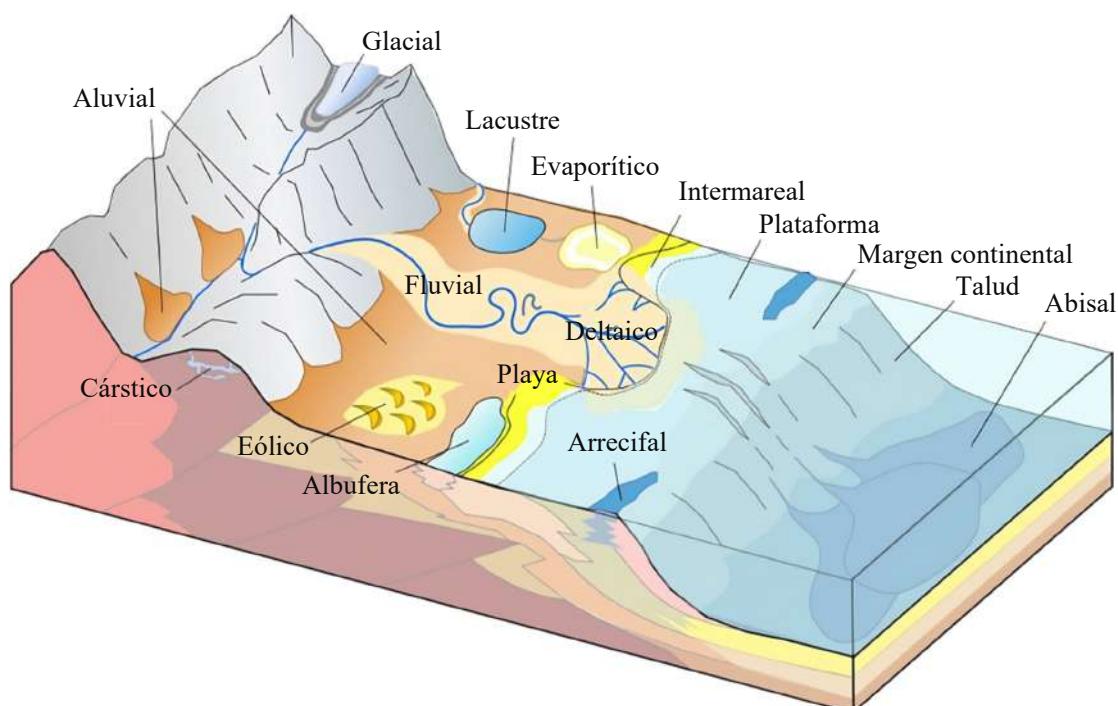


Figura 10: Principales medios sedimentarios sobre la superficie terrestre (modificada de Earle, 2015 en Norton, 2012).

En la tabla siguiente, se observan los diferentes tipos de ambientes sedimentarios en los que se pueden formar placeres, con información de la naturaleza mineralógica de los mismos y sus principales características distintivas.

Tabla 5: Tipos de depósitos de placer para ambientes sedimentarios.

Medios Continentales	
Eluviales Au, Pt, Sn, Ta, Nb y gemas	Alteración in situ de minerales, todos los que se concentran deben ser químicamente estables.
Coluviales o diluviales Au, Pt, Sn, Ta, Nb y gemas	Movimientos gravitacionales de mineral alterado y selección en función del tamaño y densidad en medio viscoso.
Fluviales o aluviales Au, Pt, Sn, Ta, Nb, diamantes y corindón	Pueden aparecer en muchos subambientes relacionados con sistemas fluviales y a distancias de pocos km. del área fuente. Con el aumento de la distancia desde la zona primaria, se produce un enrarecimiento por desgaste mecánico.
Desiertos Au, Pt, Sn, Ta, Nb y gemas	Características relacionadas con depósitos eólicos, aunque puntualmente podrían ocurrir concentraciones locales.
Glaciares Au (raros)	Depósitos glaciares mal clasificados y sin estratificación. En la zona de ablación glaciar se generarían concentraciones locales.
Medios de Transición	
Playas Ti, Zr, Fe y ReO	Placeres en cordones paralelos a la costa y asociados a la línea rompiente. Pueden conservarse fósiles en situaciones transgresivas.
Eólicos Ti, Zr, Fe y ReO	Dunas costeras procedentes de la erosión de depósitos de playa, su granulometría es sensiblemente inferior.

Fuente: Modificada de Viladevall, (2004).

La distribución de placeres en un medio fluvio – aluvial, donde las zonas favorecidas para la concentración del oro u otro mineral económico, se presentan tomando en cuenta cambios: en la corriente de agua, lugares propensos de acumulación, obstáculos en el recorrido como barras, cambios de orientación cerca a los meandros, la cercanía a las quebradas y/o tributarios, cambios de profundidad del lecho del río y cambio lateral del mismo (zonas de ensanchamiento), las partículas de oro de mayor granulometría tienden a depositarse cerca a la fuente, mientras que las partículas de grano muy fino, tienden a viajar distancias mayores (Alvarado, 2019).

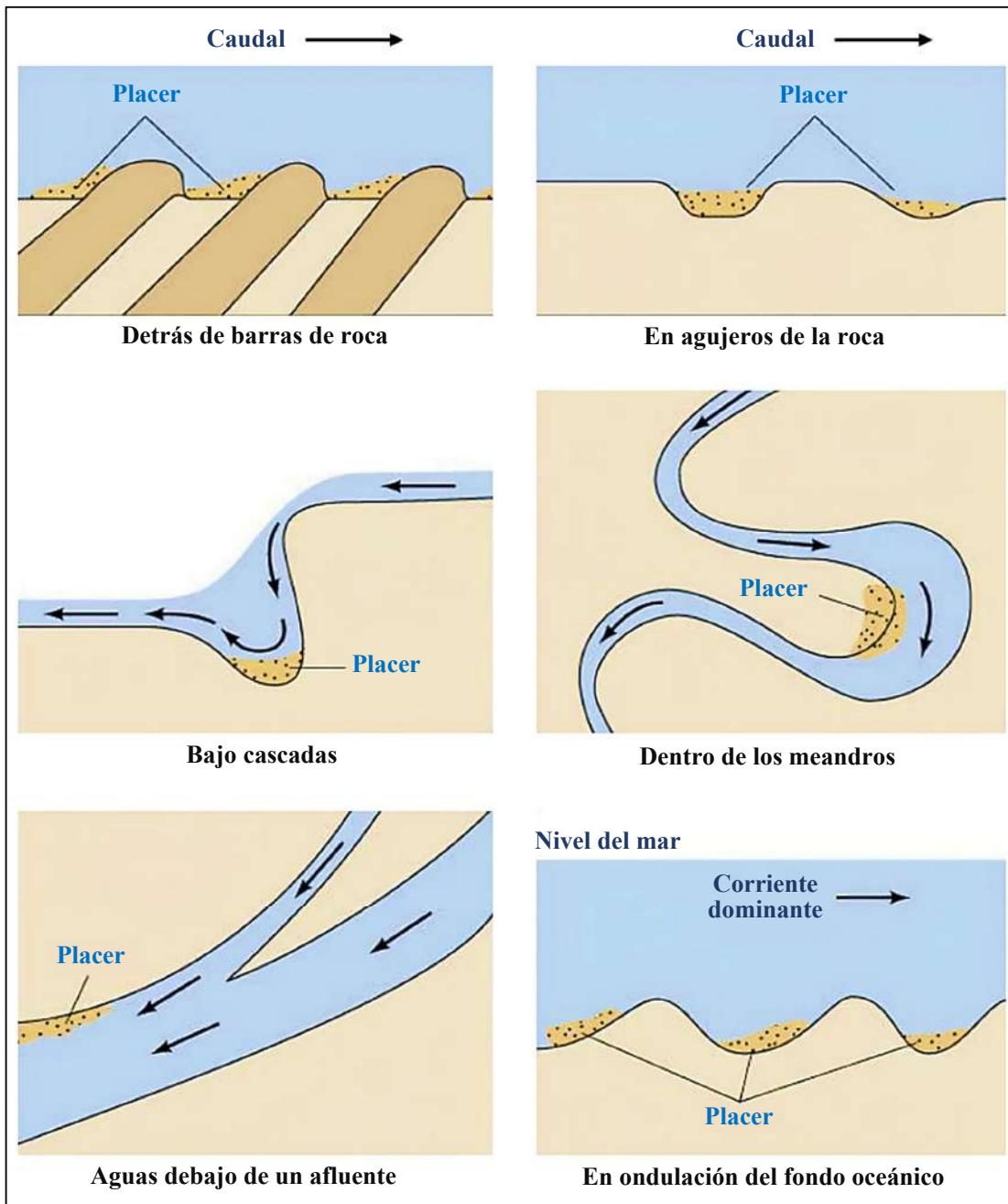


Figura 11: Lugares de acumulación y formación de placeres aluviales (modificada de Mupaya, 2020).

d) Paleoplaceres o placeres fósiles

Estos placeres, aparecen distribuidos en todas las épocas geológicas, desde hace 2600 millones de años. Las formaciones más antiguas están constituidas por conglomerados con elevados contenidos de Au, que hoy día son explotados siendo alguno de ellos de los principales yacimientos del mundo (Orche, 2001).

Los paleoplaceres son aquellos formados en el pasado y preservados o sepultados fuera del alcance de agentes erosivos (Alvarado, 2019).

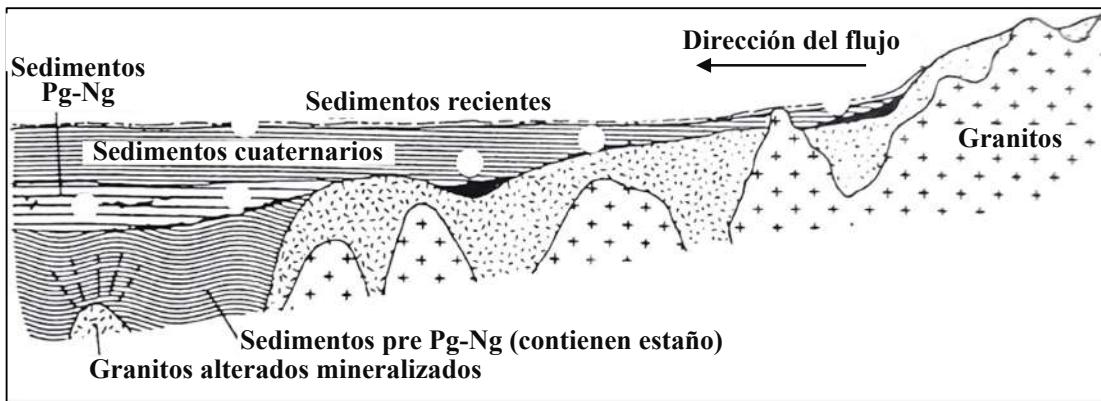


Figura 12: Disposición de placeres fósiles o paleoplaceres (placeres mineralizados mesozoicos, paleógenos, neógenos y cuaternarios), formados a partir de un yacimiento primario debido al carácter cíclico de las zonas de placeres (modificada de Lunar & Oyarzun, 1991).

e) Modelo geológico estándar de un yacimiento aluvial de oro

El modelo genético de los placeres es el sedimentario convencional, con la presencia de un área fuente pre – existente con minerales de interés económico. Los minerales se movilizan gracias a los mecanismos de transporte (agua, hielo, aire y gravedad), que previamente son liberados desde la fuente primaria por agentes climáticos y biológicos. La acción de transporte genera un desgaste en todos los minerales liberados, donde los más resistentes son capaces de alcanzar distancias considerables y acumularse en zonas favorables a su deposición (Kartashov, 1971).

A grandes rasgos el oro fino no significa un atractivo inmediato debido a las dificultades para su recuperación, sin embargo, bajo condiciones especiales donde la acumulación justifique grandes volúmenes, entonces su explotación es viable. Bajo este entorno ante la maduración del valle del río, la acumulación aluvial del llano gravoso es ideal para la dispersión del oro y de forma diseminada, abarcando amplias extensiones. Algunas generalidades de los yacimientos de oro tipo placer: son descubiertos usualmente en regiones con fisiografía montañosagradando a peneplanicies, ríos en valles abiertos, que en sus entornos existen distritos auríferos de dispersión primaria; los placeres de oro normalmente vienen acompañados de otros minerales densos y resistentes; el oro grueso y las pepitas son más probables de encontrarse cerca al basamento rocoso o en falsos lechos, mientras que el oro fino fácilmente se dispersa y alcanza grandes distancias; las partículas de oro pierden

tamaño e impurezas a medida que son transportadas longitudes distantes a la fuente primaria (Alvarado, 2019).

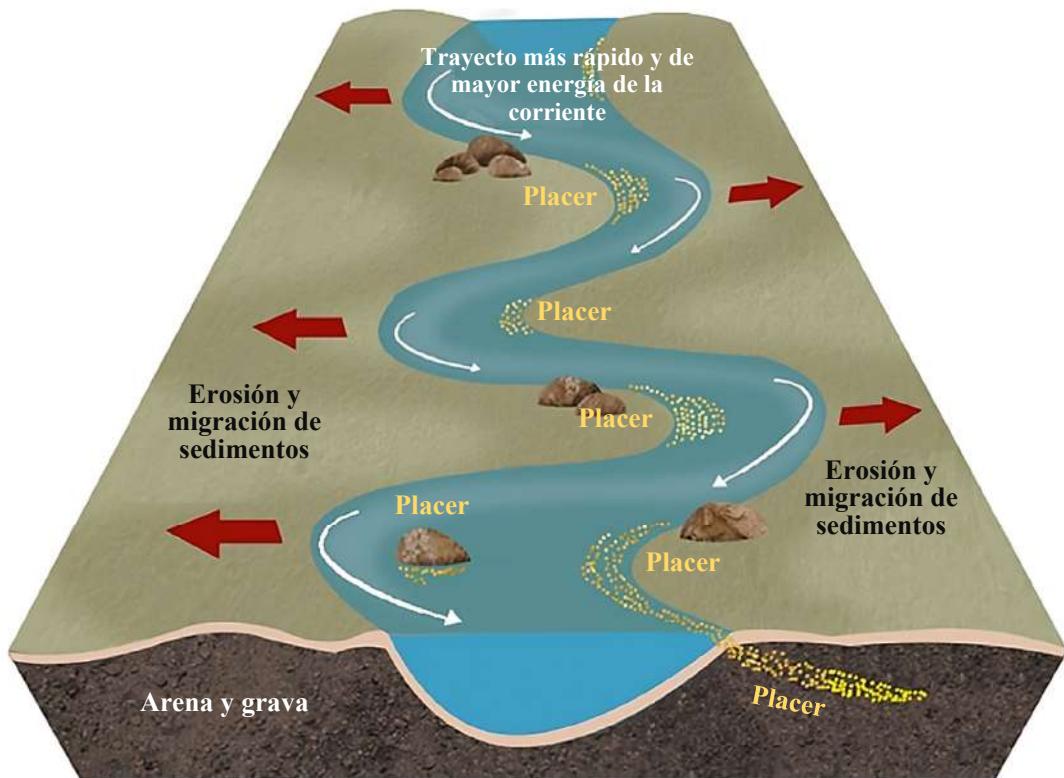


Figura 13: Boque diagrama esquemático del trayecto de un curso fluvial meandriforme. Las líneas blancas indican el camino más rápido y de mayor energía de la corriente, asimismo es la zona propensa a erosión y a la migración conforme indican las flechas rojas. El oro se depositará donde la corriente fluvial pierda energía (parte convexa de meandros) y donde existen obstáculos como bloques e islas (modificada de Jones, 2017).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Se definen los siguientes términos básicos para la correcta comprensión del estudio:

Litoestratigrafía: Subdisciplina de la estratigrafía, estudia los estratos, formados por cualquier tipo de sedimento o roca sedimentaria, y también por cualquier roca ígnea o metamórfica que cumpla el principio de superposición de capas (Corrales et al., 1977).

Geoquímica (prospección): Es la técnica que se encarga de realizar investigaciones geológico – mineras mediante la obtención de muestras de suelos o aguas y determinación de los elementos disueltos. Los estudios geoquímicos permiten establecer el origen de los elementos disueltos y por lo tanto los cuerpos mineralizados (Dávila, 2011).

Microscopía: Es una importante herramienta para investigaciones geológicas de diversa índole. Con su ayuda se pueden determinar minerales, describir texturas, identificar tipos de rocas, alteraciones y asociaciones de minerales de mena, entre otras aplicaciones (Chirif, 2010).

Gravimetría (concentración gravimétrica): Método para separar partículas minerales de diferente peso específico, por las diferencias de densidades y por el movimiento en respuesta a las acciones que ejercen sobre ellas simultáneamente la gravedad y/u otras fuerzas, como la hidráulica y la fricción (Carbajal & Chávez, 2015).

Análisis Granulométrico (GSAv): Es una técnica ampliamente utilizada para caracterizar la distribución de tamaños de partículas en muestras de sedimentos, lo cual es esencial para determinar su clasificación, propiedades mecánicas y geotécnicas. Con el análisis granulométrico valorado, se obtiene la distribución del contenido metálico (AASHTO, 2021).

Oro Aluvial: Es oro que se ha erosionado y liberado de un yacimiento primario, es transportado y depositado junto con otros minerales y/o sedimentos en cauces de ríos y llanuras aluviales, donde se acumula debido a la gravedad y acción del agua (Johnson, 1984).

Arenas Negras: Granos pesados de varios minerales que presentan un color oscuro y usualmente son encontrados acompañando al oro en los depósitos aluviales. Estos minerales pesados pueden estar compuestos por grandes cantidades de magnetita, ilmenita y hematita, asociados con otros minerales como el granate, rutilo, circón, cromita, anfíboles y piroxenos (Alvarado, 2019).

Minería Aluvial: Es la explotación del oro procedente de la ribera, lecho de los ríos o llanuras aluviales. La minería aluvial del oro es una de las formas más antiguas de extraer este metal. Si bien existen diferentes técnicas y maquinarias para la extracción del oro aluvial, el principio básico es aprovechar la alta densidad del oro, que hace que se hunda más rápidamente en flujos de agua, separándolo de esta forma del resto del material del cual está acompañado. Se concluye el proceso de separación del oro, generalmente, mediante el uso de mercurio, este elemento se combina con el oro y forma una aleación o amalgama, para obtener oro puro se calienta la amalgama y se evapora el mercurio (Campanini et al., 2019).

MAPE: Minería de oro Artesanal y de Pequeña Escala, es la extracción de oro realizada por mineros independientes o compañías pequeñas que cuentan con un capital de inversión y producción limitados (O'Neill & Telmer, 2017).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

Geográficamente, las zonas de investigación (concesiones mineras): Puerto Belén (100 ha) y Raúl 1 (200 ha), están ubicadas en la Zona Subandina, en el cuadrángulo Masuco (27-V) y en la Llanura Amazónica, en el cuadrángulo Puerto Luz (26-U) respectivamente, ambas incluidas en el corredor minero de Madre de Dios.

Las coordenadas de los vértices de los polígonos que delimitan las zonas de investigación, están detalladas en la Tabla 6, de acuerdo al sistema de proyección cartográfico UTM (Universal Transverse Mercator), Datum WGS-84, Zona 19S. (Ver Mapa N° 01).

Tabla 6: Ubicación geográfica de las zonas de investigación.

Zona	Vértice	Coordenadas UTM-WGS84-19S	
		Longitud	Latitud
Puerto Belén	V1	348810.61	8554628.08
	V2	348810.61	8553628.06
	V3	347810.60	8553628.06
	V4	347810.59	8554628.08
Raúl 1	R1	328810.20	8579628.50
	R2	328810.21	8577628.46
	R3	327810.19	8577628.46
	R4	327810.19	8579628.50

Fuente: Ingemmet, (2023).

3.1.2. Política

Las zonas de investigación están ubicadas políticamente en el departamento de Madre de Dios, en la provincia de Manu, en los distritos de Huepetuhe y Madre de Dios; ubicadas al SW de la ciudad de Puerto Maldonado.

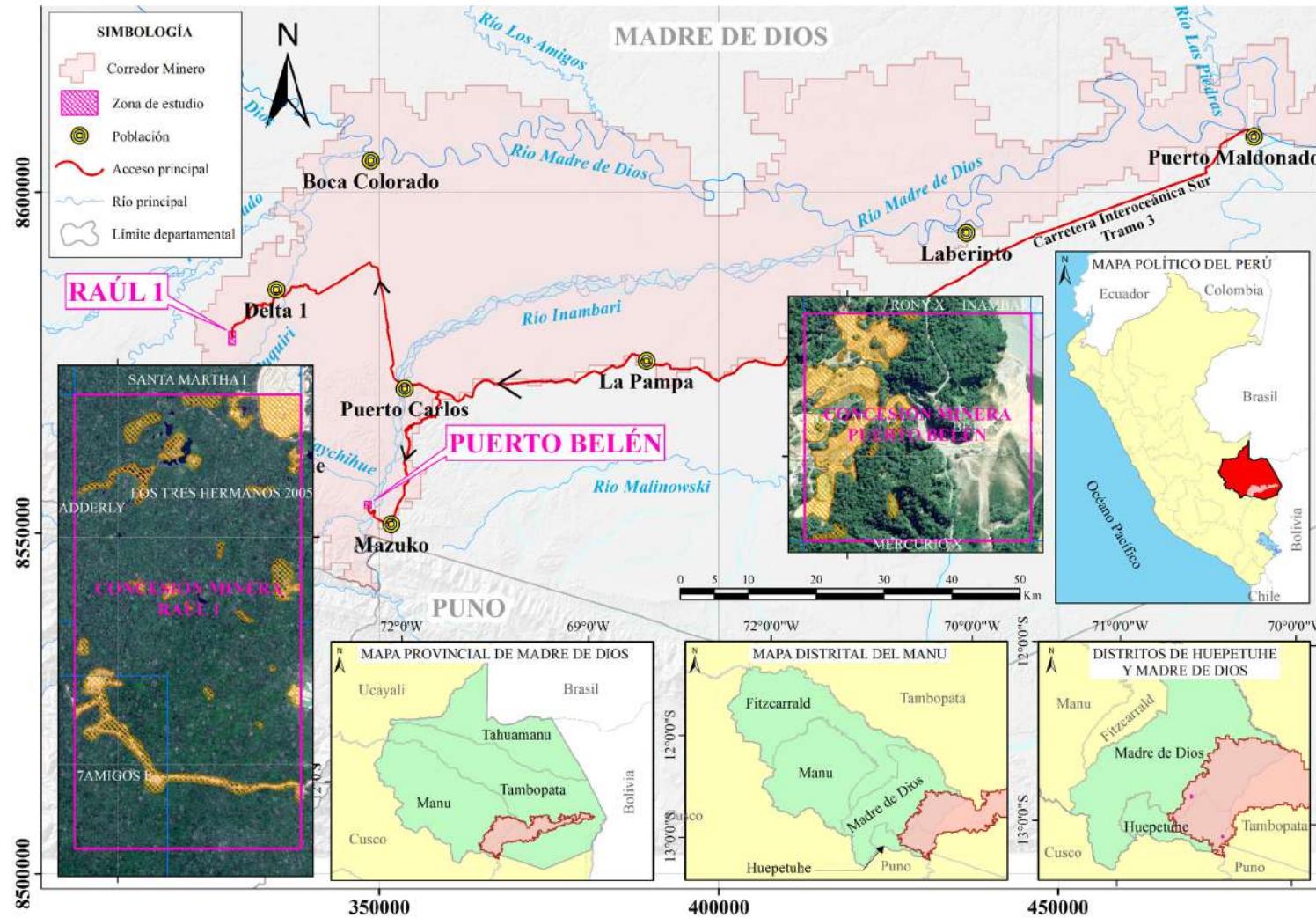


Figura 14: Ubicación política de las zonas de investigación: departamento de Madre de Dios, provincia de Manu, distritos de Huepetuhe y Madre de Dios.

Fuente: Ingemmet, Esri, Maxar, Earthstar Geographics, (2024).

3.1.3. Accesibilidad

El acceso a las áreas de investigación se realiza mediante vía aérea, terrestre y fluvial. Desde la ciudad de Lima, se toma la carretera Panamericana Sur, conectando con la carretera Interoceánica a través de Nazca, Arequipa o Moquegua, siendo la ruta terrestre recomendable (1579 km): Lima-Nazca-Abancay-Cusco-Urcos-Mazuko, desde este último, se viaja hasta Puerto Mazuko (rumbo a Puerto Belén) o Puerto Carlos (rumbo a Raúl 1). En ambos trayectos se cruza el río Inambari: desde Puerto Mazuko, hasta Puerto Punquiri, y nuevamente por vía terrestre desde Puerto Punquiri hasta el campamento Puerto Belén; y desde Puerto Carlos hasta Punquiri Chico, luego por vía terrestre hasta Delta 1 (en época de lluvias se cruza el río Puquiri en bote) y finalmente hasta campamento Raúl 1.

Mediante vía aérea, se despega desde el Nuevo Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Lima), hasta el aeropuerto Internacional Padre Aldamiz (Puerto Maldonado), desde este punto se viaja vía terrestre hasta Puerto Carlos o Puerto Mazuko.

Tabla 7: Tipos de vías, distancias y tiempos entre los puntos de control involucrados en la investigación.

Acceso	Tramo	Tipo de vía	Km	Tiempo
Raúl 1	Lima-Puerto Maldonado	Aérea	860	1h 40 min
	Puerto Maldonado-Puerto Carlos	Terrestre	145	2h 15 min
Puerto Belén	Puerto Carlos-Punquiri Chico	Fluvial	2	10 min
	Punquiri Chico-Raúl 1	Terrestre	45	2h 30 min
Puerto Belén	Puerto Maldonado-Puerto Mazuko	Terrestre	170	2h 40 min
	Puerto Mazuko-Puerto Punquiri	Fluvial	1.5	10 min
	Puerto Punquiri-Puerto Belén	Terrestre	5	15 min

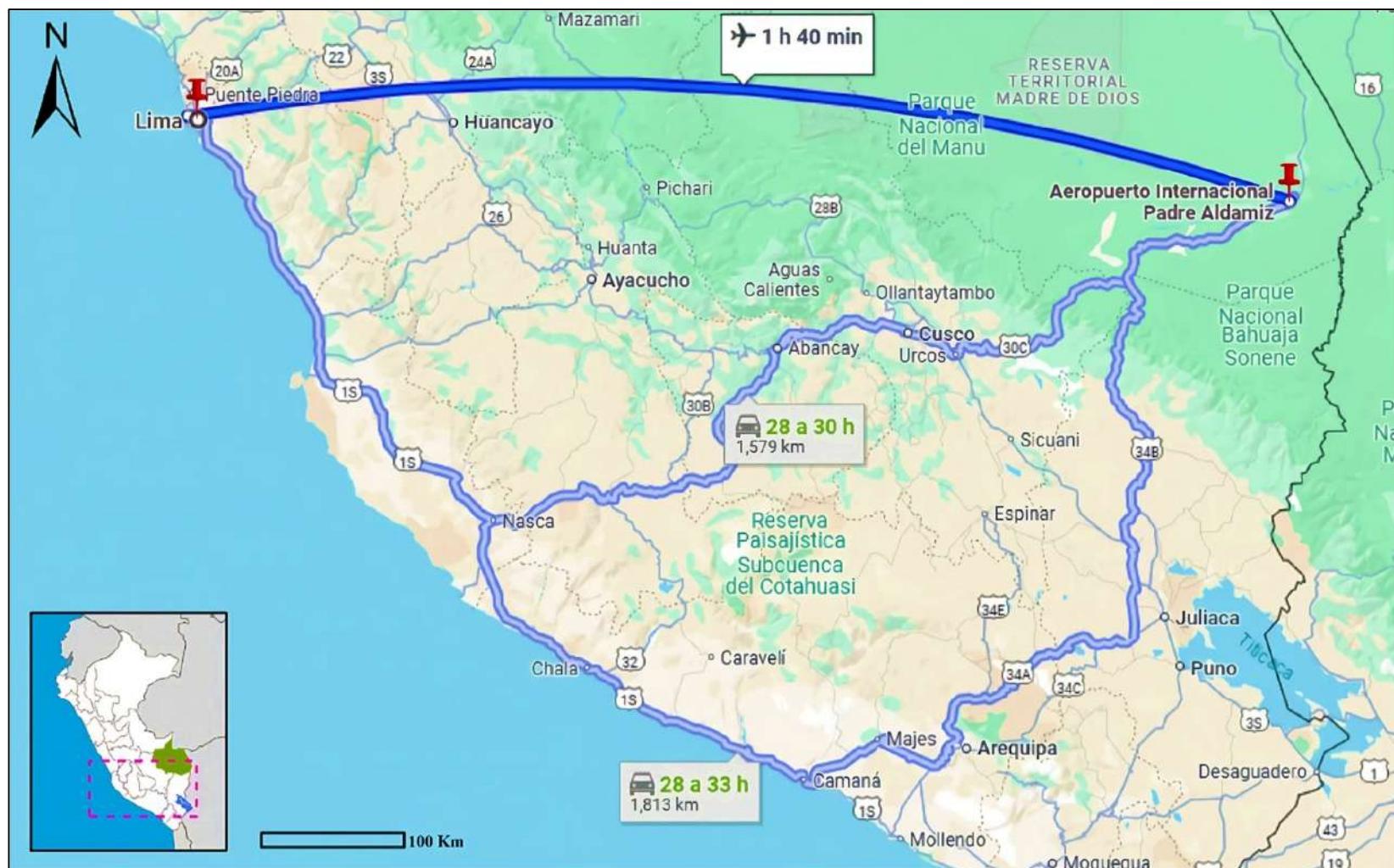


Figura 15: Ruta de acceso aéreo y terrestre desde la ciudad de Lima hasta la ciudad de Puerto Maldonado (Madre de Dios).

Fuente: Google Maps, (2024).

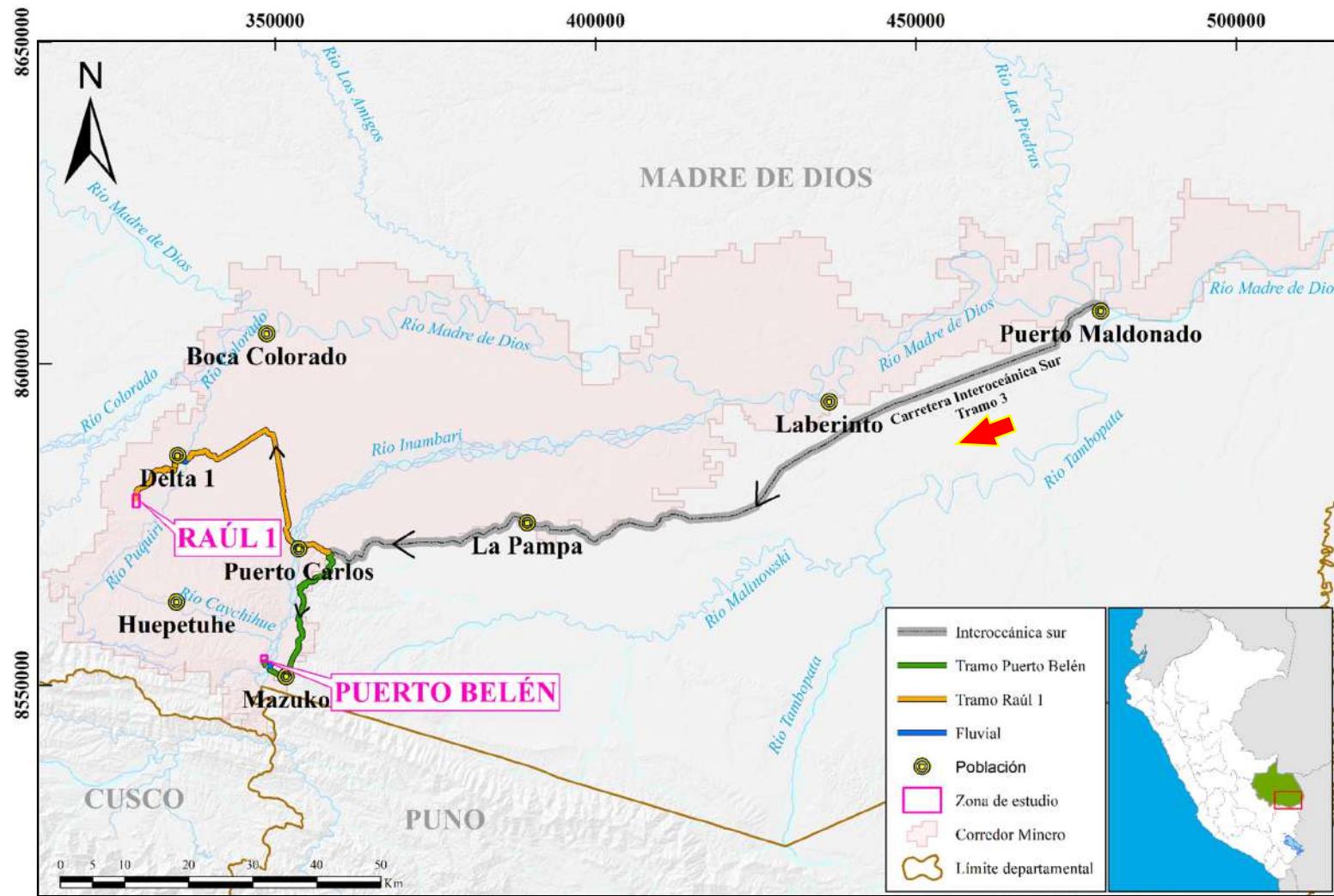


Figura 16: Rutas de acceso desde la ciudad de Puerto Maldonado hacia las áreas de estudio: Puerto Belén (tramo verde) y Raúl 1 (tramo naranja).

Fuente: Ingemmet, Esri, HERE, Garmin, (2024).

3.1.4. Clima y Vegetación

Puerto Belén (faja subandina) según Palacios et al. (1996), presenta clima muy húmedo y semicálido, con elevadas precipitaciones pluviales, no tiene estación seca bien definida, la temperatura tropical promedio es de 23°C, humedad relativa de 79 a 80 % y vientos predominantes que provienen del noreste y este; por otro lado, Raúl 1 (llanura amazónica) tiene clima húmedo y cálido, es lluvioso y con invierno seco, la temperatura tropical promedio es de 25°C, humedad relativa de 75 a 78 % y vientos provenientes del norte y este. A nivel regional, los mayores niveles de precipitación pluvial se registraron entre los meses de noviembre y marzo, mientras que desde abril hasta octubre se desarrolla la temporada de sequía o de bajos niveles de lluvia (el nivel más alto de precipitación pluvial fue en diciembre, registrando 15.51 mm/día). Las mayores temperaturas registradas son de 34.69°C, en los meses de septiembre y octubre, mientras que la temperatura más baja fue de 19.76°C, registrada en el mes de junio.

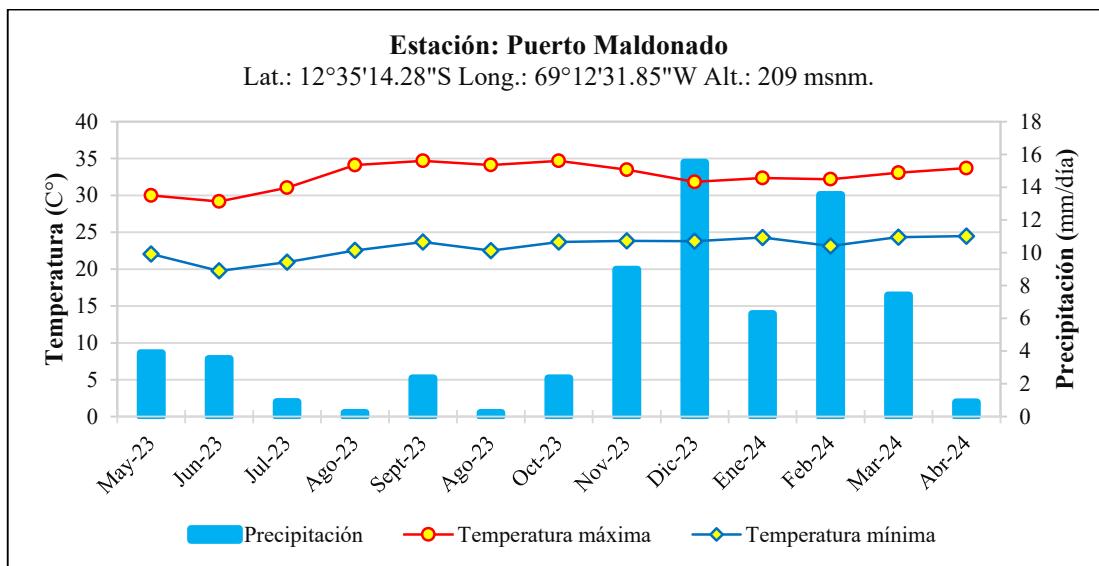
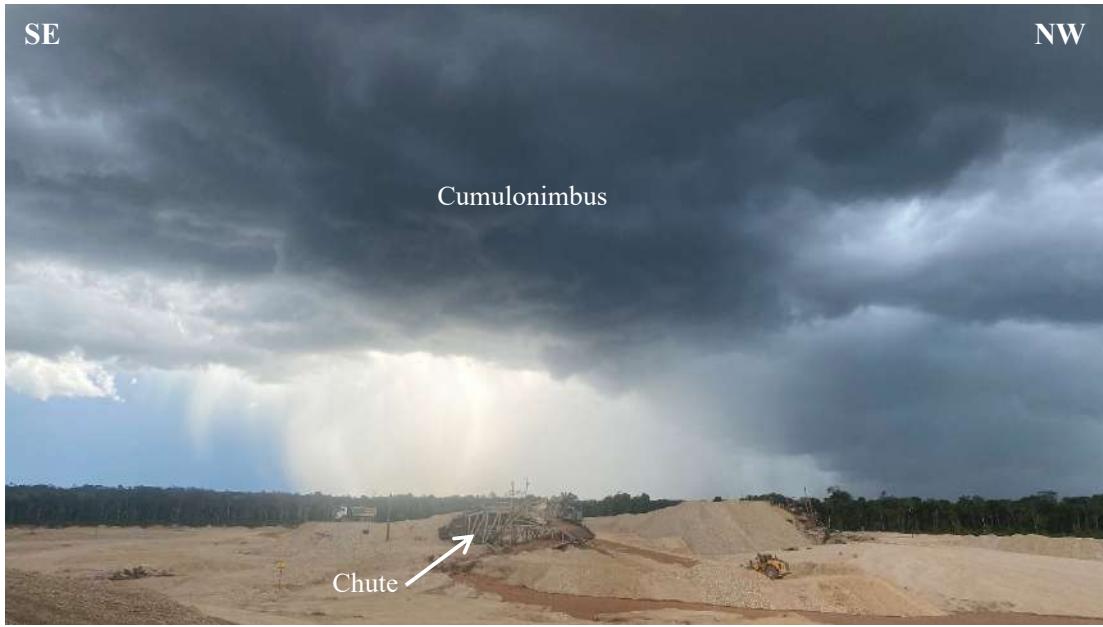


Figura 17: Climograma, en el que están representadas las temperaturas y precipitaciones promedio, registradas desde mayo de 2023 hasta abril de 2024, en la Estación de tipo Convencional – Meteorológico, con código 100109 (Dist.: Tambopata, Prov.: Tambopata, Dep.: Madre de Dios).

Fuente: Senamhi, (2024).



Fotografía 1: Altos niveles de precipitación pluvial en la Llanura Amazónica de Madre de Dios (Raúl 1, diciembre de 2023), las fuertes y constantes lluvias saturan los bancos de explotación, dificultando las actividades en la minería aluvial.

Abundante vegetación con gran variedad de árboles, arbustos y hierbas, según la Autoridad Nacional del Agua (2011), es posible encontrar mayoritariamente renacales, palmares o aguajales, castaña, siringa, bambú, pastizales y césped de puna; además de bosques de piedemonte en la zona subandina, bosques achaparrados y matorrales de montaña.



Fotografía 2: Vegetación predominante en las zonas de estudio: A) Bosque de pie de monte en la Faja Subandina (Puerto Belén), se observa mayormente árboles de cetico (*Cecropia sp.*), y B) Bosque de aguajales en el Llano Amazónico (Raúl 1).

3.2. PROCEDIMIENTOS

Los procedimientos inician desde la búsqueda y compilación de información bibliográfica referente al tema en investigación, tratado e interpretación de los resultados y están distribuidos en tres etapas principales.

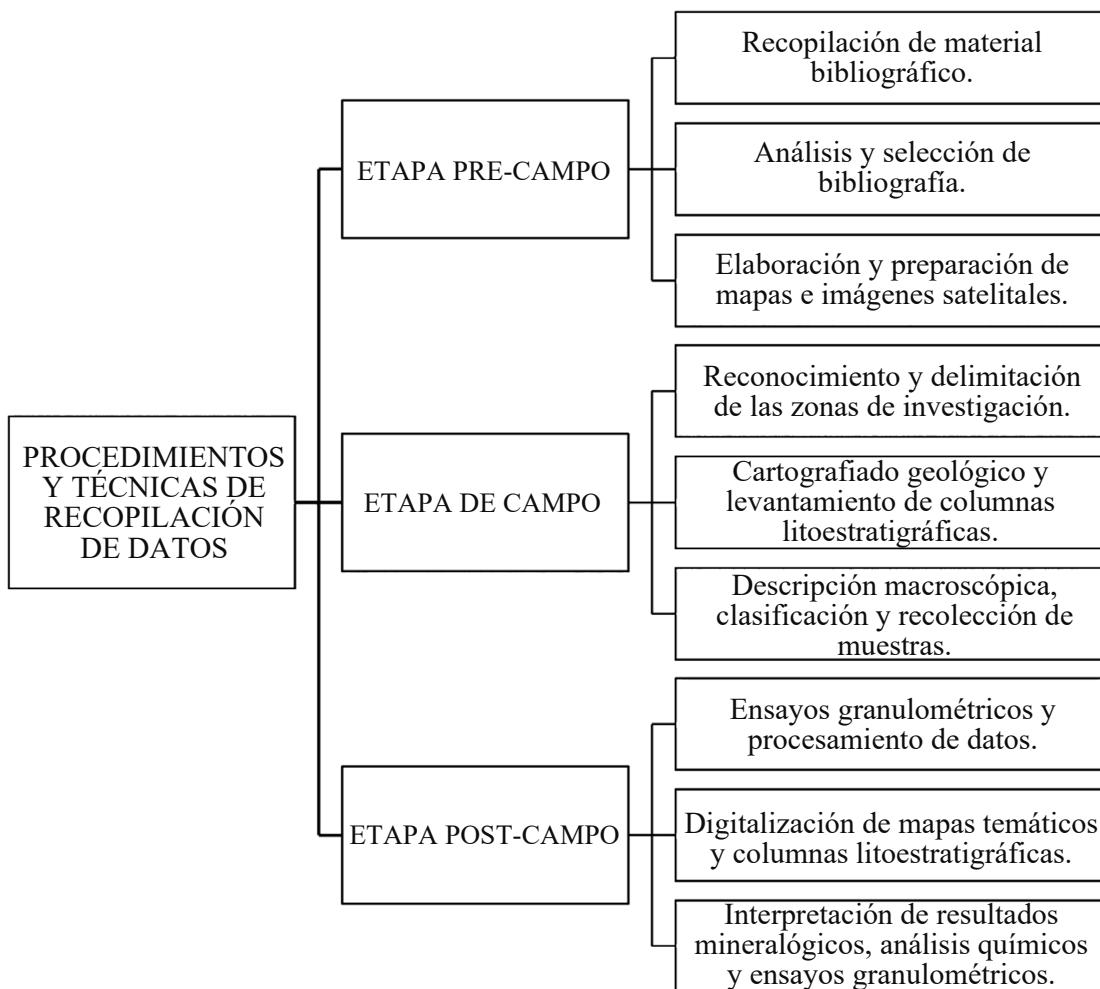


Figura 18: Procedimientos y técnicas de recopilación de datos.

Fuente: Adaptada de Becerra, (2017).

3.2.1. Etapa Pre-Campo

Se llevó a cabo la recopilación, análisis y selección de información bibliográfica de libros, artículos científicos, tesis de grado y postgrado, boletines geológicos, revistas científicas, informes y portales de internet con alta credibilidad y contenido actualizado relacionados

con el tema de investigación. Además, se prepararon mapas geológicos, topográficos, imágenes satelitales y columnas litológicas, que abarquen las zonas de investigación.

3.2.2. Etapa de Campo

En la etapa de campo se realizó el reconocimiento y delimitación de las zonas de investigación (Raúl 1 y Puerto Belén), en cada una de ellas se ejecutó el cartografiado geológico y principalmente el levantamiento de columnas litoestratigráficas a detalle, incluyendo la descripción macroscópica de clastos y minerales, se identificaron y describieron las características, además la estructura general que conforman los depósitos aluviales, así como también se recolectaron, clasificaron y rotularon muestras (clastos, sedimentos y preconcentrados), que serán analizadas y ensayadas.

3.2.3. Etapa Post-Campo

En esta etapa se ejecutaron ensayos granulométricos, también se realizó el procesamiento y análisis de datos recopilados en la etapa pre-campo e información obtenida en la etapa de campo para la elaboración de columnas litoestratigráficas, mapas temáticos, de igual manera la elaboración de tablas dinámicas. En esta etapa también se contempla la redacción de la tesis.

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación fue descriptiva – aplicada, porque implica observar y describir macroscópicamente las características geológicas, mineralógicas y estratigráficas en los depósitos aluviales; según el nivel es explicativa, porque se recolectaron datos de los bancos de explotación y concentrados, datos necesarios para generar las columnas litoestratigráficas detalladas y realizar la interpretación de la génesis y distribución de los yacimientos aluviales; según el diseño es no experimental – transversal, debido a que se analizaron variables que no fueron manipuladas en un espacio de tiempo, indicando su incidencia de interrelación en un momento dado; por último, el método de investigación es inductivo – deductivo (cualitativo – cuantitativo), porque se analizaron los fenómenos observados y en segunda instancia se verificaron en campo los mismos fenómenos.

Tabla 8: Clasificación y tipos de investigación.

Clasificación	Tipo de investigación
Tipo	Descriptiva – aplicada
Nivel	Explicativa
Diseño	No experimental
Método	Inductivo – Deductivo
Periodo	Transversal en el tiempo

Fuente: Adaptada de Supo, (2015).

3.3.1. Población de Estudio

Los depósitos aluviales de los Mineros Artesanales de oro y de Pequeña Escala (MAPE) en el corredor minero de Madre de Dios (dos concesiones mineras con un área total de 300 ha).

3.3.2. Muestra

Litología, mineralogía, estratigrafía y tiempo geológico.

3.3.3. Unidad de Análisis

El depósito aluvial aurífero (Puerto Belén y Raúl), y sus principales características geológicas, mineralógicas y estratigráficas.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

En la presente investigación se identificaron dos tipos de variables, variables que están detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 9: Variables independientes y dependientes.

Variable independiente	Variable dependiente
Litología	
Mineralogía	
Estratigrafía	Caracterización geológica
Tiempo geológico	

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas

Las técnicas para la recolección de datos fueron la observación directa; de acuerdo al criterio geológico, se realizó la descripción macroscópica litológica y mineralógica, incluida en el levantamiento de información a través del cartografiado geológico en bancos de explotación y cortes geológicos; se llevó a cabo la toma de muestras (muestreo selectivo y en canales), además del muestreo sistemático de los preconcentrados de arenas aluviales auríferas (muestreo por incrementos y cuarteo); se recolectó material fotográfico, el cual ayudará a sustentar la etapa de campo; además de la supervisión continua y aseguramiento de la calidad de datos recopilados.

3.5.2. Instrumentos y Equipos

- Instrumentos**

Mapas, cartas geológicas y modelo digital de elevaciones: Materiales necesarios e indispensables para ubicar y delimitar las zonas de investigación, además de servir como factual para el cartografiado local.

Guías para clasificación de rocas y minerales: Información que se sintetiza en abreviaturas, simbologías y colores, importante para realizar un correcto cartografiado y levantamiento de columnas litológicas.

Guías para descripción de suelos: Compendio de las clasificaciones de suelos, granulometrías, porcentajes, información que ayudará para el correcto levantamiento de columnas litoestratigráficas.

Formatos para elaboración de columnas litoestratigráficas: Los cuales sirven como borrador en campo, la información plasmada en estos, será digitalizada más adelante.

Libreta geológica de campo N°540F: Utilizada para realizar anotaciones, por ejemplo, coordenadas, gráficos y cualquier otra información que se considere importante.

Tablero de madera: Plataforma que brinda soporte a los mapas, guías y diferentes formatos.

Lapiceros, lápices, marcadores y colores: Utilizados para anotaciones, gráficos, cartografiado, levantamiento de columnas litoestratigráficas y rotulado de muestras.

- **Equipos**

Picota Estwing mango corto: Para la extracción de muestras de suelos y rocas.

Comba y cincel: Usados conjuntamente para extraer muestras de clastos de roca.

Puruña (batea): Utilizada para clasificar partículas de oro con ayuda de agua, a través del movimiento centrípeto, la gravedad y densidad de los minerales.

Lupa de aumento Iwamoto (10x y 20x): Para identificar los componentes presentes en una muestra de suelo aluvial, para estimar el tamaño de grano, reconocer minerales distribuidos alrededor de los clastos.

Lápiz de dureza e imán: Para estimar la dureza de la roca o mineral, de acuerdo a la escala de Mohs, además el imán sirve para identificar minerales magnéticos.

Protactor: Utilizado para realizar mediciones en los mapas, plasmar coordenadas, medir rumbos u orientaciones.

Piceta: Para abastecer con agua, a aquellas muestras de suelos o rocas que lo necesiten, para identificar arcillas, limos o micas, así como para lavar y clasificar partículas de oro.

Flexómetro: Para tomar medidas de los bancos de explotación y espesores de los horizontes o estratos.

Tamices ASTM: Empleados de acuerdo a la apertura (número de tamiz), para la clasificación y estimación de la distribución granulométrica (malla valorada).

Estufa o soplete: Para el secado o eliminación de contenido de agua de las muestras que lo requieran.

Cuartereador tipo Jones: Empleado para la correcta toma de muestras.

Lonas: Utilizadas para depositar sobre ellas suelos aluviales, realizar muestreo por incrementos y para realizar roleos.

Balanza: Empleada para obtener las masas exactas de las muestras y de cualquier otro producto que requiera ser medido.

Cruceta: Para realizar cuarteos, en el proceso de muestreo.

Espátula: Utilizada en el proceso de toma de muestras, para el trasvase de sedimentos.

Brochas: Empleadas en el proceso de toma de muestras, para limpiar con precisión las partículas de sedimentos.

Bolsas para muestreo: Utilizadas para depositar las múltiples muestras, y ser transportadas hasta laboratorio.

Sistema de posicionamiento global (GPS Map64x Garmin): Utilizado principalmente para obtención de coordenadas UTM de los puntos de muestreo, bancos de exploración, estaciones de levantamiento de columnas litoestratigráficas e identificación de trayectos.

Cámara Pro 12MP de gama alta: Para registro fotográfico y toma de evidencias de actividades de campo y laboratorio.

EPP: Para proteger las diferentes partes del cuerpo y evitar que el investigador presente alguna lesión durante sus actividades.

Adicionalmente, se utilizaron materiales de escritorio (laptop, impresora, papel bond, pizarra), softwares (Microsoft Office 2016, ArcGis 10.8, Global Mapper 23.1, SASPlanet,

Adobe Illustrator 2021, AutoCAD 2022, Google Earth Pro) y equipos de campamento (carpas, bolsas de dormir, linternas, baterías).

3.6. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Las etapas de análisis e interpretación de datos, fueron realizadas en gabinete, procesando la información obtenida y documentada en campo, a través de la observación directa y muestreos, información que será de suma importancia para la redacción de conclusiones sólidas y confiables. En campo, se inició con las descripciones macroscópicas de las muestras seleccionadas en cada estación o banco de explotación y levantamiento de columnas litoestratigráficas, lo cual es complementado con los resultados de análisis gravimétricos, oro por ensayo al fuego (AuFFAA y Newmont), Fluorescencia de Rayos X (XRF), Difracción de Rayos X (XRD), Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), Microscopía Óptica de Luz Reflejada (RLOM), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Análisis granulométrico (GSAv). Además, se utilizaron diversos tipos de software para complementar el análisis e interpretación, por ejemplo, Microsoft Excel, ArcGis, Global Mapper, SASPlanet, Google Earth, Adobe Illustrator, cada uno de ellos permite representar y proyectar de manera detallada y concisa la información geológica obtenida, facilitando la interpretación y logrando la presentación efectiva de resultados.

3.7. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.7.1. Geomorfología

Los movimientos y procesos tectónicos que originaron el levantamiento de la Cordillera de los Andes, junto con los procesos erosivos causados por las lluvias, los glaciares y los vientos, han modelado la fisiografía actual de la cuenca hidrográfica del río Madre de Dios (Ledesma, 2021). Las zonas de estudio están ubicadas dentro de los cuadrángulos de Masuco (27-V) y Puerto Luz (26-U). A nivel regional, se identifican tres grandes unidades geomorfológicas o unidades morfoestructurales (unidades geomorfológicas de primer orden), con características bien definidas: la Cordillera Oriental, la Faja Subandina y la Llanura Amazónica de Madre de Dios, cada una de ellas se describe a continuación (ver Mapa N° 05: Mapa Morfoestructural).

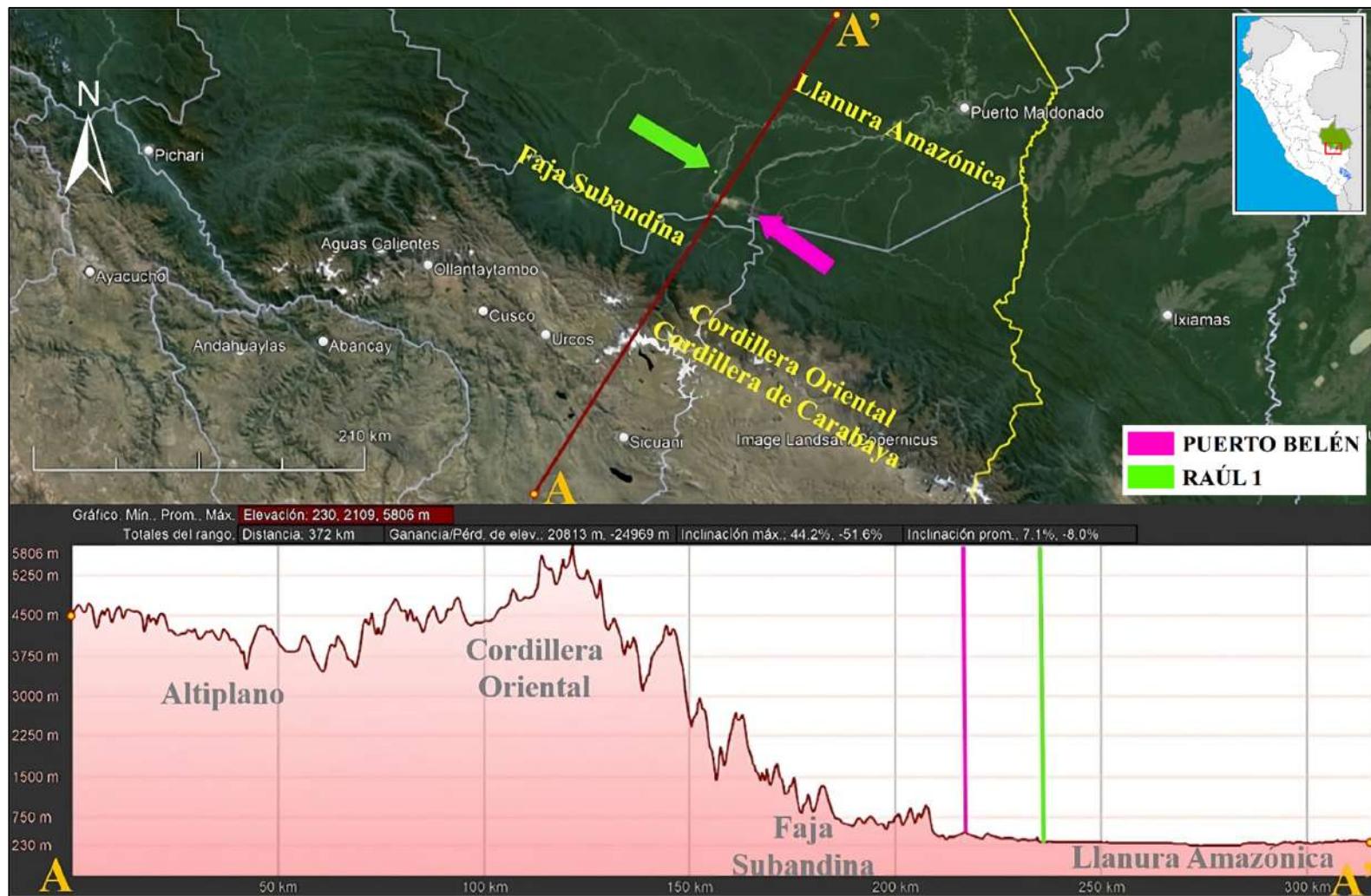


Figura 19: Perfil de elevación, identificación de las unidades morfoestructurales y distribución espacial de las áreas de estudio.

Fuente: Google Earth, Ingemmet, (2024).

3.7.1.1. Unidades Geomorfológicas de Primer Orden

- La Cordillera Oriental

Constituye la unidad más importante por su abrupta topografía y gran extensión. Los ríos principales presentes en las zonas de estudio, tienen sus nacientes en las elevadas cumbres, en el flanco este de la cordillera, son drenajes con caudal torrentoso, que genera fuerte erosión del terreno (cañones). La Cordillera Oriental comprende elevaciones que oscilan entre 1000 y 4000 msnm., con pendiente mayor a 70 %, con dirección hacia la Llanura Amazónica (Palacios et al., 1996).



Fotografía 3: Vista del flanco este de la Cordillera Oriental (Cordillera de Carabaya) y de la Faja Subandina, fotografía tomada desde Raúl 1, dentro de la Llanura Amazónica de Madre de Dios.

- La Faja Subandina

También recibe el nombre de Precordillera, se ubica entre la Cordillera Oriental y la Llanura Amazónica, formando una estrecha cadena de cerros y colinas, cuyas elevaciones van de 400 a 1000 msnm. (León et al., 2000), en las partes bajas se acumulan materiales fluviales que aún presentan dimensiones considerables (30 cm de diámetro) conservando angulosidad, formando abanicos y terrazas mal seleccionados, luego, estos materiales son transportados por acción de las lluvias y remoción de los ríos teniendo como próximo destino la llanura del río Madre de Dios. El basamento de la Faja Subandina está conformado por rocas mesozoicas cubiertas por depósitos cuaternarios (aluvial y coluvial) (Palacios et al., 1996).

- La Llanura Amazónica de Madre de Dios

Compuesta por vastos depósitos de sedimentos fluviales del Neógeno y Cuaternario, depósitos que cubren a las rocas de edades más antiguas. Los ríos principales que están distribuidos en la llanura son: Colorado, Caychihue, Inambari, Malinowski, Tambopata y Madre de Dios. Todos estos ríos, durante su recorrido forman en ambos márgenes terrazas y playas (point bar), así como áreas inundables, aguajales y cochas, estas últimas se desarrollan cuando el río tiende a enderezar su cauce. En la Llanura Amazónica de Madre de Dios, los depósitos aluviales auríferos, conocidos como placeres, están muy bien distribuidos, conformando aproximadamente el 20 % del área superficial de toda la llanura (Palacios et al., 1996). La Llanura se caracteriza por estar compuesta por sedimentos aluviales cuaternarios, que cubren a las capas rojas suavemente plegadas y falladas (bloques compresivos) (León et al., 2000).



Fotografía 4: Vista panorámica de la Llanura Amazónica de Madre de Dios, observada desde la Cordillera Oriental, donde se identificaron los depósitos aluviales auríferos analizados en el presente estudio.

Fuente: Google Earth Studio, 2024.

Además de las unidades morfoestructurales o unidades geomorfológicas de extensión regional, se han identificado unidades morfogenéticas locales de gran importancia, en estas geoformas es donde se concentran y distribuyen las gravas y arenas auríferas.

3.7.1.2. Unidades Morfogenéticas

Para la descripción de estas unidades, se utiliza la clasificación propuesta por Tapia-Varela & López-Blanco, (2001), modificada por Rodríguez, (2016); determinándose, planicies, lomadas, laderas y escarpes (ver Tabla 10), además se incluyen las geoformas antropogénicas de manera general.

Tabla 10: Clasificación de las unidades morfogenéticas.

Tipo de relieve	Pendiente (°)	Extensión (%)	
		Puerto Belén	Raúl 1
Planicie	0 - 8	31.96	77.33
Lomada	8 - 20	19.69	10.72
Ladera	20 - 50	26.42	2.48
Escarpe	50 - 90	4.75	0
Antropogénica	0 - 90	17.18	9.47

Fuente: Modificada de Rodríguez, (2016).

- Planicies

En Puerto Belén equivale al 31.96 % (Subandino), mientras que en Raúl 1 alcanza el 77.33 % (Llanura Amazónica), superficie homogénea, cuya pendiente oscila ligeramente entre los 0 y 8°, áreas cubiertas por abundante vegetación. Litológicamente están constituidas por depósitos aluviales dispuestos en capas de sedimentación bien seleccionadas.



Fotografía 5: Planicie ubicada en Raúl 1, su génesis se asocia a ambientes de baja energía, se observa una superficie amplia y casi horizontal, cubierta por abundantes árboles y arbustos.

- Lomadas

En Puerto Belén representa el 19.69 % (Subandino), mientras que en Raúl 1 equivale al 10.72 % (Llanura Amazónica), superficie con pendiente suave que oscila ligeramente entre los 8 y 20°, áreas cubiertas por abundante vegetación. Litológicamente están constituidas por depósitos aluviales dispuestos en capas de sedimentación moderadamente seleccionadas.



Fotografía 6: Lomadas ubicadas al margen izquierdo del río Inambari (aguas abajo), cercanas a Puerto Belén, cuyas pendientes varían entre 8° y 20°.

- Laderas

En Puerto Belén asciende al 26.42 % (Subandino), mientras que en Raúl 1, representa el 2.48 % (Llanura Amazónica), superficie con pendiente moderadamente inclinada, que oscila entre los 20 y 50°, áreas cubiertas por abundante vegetación. Litológicamente están constituidas por depósitos aluviales dispuestos en capas de sedimentación moderadamente a mal seleccionadas.



Fotografía 7: Taludes considerablemente inclinados, están propensos a la erosión, sobre todo aquellos que no tienen cobertura vegetal.

- Escarpes

En Puerto Belén representa el 4.75 %, mientras que en Raúl 1 es nulo (0%), las escasas zonas identificadas presentan pendientes muy accidentadas, son propensas a la erosión y deslizamientos, oscila entre los 50 y 90°, áreas con escasa vegetación. Litológicamente están constituidas por depósitos aluviales mal a muy mal seleccionados.



Fotografía 8: Se observa la pendiente abrupta que supera los 50° de inclinación, ubicado al margen izquierdo del río Inambari (aguas abajo).

- Geoformas antropogénicas

En Puerto Belén el 17.18 % representa las áreas que han sido modificadas, creadas o influenciadas directamente por la actividad humana, como son las pozas mineras, tajos o cráteres de extracción, pilas o montículos estériles, también conocidas como relaves secos o cachimbas, embalses o pozas; mientras que en Raúl 1, el 9.47 % corresponde a geoformas antropogénicas.



Fotografía 9: En esta fotografía se identifican plataformas horizontales (a), montículos estériles (b) y embalses (c), áreas que han sido modificadas por la actividad minera y ahora forman parte de las geoformas antropogénicas.

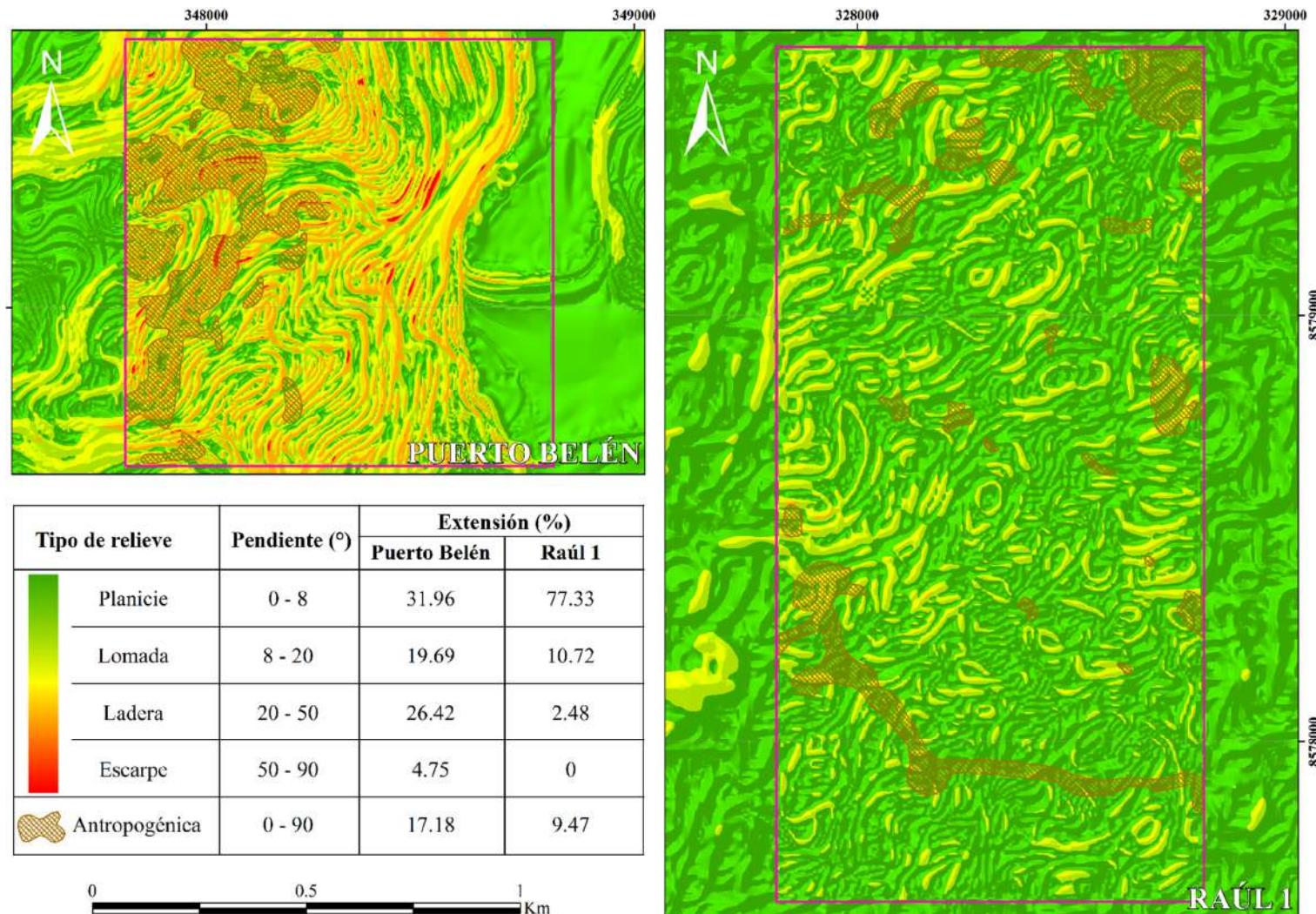


Figura 20: Clasificación (pendiente – tipo de relieve) y distribución de las unidades morfogenéticas y geoformas antropogénicas.

Fuente: Ingemmet, (2025); modificada de Rodríguez, (2016).

3.7.2. Estratigrafía

Las zonas de estudio están situadas al noreste del flanco oriental de la Cordillera Oriental (Cordillera de Carabaya), en la Faja Subandina (Puerto Belén), y en la Llanura Amazónica de Madre de Dios (Raúl 1), estos depósitos aluviales auríferos están influenciados por las unidades litoestratigráficas distribuidas en los departamentos de Madre de Dios, parte noreste de Cusco y noroeste de Puno. En toda esta área, la geología comprende desde la era Paleozoica hasta la era Cenozoica (Paleógeno, Neógeno y Cuaternario). La estratigrafía generalizada es descrita por Palacios et al., (1996) en la Figura 21.

- Era Paleozoica

Complejo Iscaybamba (Cámbrico), compuesto por rocas metamórficas, como anfibolitas, gnéis, metavolcánicas (andesitas), grauwacas (esquistos arenosos) e intrusivos (granodiorita); Formación San José y Formación Sandia (Ordovícico), formadas por rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas), esquistos, pizarras y cuarcitas; Formación San Gabán (Silúrico), constituida por turbidíticas glaciomarinas (arenisca brechoide, granito, cuarcita, cuarzo); Formación Ananea (Silúrico-Devónico), constituida por pizarras e intercalación entre areniscas cuarzosas, arcillolitas y limolitas.

- Era Mesozoica

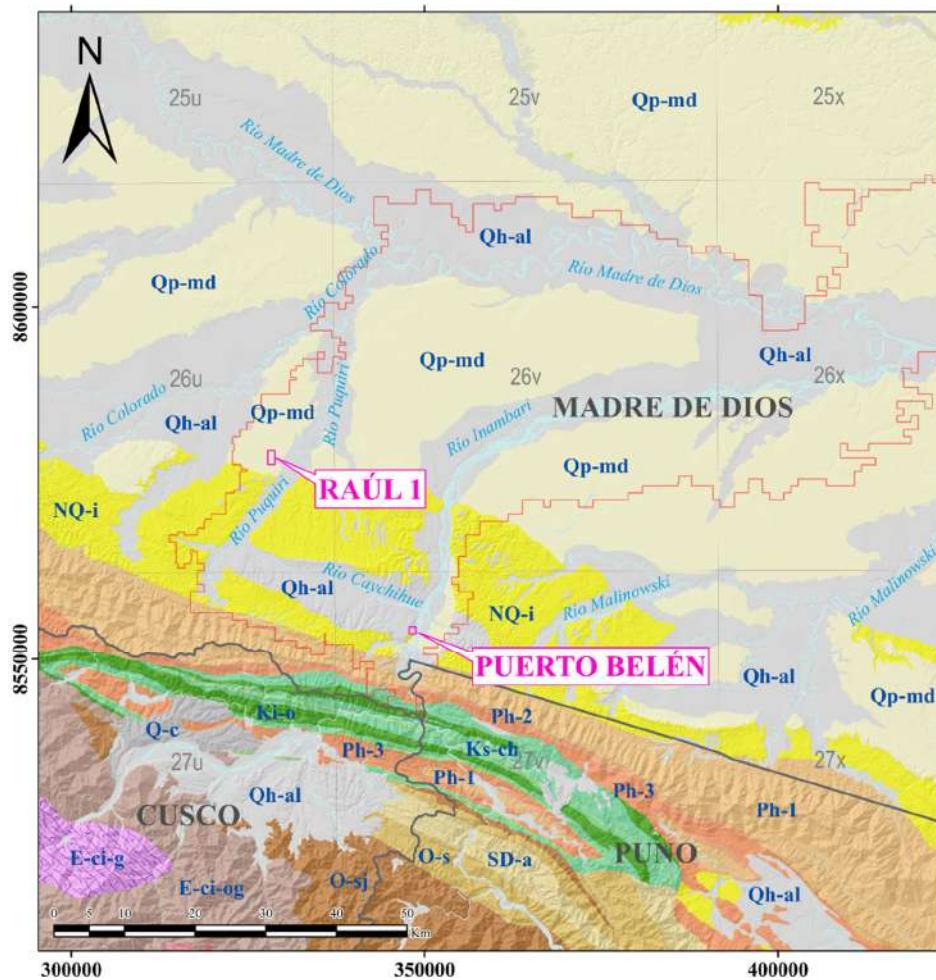
Grupo Oriente, secuencias epicontinentales a marinas, intercalación de areniscas cuarzosas y arcillolitas; Formación Chonta, intercalaciones de limolitas, calizas, arcillolitas, margas y areniscas cuarzosas; Formación Vivian, secuencia de areniscas cuarzosas con escasos niveles de limolitas y arcillolitas.

- Era Cenozoica

Grupo Huayabamba (Paleógeno), secuencia de capas rojas de origen continental (ambientes fluviales y lacustres), conformada por arcillolitas, limolitas y areniscas; Formación Ipururo (Neógeno), rocas clásicas, intercalaciones de arcillolitas, areniscas y limonitas rojizas y grises; Formación Madre de Dios (Cuaternario), compuesta por conglomerados, gravas,

arenas, limos y arcillas; Cancao-Masuko (Cuaternario), conglomerados, cantes y bloques con matriz gravosa, arenosa y limosa (depósitos de pie de monte); Depósitos aluviales (Cuaternario), constituidos por gravas con clastos subredondeados, arenas, arcillas y limos.

Figura 21: Columna estratigráfica generalizada de los cuadrángulos de Puerto Luz (Raúl 1, 26-U), Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco (Puerto Belén, 27-V), Astillero y Tambopata (modificada de Palacios et al., 1996).



LEYENDA			
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA
Cenozoica	Cuaternario	Holocena	Qh-al Depósito aluvial
		Pleistocena	Qp-md Formación Madre de Dios
	Neógeno		Q-c Formación Cancao
		Pliocena	NQ-i Formación Ipururo
	Paleógeno		Ph-3 Huayabamba 3
			Ph-2 Huayabamba 2
			Ph-1 Huayabamba 1
Mesozoica	Cretácico	Superior	Ks-ch Formación Chonta
		Inferior	Ki-o Grupo Oriente
	Devónico		SD-a Formación Ananea
			O-s Formación Sandía
	Silúrico		O-sj Formación San José
	Ordovícico		E-ci-og Complejo Iscaybamba - Ortogneis
			E-ci-g Complejo Iscaybamba - Gneis
Paleozóica	Cámbrico		

Figura 22: Geología regional, las zonas de estudio están dentro de los cuadrángulos de Puerto Luz: 26-U (Raúl 1) y Masuco: 27-V (Puerto Belén).

Fuente: Ingemmet, (2024); Ledesma, (2021).

3.7.3. Geología y Mineralogía

a) Mineralogía

La composición mineralógica de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1 está controlada por la mineralogía de los cuerpos rocosos por donde discurren los ríos. En Puerto Belén y Raúl 1, se espera encontrar los minerales que están constituyendo la Cordillera Oriental (Cordillera de Carabaya) y minerales presentes en la Faja Subandina.

Según Ledesma (2021), el oro que está distribuido en los depósitos aluviales en la Llanura Amazónica, tiene como fuente primaria a la Cordillera Oriental, mineral que se encuentra distribuido en vetas de cuarzo en las anfibolitas del Complejo de Iscaybamba (Quincemil), desde donde es removido y transportado a través de los ríos Marcapata, Inambari, Malinowsky y Colorado hasta desembocar en el río Madre de Dios.

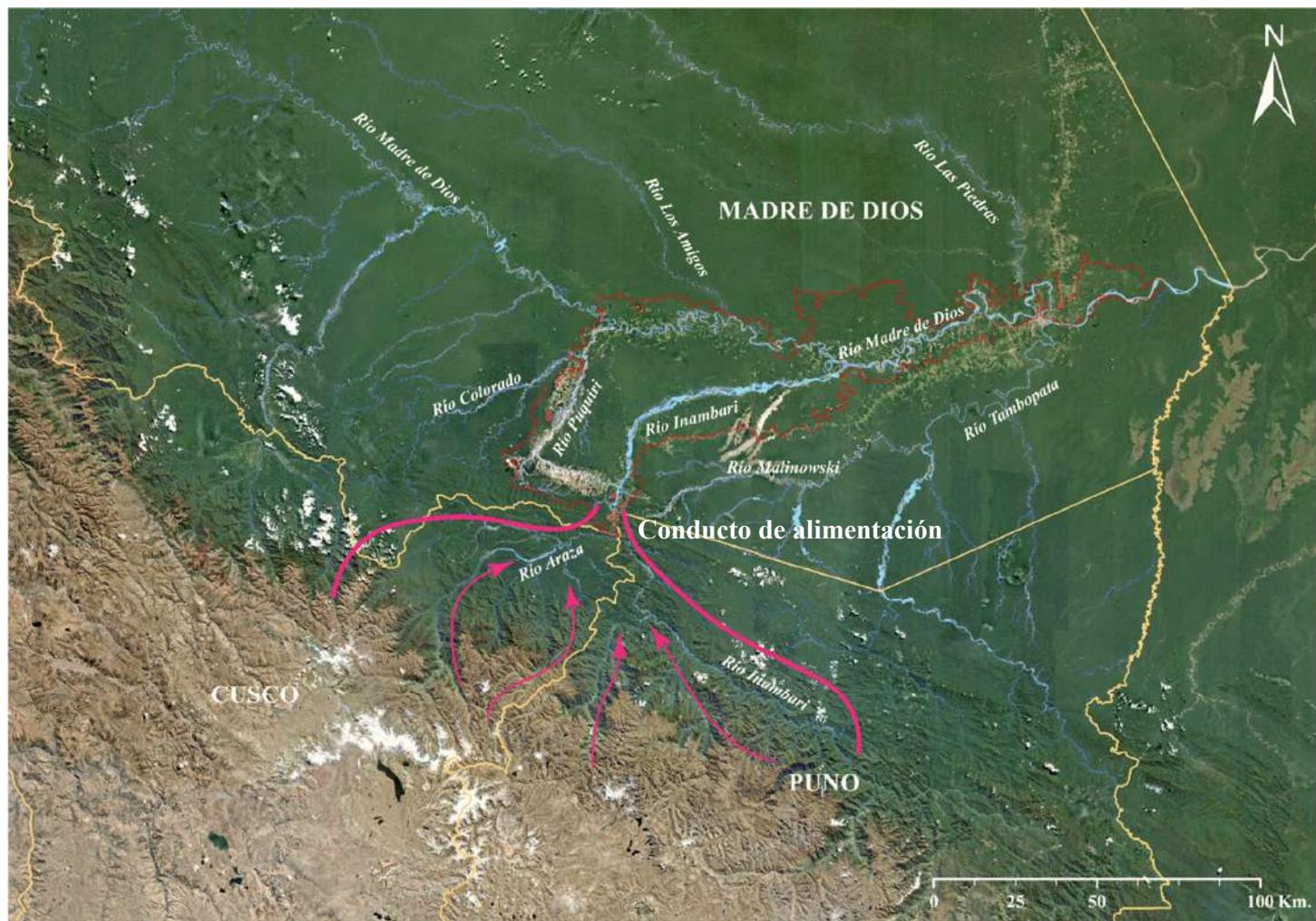
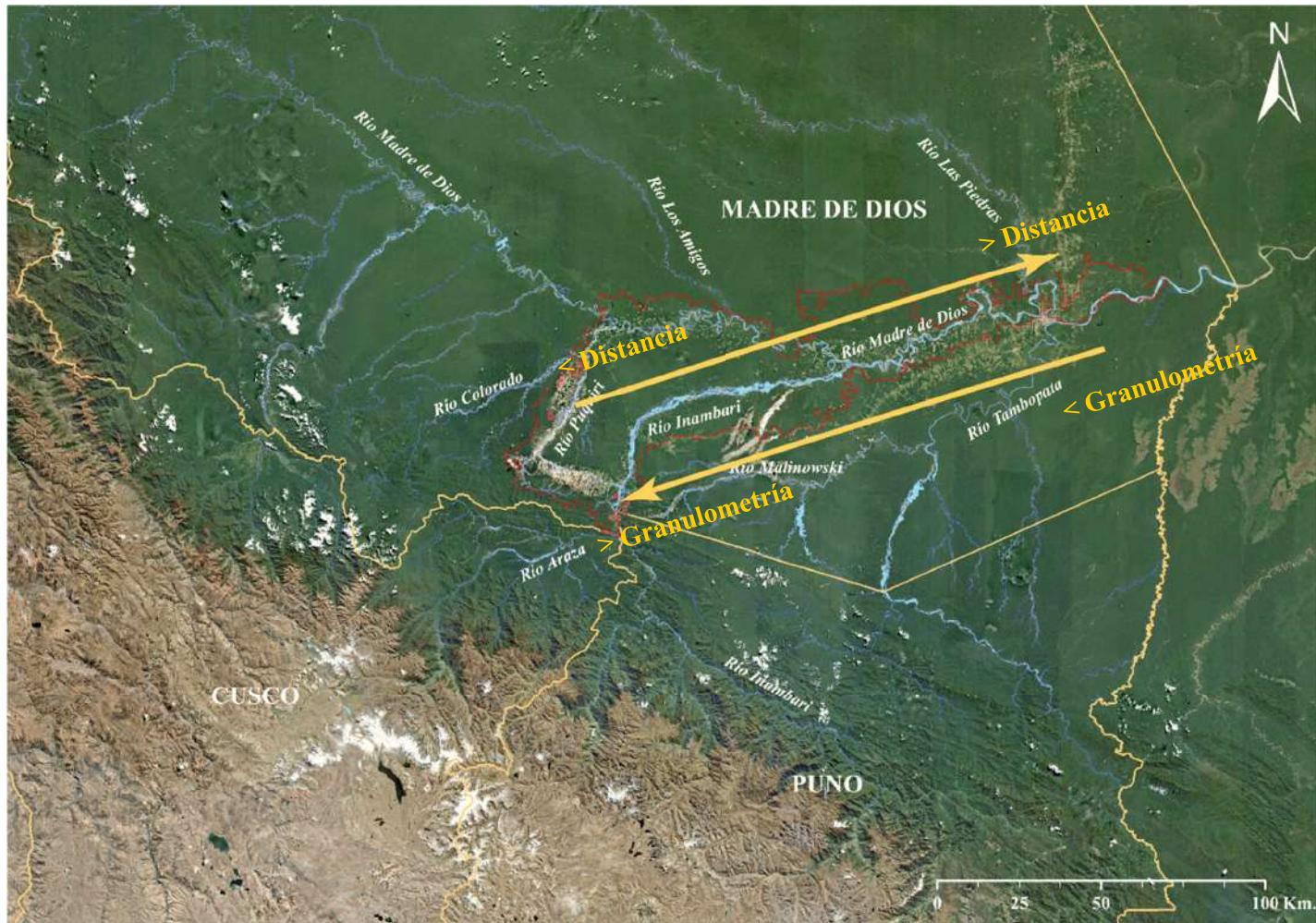


Figura 23: Principales zonas de aporte de mineral (Cordillera Oriental), conducto de alimentación (flechas y líneas rosa) y distribución (Llanura Amazónica). La dirección de alimentación es influenciada por la orientación de los ríos tributarios.

Fuente: Modificada de Loaiza & Calderón, (2021).



Fuente: Modificada de Loaiza & Calderón, (2021).

b) Geología local

Se describen las unidades litoestratigráficas que influencian directamente a las zonas de estudio, verificándose las características geológicas descritas en los boletines e informes técnicos publicados por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico y complementando con la información recogida en campo.

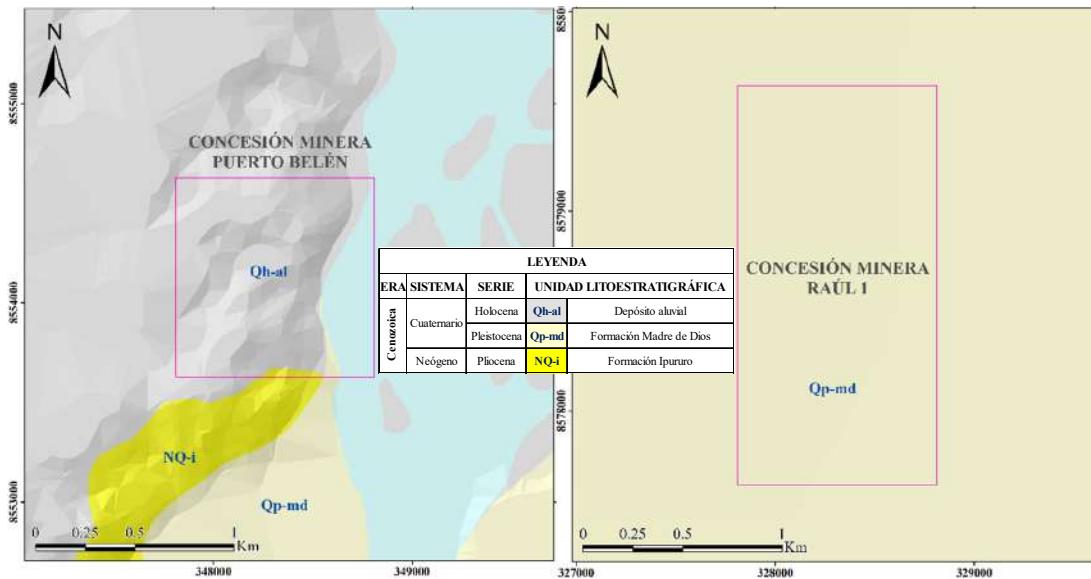


Figura 25: Unidades litoestratigráficas locales.

Fuente: Ingemmet, (2024); Ledesma, (2021).

- Formación Ipururo (NQ-i)

Conformado por intercalaciones de areniscas feldespáticas gris claras a marrones (grano medio a grueso), conglomerados pilimícticos con clastos de rocas sedimentarias, metamórficas e intrusivas y arcillolitas grises. En algunas áreas, como en la Quebrada Quimiri, afloran intercalaciones de limolita arcillosa marrón a rojiza, escasos guijarros de rocas metamórficas, además de restos vegetales. Se extiende a lo largo de una ancha faja con orientación noroeste a sureste, paralelo a la Faja Subandina. Los afloramientos son cortados por los ríos Inambari, Puquiri y Colorado. En Puerto Belén hay afloramientos cercanos en la parte suroeste (Qda. Quimiri), mientras que en Raúl 1 afloran al sur (Qda. Barranco Chico).



Fotografía 10: Formación Ipururo, intercalaciones de arcillolitas calcáreas, areniscas limosas y limonitas grises a rojizas, ubicada al suroeste de Puerto Belén, localidad de Quimiri.

- Formación Madre de Dios (Qp-md)

Suprayace a las capas rojas de la Formación Ipururo (arcillolitas, areniscas y conglomerados) e infrayace a los Depósitos aluviales. En Puerto Belén se observan limos y arcillas con arenas bien clasificadas de grano medio a fino y gravas ocre rojizas con matriz arcillosa, mismas que se pueden identificar al margen derecho de río Inambari, en Mazuko, localidad que se encuentra emplazada sobre esta unidad. En Raúl 1, en la base presenta conglomerados con clastos blandos e intercalaciones de arenas y arcillas gris amarillenta, mientras que, en la parte superior, hay presencia de areniscas masivas y arcillas rojas.



Fotografía 11: La Formación Madre de Dios (miembro inferior), compuesta por gravas y una matriz arenosa con limos y arcillas, con manchas rojizas por la oxidación (principalmente hematita y goetita), banco de aproximadamente 7 metros de altura, ubicado al margen izquierdo del río Puquiri (aguas abajo).

- Depósitos Aluviales (Qh-a)

Ambas zonas de estudio (Puerto Belén y Raúl 1) están emplazadas en esta unidad, compuesta por gravas, arcillas, limos, arcillas y conglomerados polimícticos con clastos imbricados, clastos subredondeados de rocas sedimentarias, metamórficas e intrusivas, unidos por una matriz limoarenosa, se observan restos de vegetales (madera). En Puerto Belén la deposición fue desordenada y mal seleccionada, mientras que en Raúl 1, existe homogeneidad y diferenciación entre los horizontes de sedimentación.



Fotografía 12: Depósito aluvial formado por gravas mal seleccionadas en matriz de arenas, limos y arcillas, bando de aproximadamente 5 metros de altura, ubicado al margen izquierdo del río Inambari (aguas abajo).

3.7.4. Hidrografía e hidrogeología

La hidrografía presenta cierta complejidad por la numerosa presencia de sistemas de drenajes, los cuales aportan aguas al río Madre de Dios, que es el principal colector de la región, siendo sus principales tributarios por el margen derecho, los ríos Colorado, Inambari y Tambopata, mientras que, por el margen derecho, los ríos Los Amigos y Las Piedras. Los ríos provenientes de la Cordillera de Carabaya, presentan cursos abruptos y fuertes caídas (zona Alto Inambari), a diferencia de los ríos de la Llanura Amazónica, que presentan caudal abundante y corriente lenta, generando ríos de cursos meándricos (Madre de Dios y Tambopata) y anastomosados (Inambari y Colorado) (Ledesma, 2021).

Las Unidades Hidrográficas siguientes, Intercuenca Alta Madre de Dios, Cuenca Inambari (siendo estas dos las principales dentro de la investigación), además de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, Cuenca de Las Piedras, Intercuenca Medio Madre de Dios, Cuenca Tambopata e Intercuenca Medio Bajo Madre de Dios, están incluidas dentro de la Región Hidrográfica del Amazonas (ver Mapa N° 06: Mapa de unidades hidrográficas).

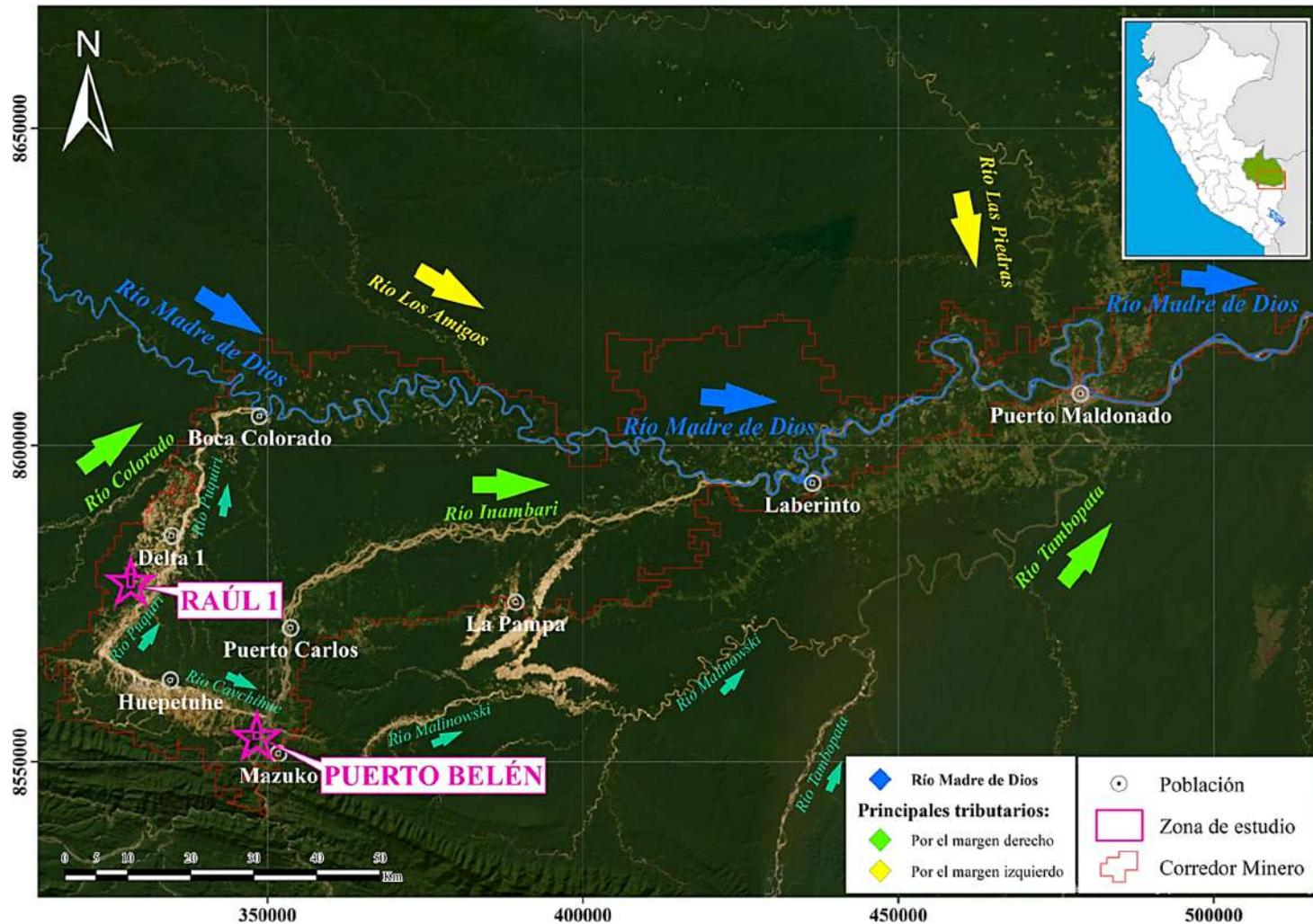


Figura 26: Los principales afluentes del río Madre de Dios son el Colorado, Inambari, Tambopata, Los Amigos y Las Piedras.

Fuente: Ingemmet, Esri, Maxar, Earthstar Geographics, (2024).

En la Llanura Amazónica, la cuenca presenta extensos acuíferos caracterizados por una alta permeabilidad, en la parte media, los acuíferos presentan permeabilidad moderada, mientras que en las partes altas de las cuencas Tambopata e Inambari, encontramos acuíferos locales formados en zonas fracturadas en formaciones rocosas consolidadas, que poseen permeabilidad baja a muy baja. Asimismo, en las partes altas de la Cuenca Inambari (Quispicanchi) y en la parte superior de la Intercuenca Alto Madre de Dios (Paucartambo), la muy baja permeabilidad impide la existencia de acuíferos.

Las zonas en investigación (Puerto Belén y Raúl 1), según la clasificación hidrogeológica del Ingemmet, (2024), están ubicadas dentro de un Acuífero Poroso No Consolidado de Alta Permeabilidad (ver anexos: Mapa 07), lo que significa que está formado por gravas y arenas sueltas, por lo que presenta alta porosidad y conectividad entre poros, lo cual produce elevada permeabilidad y permite el rápido flujo de agua, este acuífero también tiene gran capacidad para retener agua, y la recarga y descarga es rápida y eficiente.

Es importante conocer que las reservas potenciales aprovechables en la Llanura Amazónica, según la Autoridad Nacional del Agua, (2011), son de aproximadamente 511.5 MMC por año, equivalente a un caudal medio anual de 16.22 m³/s.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se analiza, interpreta y describe la información recolectada en campo (estaciones litoestratigráficas), cuya información fue integrada para obtener la caracterización geológica local; así como también los datos de gravimetría, geoquímica, microscopía y granulometría, mediante los cuales se realizó la caracterización mineralógica de los depósitos aluviales auríferos.

4.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA LOCAL

4.1.1. Depósitos Aluviales

Depósitos que pertenecen al Cuaternario (Cohen et al., 2023), en ambas zonas de investigación (Puerto Belén y Raúl 1), están compuestos por acumulaciones de gravas (bloques, cantos y guijarros), arenas, limos y arcillas, en conjunto con otros minerales distribuidos en diferentes proporciones. El perfil generalizado de estos depósitos sigue un orden vertical que va desde la sobrecarga, hasta las diferentes intercalaciones de horizontes o secuencias de arenas, gravas, arcillas, limos y arenas negras (distribuidas en todos los niveles).

- Sobrecregada

Viene a ser la primera capa que cubre toda la Llanura Amazónica, gran parte de este material corresponde a la cobertura vegetal o materia orgánica. La sobrecregada varía desde los 0.5 metros (Puerto Belén) hasta los 4 metros de espesor (Raúl 1), datos registrados en toda el área de investigación. El espesor de la cobertura vegetal, viene a ser un factor importante en la explotación, debido a que esta capa es mayormente estéril (ley de oro nula), por lo que es retirada por completo antes de iniciar con el arranque y carguío de material aurífero.



Fotografía 13: Capa superior de sobrecarga o material estéril, compuesto por limos y arcillas, espesor aproximado de 2.5 metros, en contacto directo con una unidad sedimentaria gravo-arenosa subyacente. El perfil litoestratigráfico corresponde a un banco ubicado al margen derecho del río Colorado (aguas abajo).

- Gravas

Compuestos por clastos de roca redondeados a sub redondeados distribuidos en cada uno de los horizontes de acuerdo a las características de deposición que sufrieron. El tamaño de los clastos varía dependiendo de la distancia de transporte que sufrieron desde la Cordillera Oriental (Palacios et al., 1996), y de las propiedades físico químicas (composición), mientras que, en Puerto Belén, los clastos están desordenados y mal seleccionados, además de encontrarse mayor porcentaje de bloques (>256 mm), en Raúl 1, los clastos se encuentran de bien seleccionados a moderadamente seleccionados y ordenados en horizontes, donde el mayor porcentaje está representado por cantes (64 – 256 mm) y guijarros (4 – 64 mm), lo que refleja que sufrieron mayor transporte en comparación con las gravas registradas en Puerto Belén.



Fotografía 14: Distribución de gravas polimíticas subredondeadas a redondeadas, moderadamente seleccionadas y semiconsolidadas, con páginas de óxidos en sus superficies, dentro de una matriz compuesta por arenas y arcillas, observada en un perfil litoestratigráfico en Raúl 1.

- Arenas

Las arenas se encuentran como componente principal de la matriz de los depósitos aluviales en ambas zonas de investigación. En los bancos o cortes de explotación, sobre todo en Raúl 1, es posible distinguir capas bien definidas de arena que llegan hasta el metro de espesor entre los horizontes gravosos y arcillosos, mientras que, en Puerto Belén, se encuentran distribuidas y desordenadas en todo el corte o perfil, rodeando a las gravas.



Fotografía 15: Distribución de partículas de arenas que rodean a las gravas polimícticas altamente alteradas, siendo la arena el componente dominante de la matriz (matriz arenosa), observada en el corte litoestratigráfico correspondiente a Puerto Belén.

- Limos

Distribuidos en todos los cortes registrados, formando parte de la matriz, rodeando a los clastos o en pequeños horizontes, mientras que en Raúl 1 las concentraciones de limos, en promedio es 13.5 %, en Puerto Belén las concentraciones de limos son mayores, en promedio 26.5 %. Una vez que las gravas son lavadas y clasificadas, los limos son los que con mayor facilidad y rapidez son arrastrados por el agua, debido a su baja densidad.



Fotografía 16: Registro del proceso de monitoreo de sedimentos limosos acumulados en las pozas de sedimentación (Raúl 1), debido a su baja densidad y tamaño de partícula fina, estos materiales son fácilmente transportados por el agua en forma de sólidos suspendidos, siendo finalmente depositados por decantación en la superficie.

- Arcillas

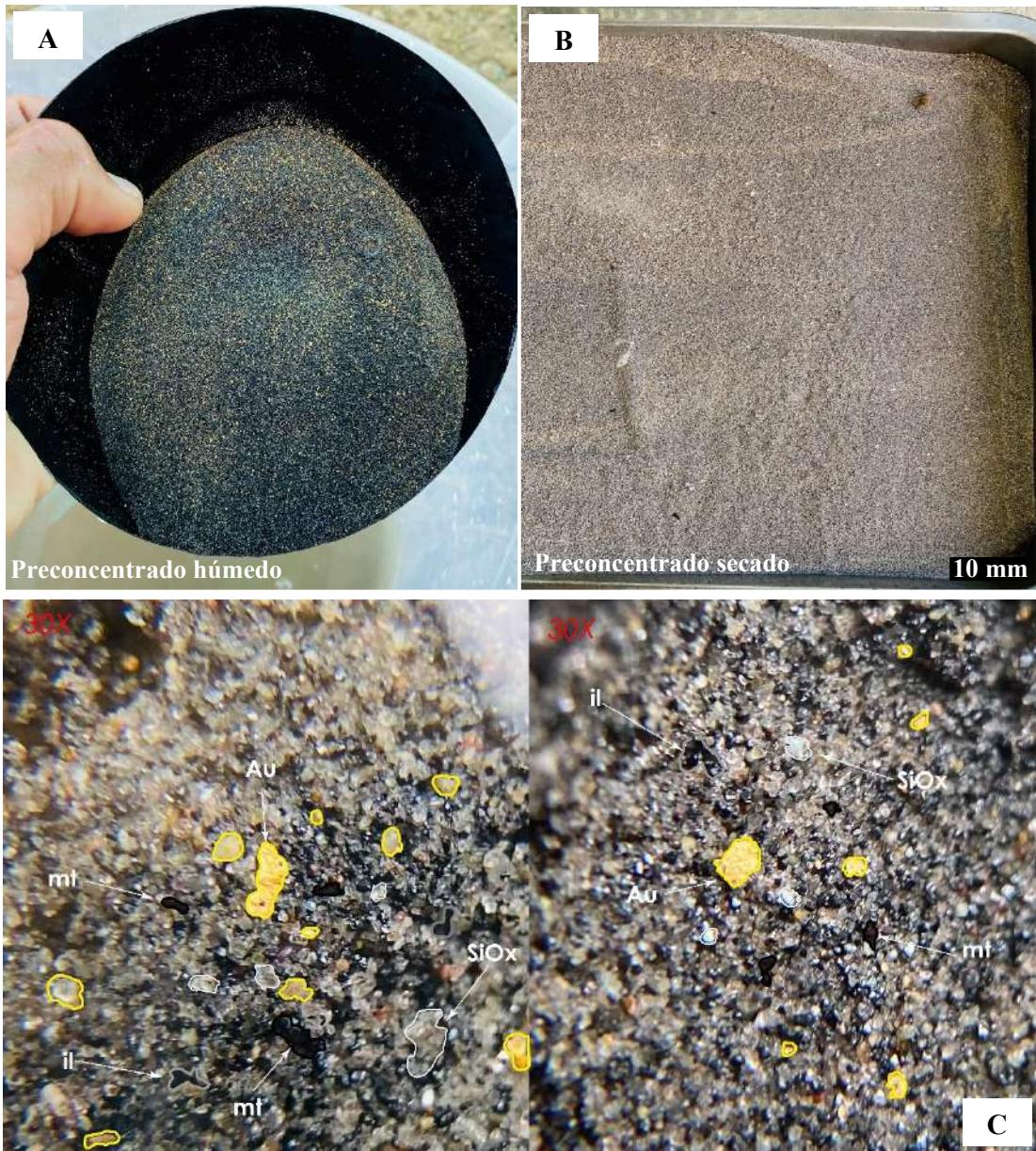
Formando parte de la matriz, alrededor de las gravas o en pequeños lentes horizontales, como en Puerto Belén, mientras que en Raúl 1, se identificaron horizontes o niveles bien definidos de arcillas grises, beige o rojizas (la coloración dependerá de las impurezas o minerales que acompañan) con espesores entre 0.1 y 0.4 m, los horizontes de arcillas por su baja permeabilidad, pueden formar barreras naturales que impiden que el agua y otros minerales más pesados como el oro se filtren más abajo, siendo una trampa para las partículas de oro (existe mayor posibilidad de encontrar concentraciones de sedimentos con elevada ley de oro suprayaciendo a un horizonte de arcillas).



Fotografía 17: Corte litoestratigráfico con predominio de gravas polimíticas y matriz arenosa, destaca un horizonte arcilloso compacto y continuo, de color marrón a beige, que contrasta con los sedimentos gruesos y sugiere un cambio en el ambiente depositacional.

- Arenas Negras

Son el producto principal en el yacimiento aluvial de oro (placer aluvial), son obtenidas utilizando métodos gravimétricos que ayudan a separar las gravas, arenas, limos y arcillas; las arenas negras están compuestas por minerales de elevado peso específico, como por ejemplo magnetita, ilmenita y otros minerales que acompañan al oro formando parte de un preconcentrado, este material actúa como indicador geoquímico y geológico en la prospección de oro en depósitos aluviales, dada su asociación frecuente con partículas de oro y su comportamiento similar en procesos de depositación. En ambas zonas de investigación la etapa de beneficio se desarrolla de similar manera.



Fotografía 18: Las arenas negras compuestas principalmente por minerales pesados como magnetita, ilmenita y otros minerales opacos, pueden ser concentrados mediante técnicas de separación gravimétrica, obteniéndose un preconcentrado. **A)** Preconcentrado húmedo de elevada ley (más del 10 % corresponde a oro), se observan las partículas de oro (color amarillo). **B)** Arenas negras después de eliminar el porcentaje de humedad (secado), listas para muestreo. **C)** Identificación de minerales en un preconcentrado, resaltan las charpas o partículas de oro, además de minerales opacos (magnetita, ilmenita) y óxido de silicio.

4.1.2. Basamento Rocoso

En las áreas de investigación no se identificaron afloramientos rocosos, pero los afloramientos más cercanos identificados corresponden a la Formación Ipururo (Neógeno),

están ubicados al suroeste de las zonas de investigación, entre el límite de la Cordillera Oriental y la Faja Subandina. En las zonas de investigación, específicamente en Raúl 1, se ha profundizado hasta 40 m (tajo), por lo que se estima que el basamento rocoso se encuentra a mayor profundidad, ya que a este nivel aún se siguen explotando gravas y arenas, principalmente.



Fotografía 19: Afloramiento rocoso cercano a las zonas de investigación, ubicado al sureste de Raúl 1, en la Quebrada Barranco Chico. La Formación Ipururo (constituida por estratos de areniscas limosas grises, areniscas cuarzosas arcillosas con intercalaciones de limonitas grises), como basamento rocoso, en contacto con los depósitos aluviales antiguos compuestos por gravas y conglomerados semiconsolidados.

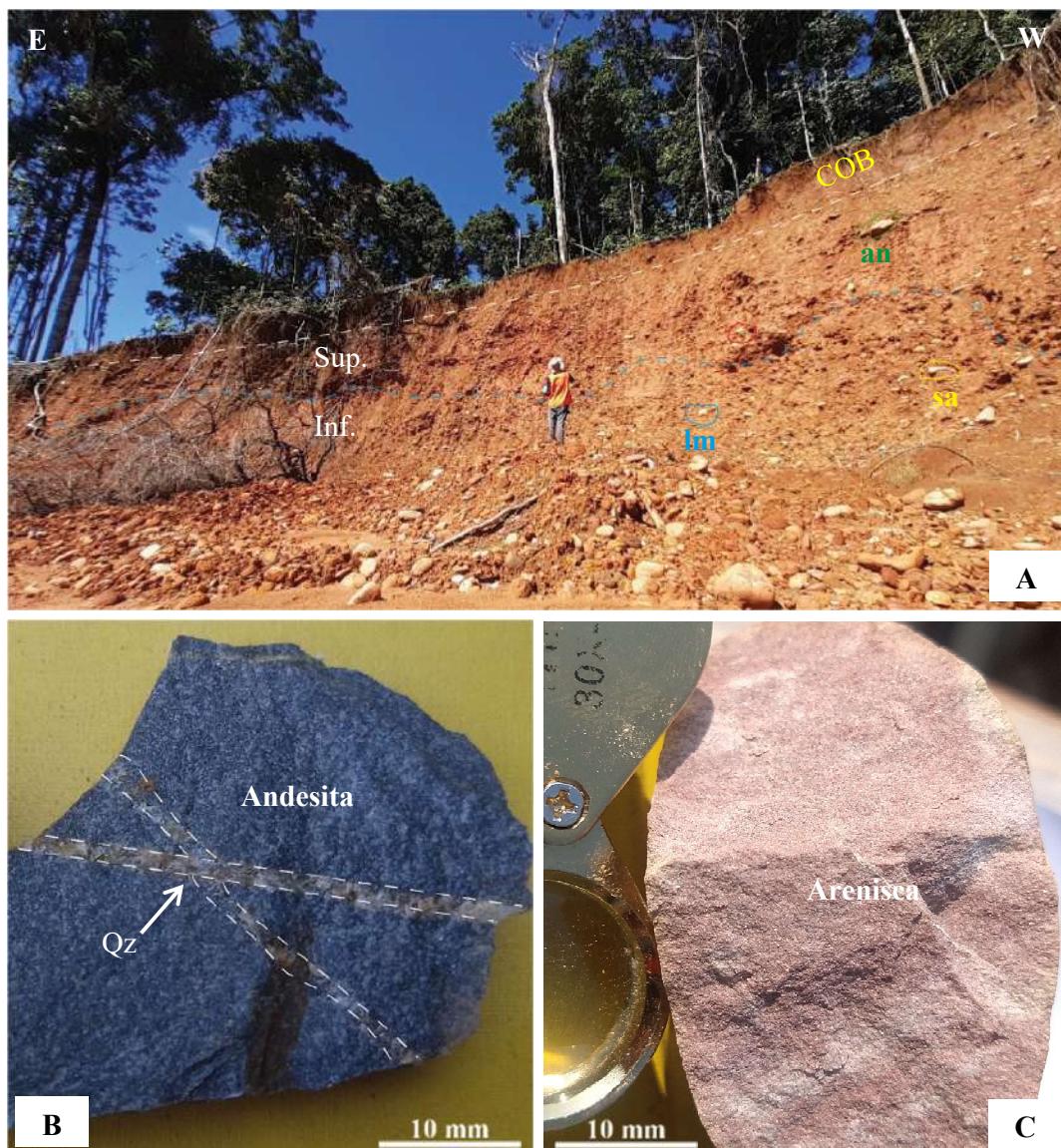
4.1.3. Estratigrafía

En cada una de las estaciones se describe la composición litoestratigráfica y mineralógica (columnas litoestratigráficas), estimación porcentual de granos según modificación de Terry & Chillingar, (1955) y escala granulométrica modificada de Udden-Wentworth, (1953) en Blair & McPherson, (1999), además se realiza la clasificación textural de sedimentos según el esquema modificado de Folk, (1980) en Blair & McPherson, (1999).

En la concesión minera de Puerto Belén (100 ha) se registraron diez (10) estaciones litoestratigráficas, distribuidas de acuerdo a la ubicación de los principales frentes o bancos de explotación, a continuación, se describen cada una de ellas:

- Estación litoestratigráfica N° 01

Ubicada en el cuadrante suroeste de Puerto Belén, macroscópicamente se identificaron: óxidos de manganeso ($MnOx$), cuarzo (Qz) en cristales y en pequeñas vetillas, sulfatos (Jar) y óxidos de hierro (Hm, Lmt), los óxidos rodeando a los clastos de andesita (an), granito (gr), arenisca (sa), roca carbonatada (lm), y también formando parte de la matriz; la sobrecarga tiene espesor de 1 m. El grado de clasificación de los clastos es mal seleccionado.



Fotografía 20: A) Perfil litoestratigráfico del frente de explotación, donde se reconocen dos horizontes principales de sedimentación, superior e inferior, diferenciados por características litológicas observables en el corte, B) Fragmento de andesita con vetillas orientadas de forma irregular, indicativas de procesos hidrotermales posteriores a la consolidación de la roca huésped, C) Fragmento de canto de arenisca de grano medio con superficie débilmente alterada.

Tabla 11: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 01. Longitud Este: 347877 – Latitud Norte: 8553643 – Altitud: 470 msnm.

Composición		Columna litológica
	Superior %	
Gravas	Bloques 5	
	Cantos 45	
	Guijarros 50	
Matriz	Arenas 35	
	Limos 40	
	Arcillas 25	
Hm > Lmt > Jar		
	Inferior %	
Gravas	Bloques 5	
	Cantos 50	
	Guijarros 45	
Matriz	Arenas 45	
	Limos 30	
	Arcillas 25	
Hm > Jar > Lmt		

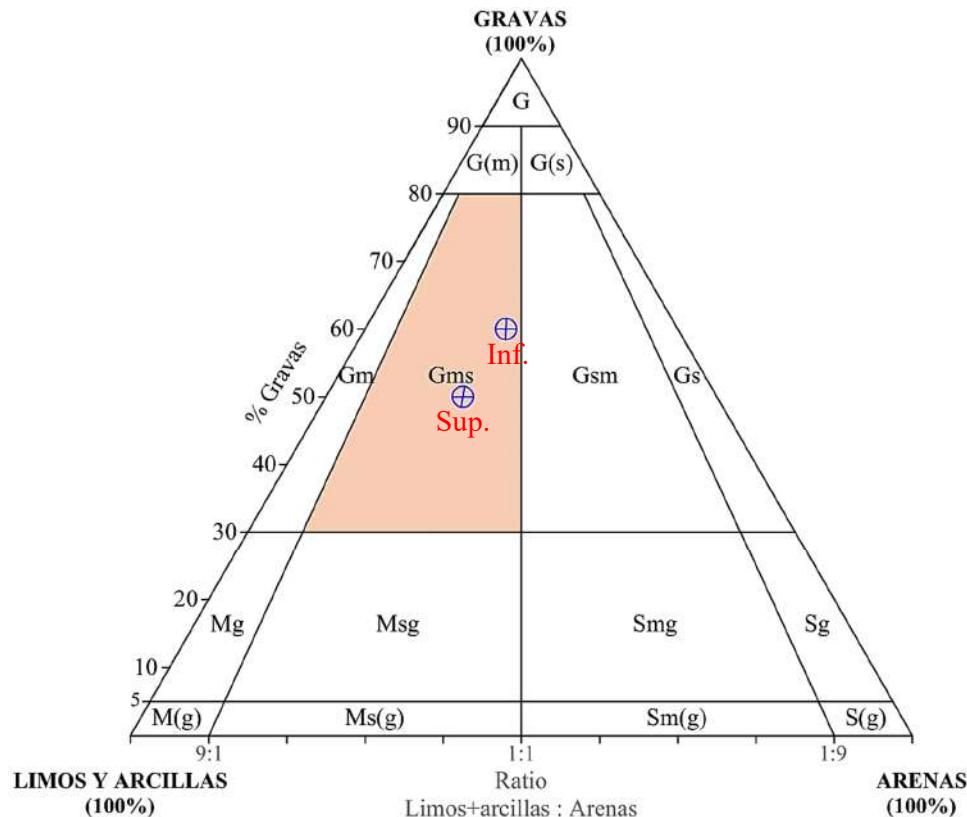
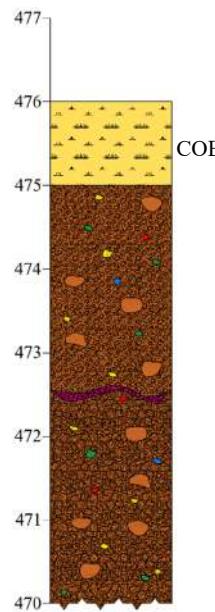


Diagrama 1: Estación Litoestratigráfica N° 01, se registró 50 a 60 % de gravas, 55 a 65 % de limos y arcillas, 35 a 45 % de arenas, (Gms): Gravas limo-arcilloosas arenosas (Superior e inferior). Diagrama de Folk, adaptado de Blair & McPherson, (1999).

- Estación litoestratigráfica N° 02

Ubicada en el cuadrante suroeste de la zona de investigación, macroscópicamente se identificaron: lentes de óxido de manganeso ($MnOx$) alrededor de las gravas, cristales de cuarzo (Qz), sulfatos (Jar) y óxidos de hierro (Hm, Lmt y Goe), los óxidos principalmente rodeando a los clastos de andesita (an), granodiorita (gd), roca piroclástica toba (T), arenisca (sa), roca carbonatada (lm), cuarcita (qzt); la cobertura vegetal o sobrecarga tiene espesor de 0.5 m. El grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado.



Fotografía 21: A) Sección del frente de explotación, donde se reconocen dos niveles de deposición, superior e inferior, diferenciados por sus características litológicas y disposición estructural, B) Gravas altamente alteradas en una matriz de textura arenosa, se observa alta concentración óxidos de manganeso (pirolusita) y óxidos de hierro (goetita), lo que sugiere condiciones de oxidación avanzadas asociadas a procesos de meteorización química o diagénesis tardía, C) Fragmento clástico de arenisca de granulometría fina, que presenta alto grado de alteración mineralógica, posiblemente asociado a procesos avanzados de meteorización química.

Tabla 12: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 02. Longitud Este: 347938 – Latitud Norte: 8553665 – Altitud: 463 msnm.

Composición		Columna litológica
	Superior %	
Gravas	Bloques 0	470
	Cantos 40	469
	Guijarros 60	468
Matriz	Arenas 45	467
	Limos 35	466
	Arcillas 20	465
Hm > Goe > Lmt > Jar		COB
Inferior %		
Gravas	Bloques 1	464
	Cantos 44	463
	Guijarros 55	
Matriz	Arenas 40	
	Limos 25	
	Arcillas 35	
Goe > Lmt > Jar		

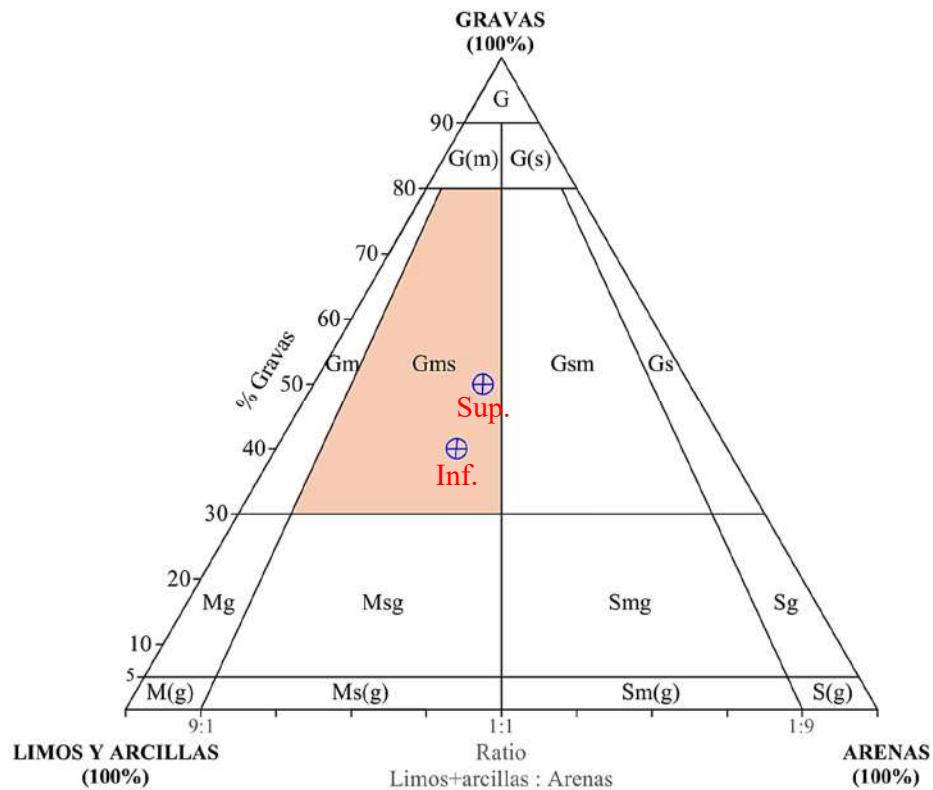
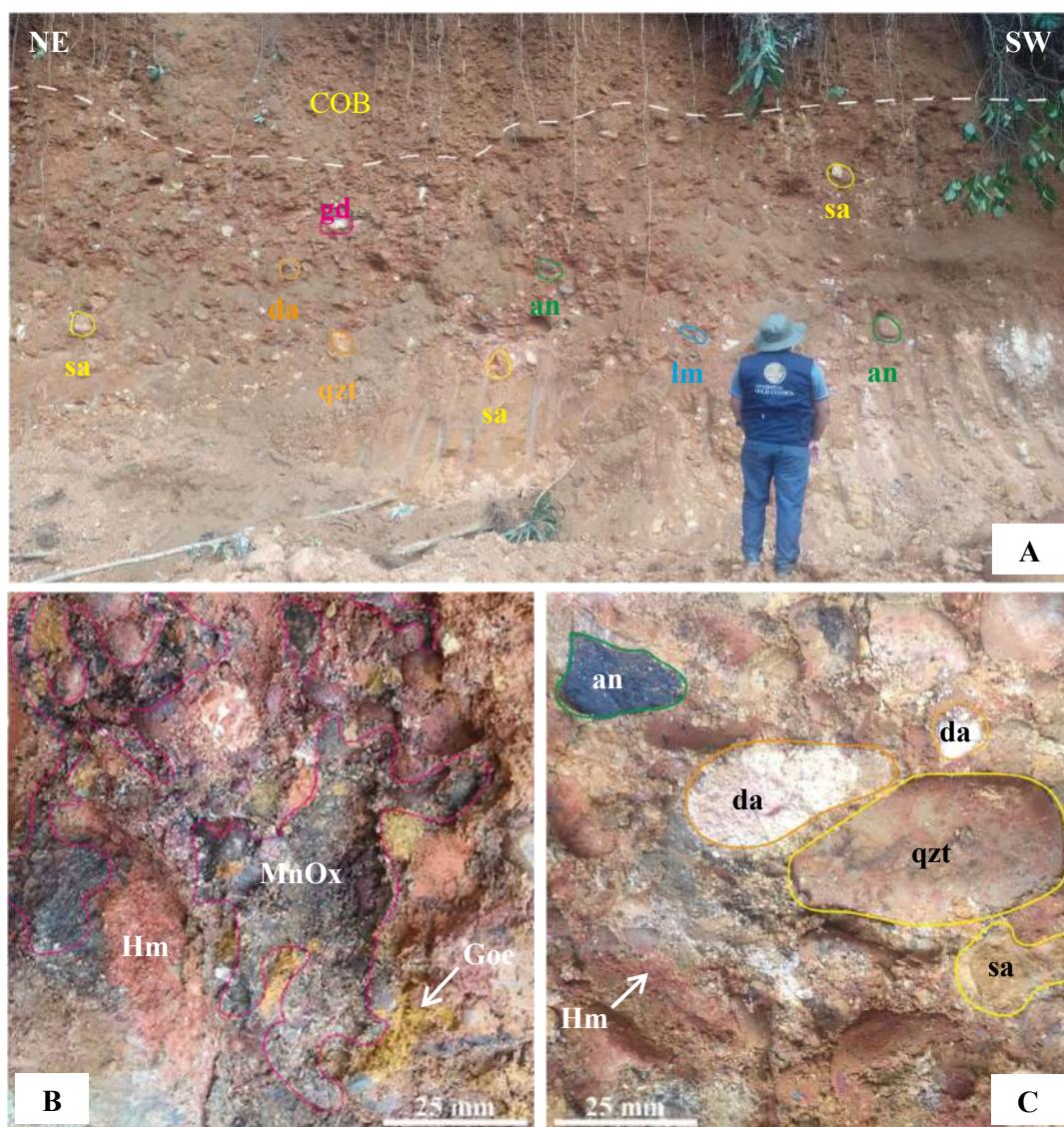


Diagrama 2: Estación Litoestratigráfica N° 02, se registró 40 a 50 % de gravas, 55 a 60 % de limos y arcillas, 40 a 45 % de arenas, (Gms): Gravas limo-arcilloosas arenosas (Superior) y Gravas arcillo-limosas arenosas (inferior).

- Estación litoestratigráfica N° 03

Ubicada en el cuadrante suroeste de Puerto Belén, macroscópicamente se identificaron: óxidos de manganeso ($MnOx$) formando parte de la matriz y rodeando a gravas, cristales de cuarzo (Qz), óxidos de hierro (Hm, Goe), clastos de andesita (an), dacita (da), granodiorita (gd), arenisca (sa), roca carbonatada (lm), cuarcita (qzt); la sobrecarga tiene espesor de 1 m. El grado de clasificación de los clastos es moderadamente seleccionado.



Fotografía 22: A) Gravas fuertemente compactadas y desordenadas en matriz arenosa, presentando señales de oxidación en clastos y arenas, B) Gravas moderadamente seleccionados en matriz arenosa consolidada, abundantes óxidos de manganeso (pirolusita) y óxidos de hierro (goetita, hematita), C) Cantos y guijarros de andesita, dacita, arenisca y cuarcita, fuertemente alterados, en matriz arenosa bien consolidada.

Tabla 13: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 03. Longitud Este: 348113 – Latitud Norte: 8554033 – Altitud: 433 msnm.

	Composición		Columna litológica
	Total	%	
Gravas	Bloques	2	440
	Cantos	50	439
	Guijarros	48	438
Matriz	Arenas	60	437
	Limos	25	436
	Arcillas	15	435
Hm > Goe			434
			433

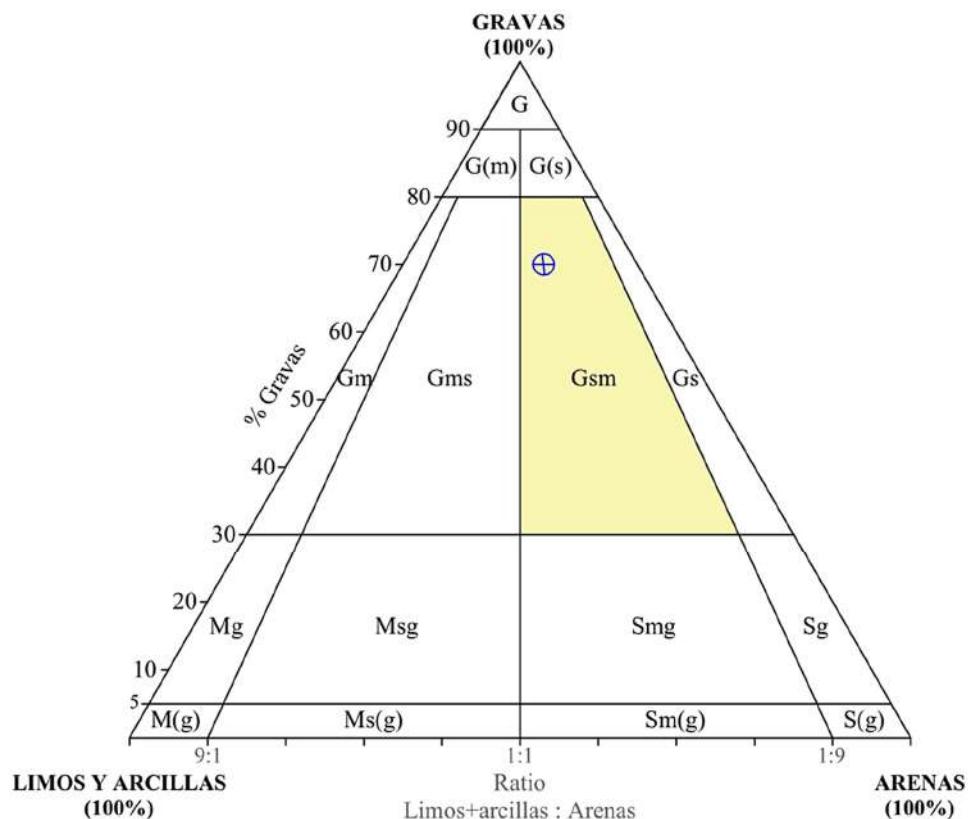


Diagrama 3: Estación Litoestratigráfica N° 03, se registró 70 % de gravas, 60 % de arenas y 40 % de limos y arcillas, (Gsm): Gravas arenosas limo-arcillosas.

- Estación litoestratigráfica N° 04

Ubicada en el cuadrante noroeste de Puerto Belén, macroscópicamente se identificaron: pátinas de óxido de manganeso (MnO_x) rodeando a gravas; cristales y vetillas de cuarzo (Qz), vetillas de calcita (cal), sulfatos (Jar) y óxidos de hierro (Hm, Goe, Lmt), clastos de andesita (an), dacita (da), riolita (r), granodiorita (gd), diorita (di), arenisca (sa), roca carbonatada (lm); sobrecarga tiene espesor de 1.5 m, el grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado (inferior) y mal seleccionado (inferior).



Fotografía 23: A) Frente de explotación, dividida en dos niveles de deposición diferenciados por la disposición de los clastos, lo que sugiere variaciones en los procesos de deposición y transporte, B) Gravas mal seleccionados fuertemente alteradas en matriz limo-arcillosa, presencia de óxidos de manganeso (pirolusita), C) Bloque de arenisca de grano fino moderadamente alterada.

Tabla 14: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 04. Longitud Este: 348205 – Latitud Norte: 8554128 – Altitud: 402 msnm.

Composición		Columna litológica
	Superior %	
Gravas	Bloques 5	
	Cantos 50	
	Guijarros 45	
Matriz	Arenas 45	
	Limos 40	
	Arcillas 15	
Hm > Goe > Lmt > Jar		
	Inferior %	
Gravas	Bloques 0	
	Cantos 60	
	Guijarros 40	
Matriz	Arenas 40	
	Limos 45	
	Arcillas 15	
Hm > Goe		

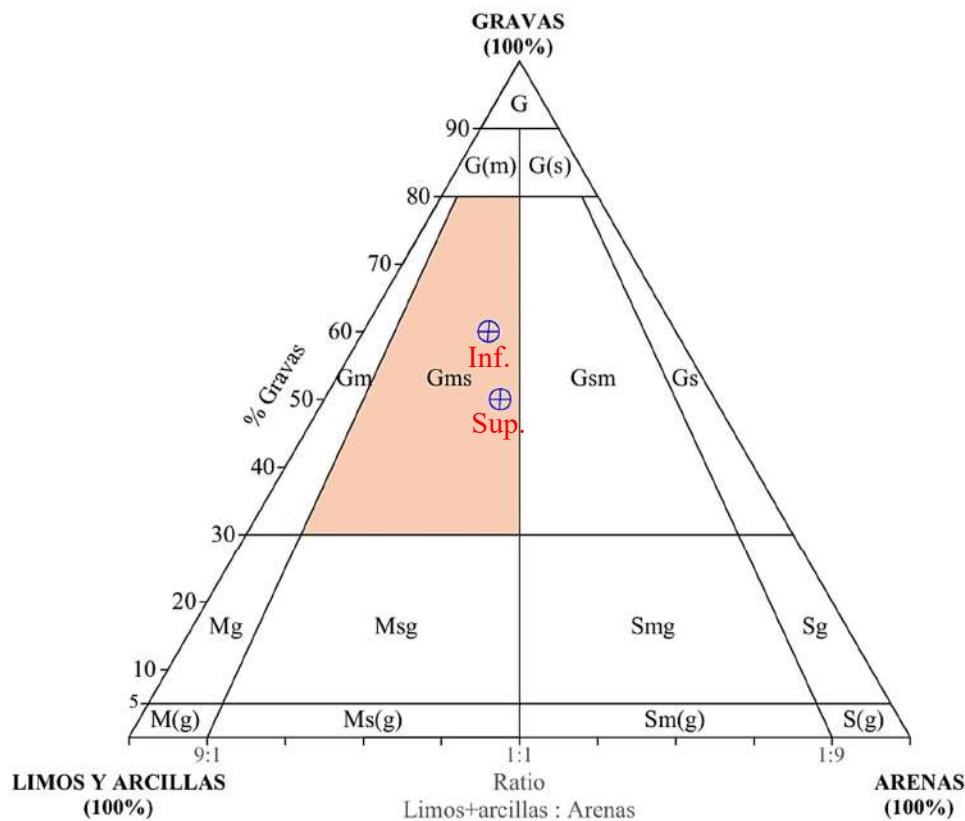
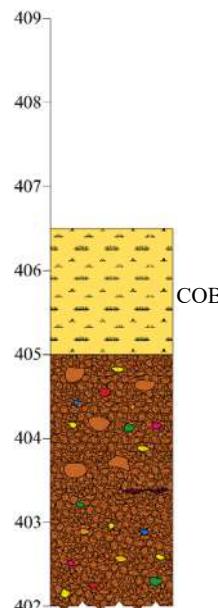


Diagrama 4: Estación Litoestratigráfica N° 04, se registró 50 a 60 % de gravas, 55 a 60 % de limos y arcillas, 40 a 45 % de arenas, (Gms): Gravas limo-arcilloosas arenosas (Superior e inferior).

- Estación litoestratigráfica N° 05

Ubicada en el cuadrante noroeste de Puerto Belén, macroscópicamente se identificaron: óxidos de manganeso ($MnOx$) rodeando a gravas y formando parte de la matriz, cristales de cuarzo (Qz), óxidos de hierro (Hm, Goe, Lmt), clastos de andesita (an), riolita (r), granito (gr), sienita (sy), gabro (gb), arenisca (sa); la sobrecarga tiene espesor de 1.5 m. El grado de clasificación de los clastos es moderadamente (superior) y bien seleccionado (inferior).



Fotografía 24: A) Sección del frente de explotación con altura aproximada de 5 metros (superior e inferior), constituida por gravas de moderadamente a bien seleccionadas, dispuestas de manera aleatoria y fuertemente compactadas dentro de una matriz de arenas, lo cual sugiere un ambiente de deposición con energía variable, B) Gravas moderadamente seleccionados y fuertemente alteradas en matriz arenosa, C) Canto de roca ígnea intrusiva (sienita) fuertemente alterada.

Tabla 15: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 05. Longitud Este: 347975 – Latitud Norte: 8554456 – Altitud: 430 msnm.

Composición		Columna litológica
	Superior %	
Gravas	Bloques 2	
	Cantos 60	
	Guijarros 38	
Matriz	Arenas 55	
	Limos 25	
	Arcillas 20	
Hm > Goe > Lmt		
	Inferior %	
Gravas	Bloques 0	
	Cantos 30	
	Guijarros 70	
Matriz	Arenas 60	
	Limos 30	
	Arcillas 10	
Hm > Goe > Lmt		

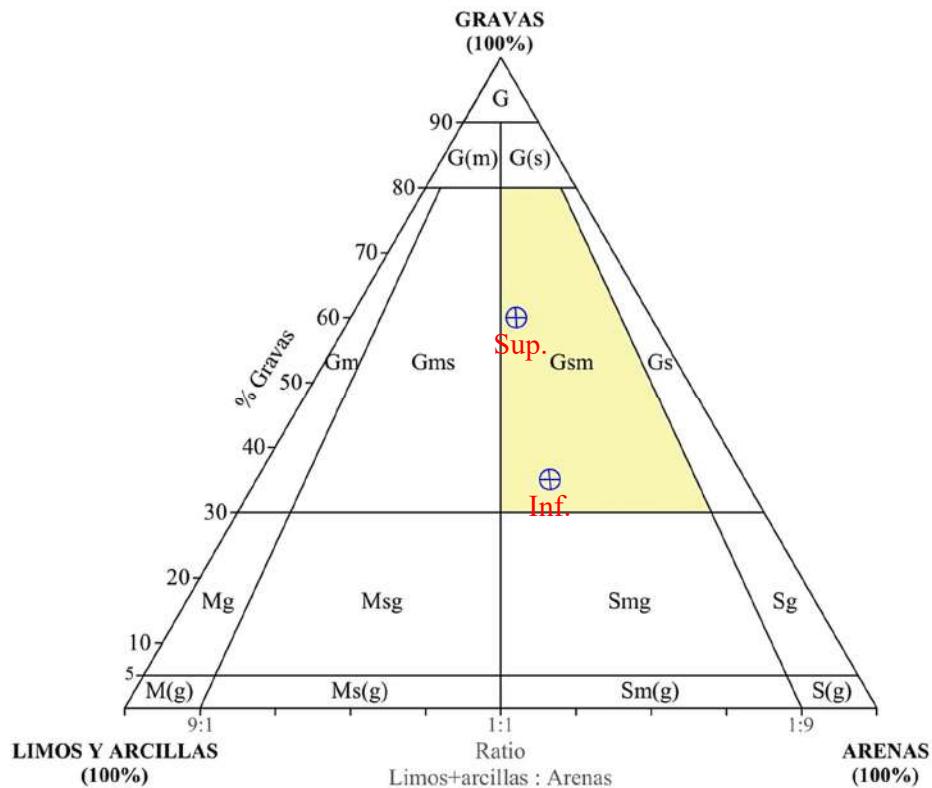
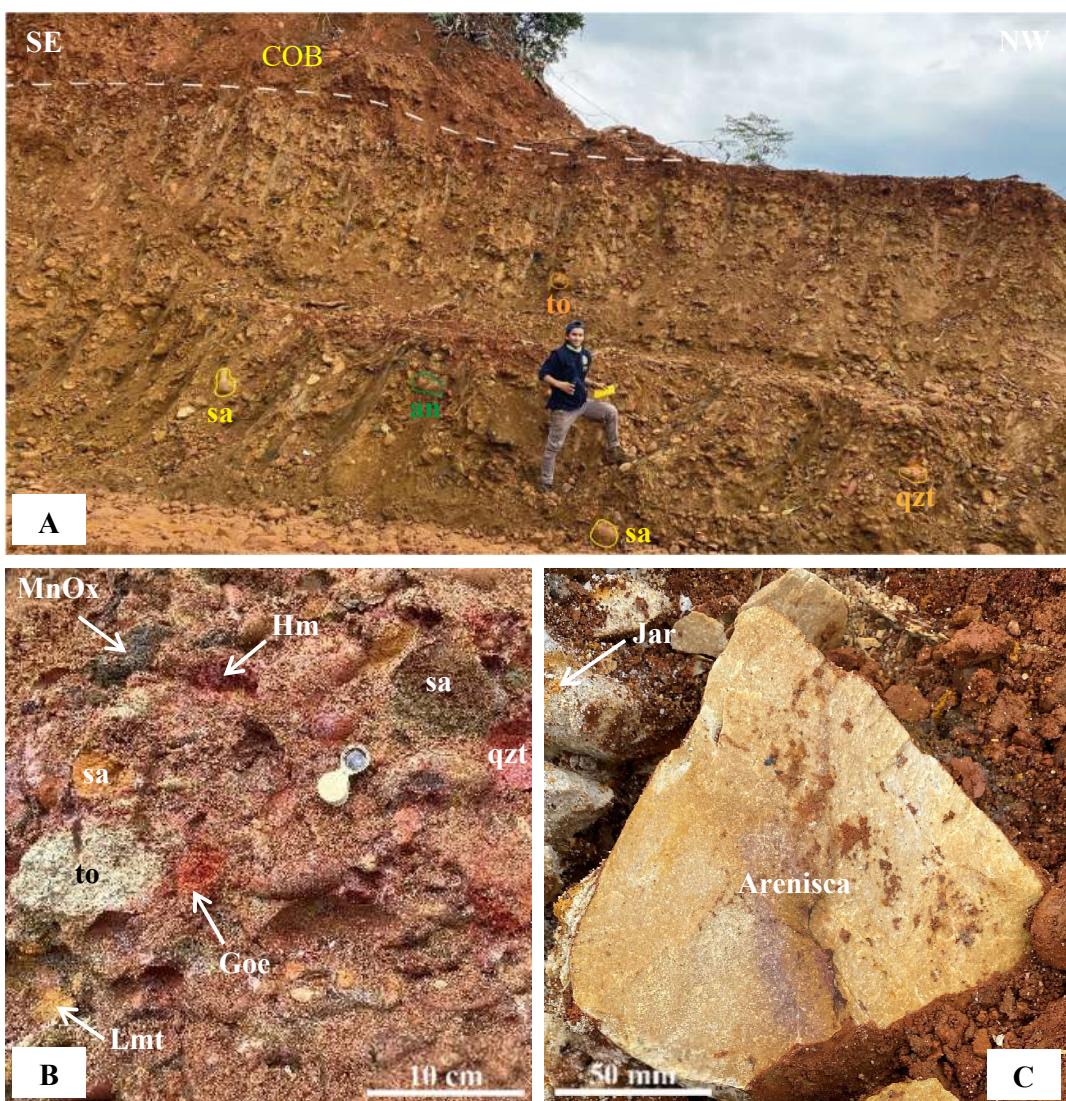


Diagrama 5: Estación Litoestratigráfica N° 05, se registró 35 a 60 % de gravas, 40 a 45 % de limos y arcillas, 55 a 60 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas limo-arcillosas (Superior e inferior).

- Estación litoestratigráfica N° 06

Ubicada en el cuadrante noroeste de Puerto Belén, macroscópicamente se identificaron: óxidos de manganeso ($MnOx$) alrededor de ciertos clastos, cristales de cuarzo (Qz), sulfatos (Jar), óxidos de hierro (Hm, Goe, Lmt), clastos de andesita (an), tonalita (to), arenisca (sa), cuarcita (qzt), pizarra (sl); la sobrecarga tiene espesor de 1 m. El grado de clasificación de los clastos es moderadamente seleccionado.



Fotografia 25: A) Corte de explotación de aproximadamente 4 metros de altura, con gravas moderadamente seleccionadas, matriz con limos y arcillas, en los niveles más profundos la matriz cambia gradualmente a textura arenosa, todo el perfil presenta coloración rojiza, indicativa de condiciones de oxidación avanzada asociada a procesos de meteorización química, B) Cantos y guijarros moderadamente seleccionados fuertemente alterados en matriz arenosa oxidada, C) Fragmento moderadamente alterado de un bloque de arenisca.

Tabla 16: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 06. Longitud Este: 347938 – Latitud Norte: 8554599 – Altitud: 426 msnm.

	Composición		Columna litológica
	Total	%	
Gravas	Bloques	2	
	Cantos	50	
	Guijarros	48	
Matriz	Arenas	35	
	Limos	15	
	Arcillas	50	
Hm > Goe > Lmt > Jar			433 432 431 430 429 428 427 426

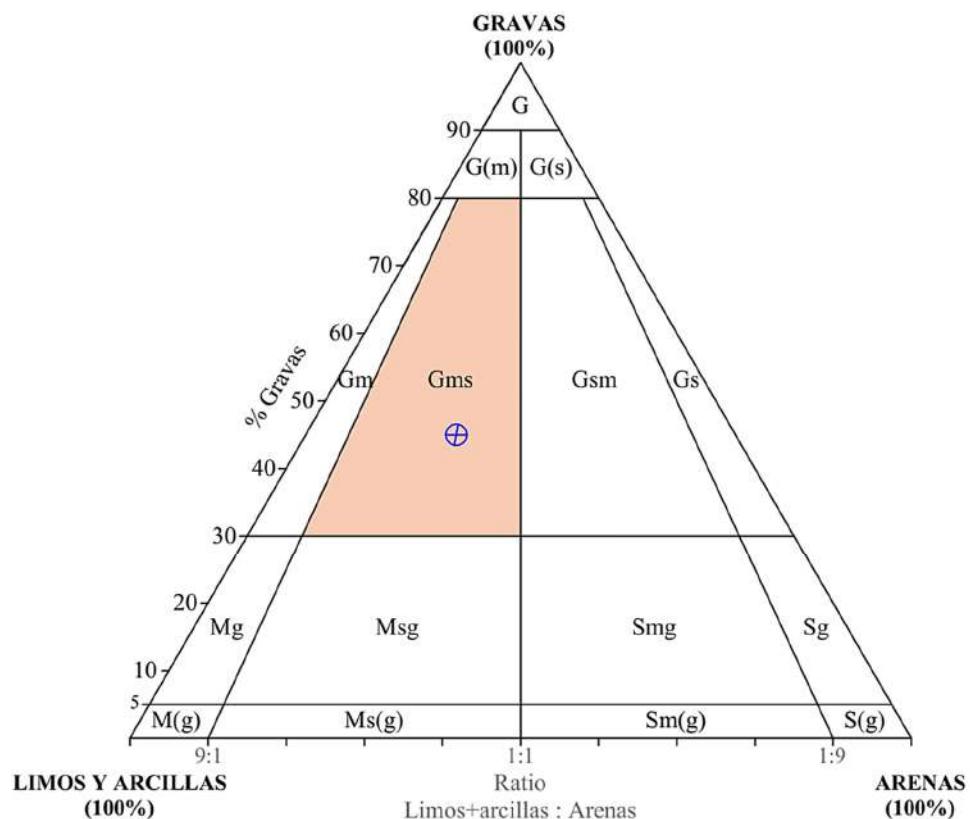


Diagrama 6: Estación Litoestratigráfica N° 06, se registró 45 % de gravas, 65 % de limos y arcillas, 35 % de arenas, (Gms): Gravas arcillo-limosas arenosas.

- Estación litoestratigráfica N° 07

Ubicada en el cuadrante suroeste de Puerto Belén, macroscópicamente se identificaron: óxidos de manganeso (MnO_x) rodeando a gravas y pátinas distribuidas en la matriz, cristales de cuarzo (Qz) y vetillas, micas, óxidos de hierro (Hm, Lmt, Goe), clastos de andesita (an), granito (gr), gabro (gb), arenisca (sa), cuarcita (qzt); la sobrecarga tiene espesor de 1.5 m. El grado de clasificación de los clastos es mal seleccionado.



Fotografía 26: A) Sección del frente de explotación en la que la distribución y clasificación de las gravas es mal seleccionada, gravas moderadamente alteradas en una matriz arcillo – limosa consolidada, este perfil sugiere un proceso de depositación en condiciones de baja energía y una posterior alteración mineral debido a factores de meteorización, B) Fragmento de una roca ígnea plutónica (gabro), moderadamente alterada, C) Fragmento moderadamente alterado de una andesita con vetillas de óxidos de silicio (Qz).

Tabla 17: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 07. Longitud Este: 348192 – Latitud Norte: 8553781 – Altitud: 441 msnm.

Composición		Columna litológica	
Total	%		
Gravas	Bloques 5	448	
	Cantos 50	447	COB
	Guijarros 45	446	
Matriz	Arenas 45	444	
	Limos 25	443	
	Arcillas 30	442	
Hm > Goe > Lmt		441	

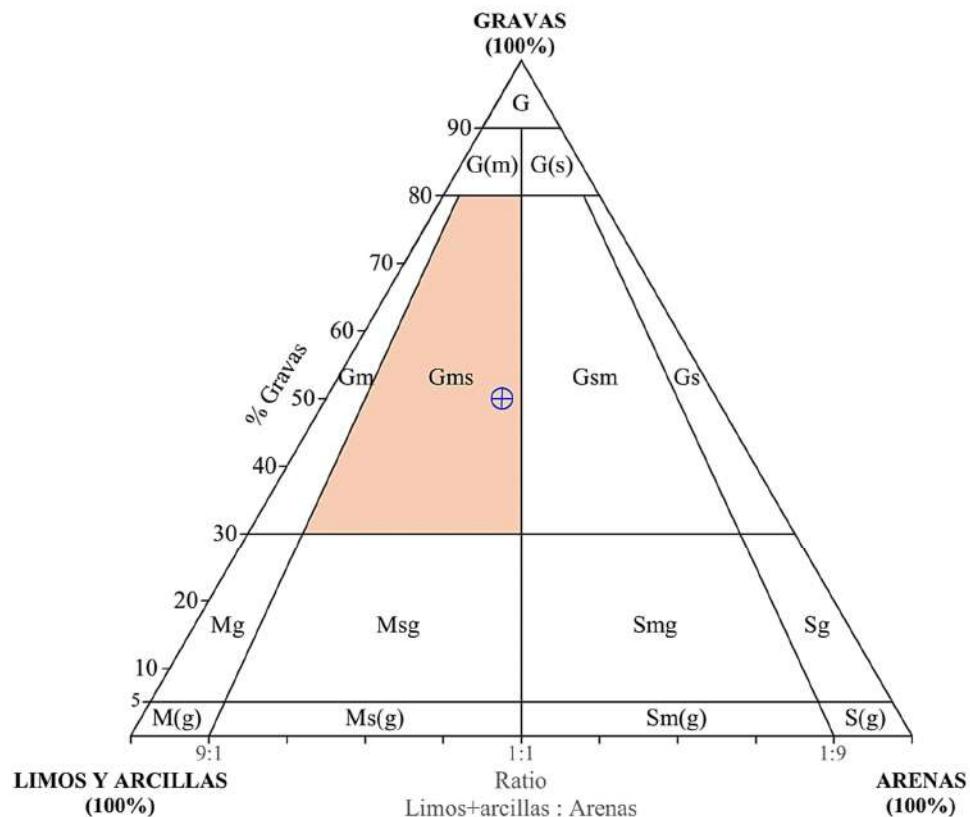
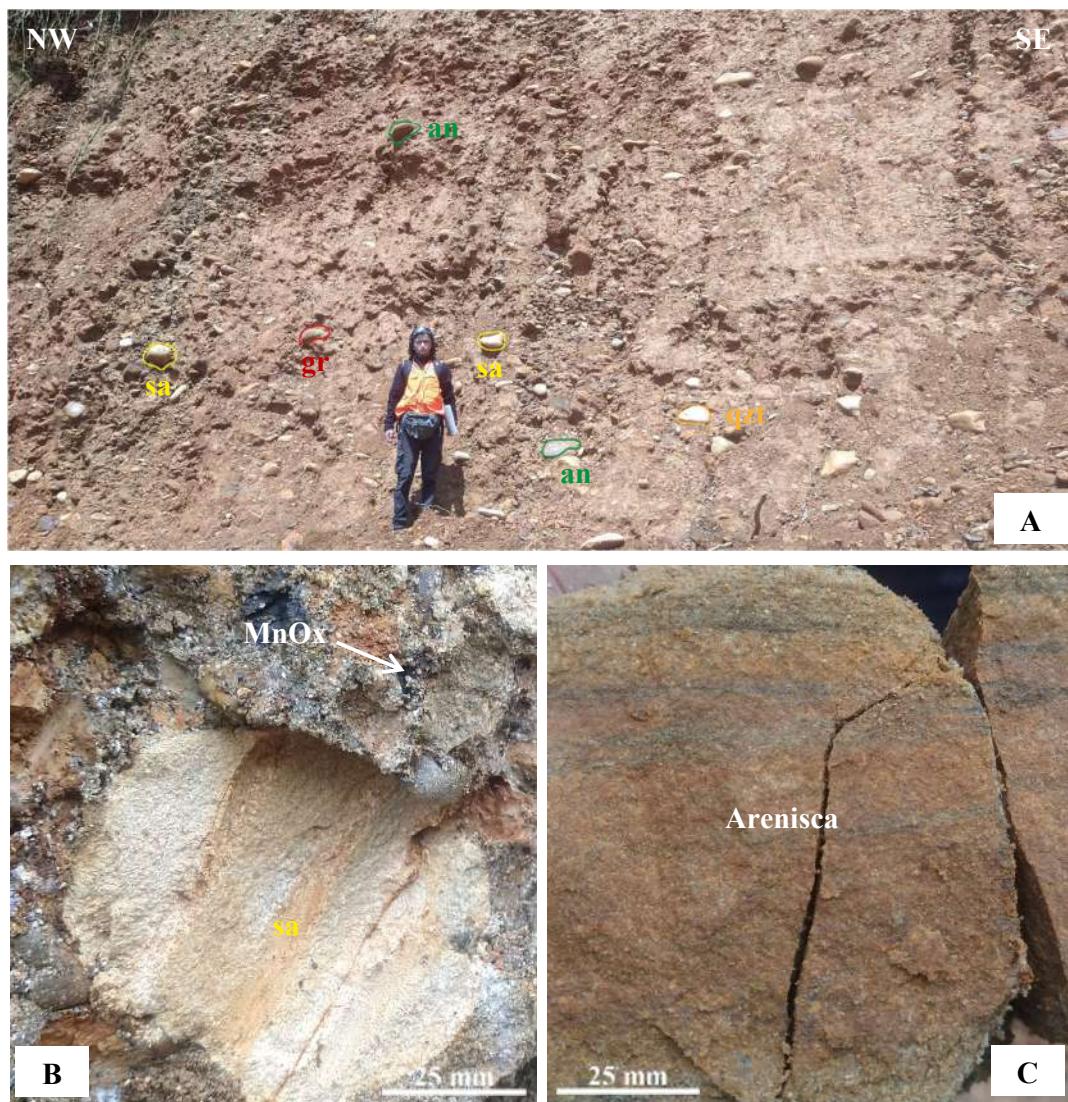


Diagrama 7: Estación Litoestratigráfica N° 07, se registró 50 % de gravas, 55 % de limos y arcillas, 45 % de arenas, (Gms): Gravas arcillo-limosas arenosas.

- Estación litoestratigráfica N° 08

Ubicada en el cuadrante noroeste de Puerto Belén, macroscópicamente se identificaron: óxido de manganeso ($MnOx$) rodeando a gravas y en forma de lentes alargados en la matriz, cristales de cuarzo (Qz), micas, óxidos de hierro (Hm, Goe), clastos de andesita (an), granito (gr), arenisca (sa), cuarcita (qzt); la sobrecarga tiene espesor de 1.5 m. El grado de clasificación de los clastos es mal seleccionado.



Fotografía 27: A) Perfil del frente de explotación donde la distribución y clasificación de las gravas es mal seleccionada, lo que sugiere variabilidad en las condiciones de transporte y deposición de los materiales, B) Roca sedimentaria (arenisca), con superficie fuertemente alterada, que alberga principalmente óxidos (pirolusita, goetita), C) Fragmento moderadamente alterado de una arenisca de grano medio.

Tabla 18: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 08. Longitud Este: 348276 – Latitud Norte: 8554622 – Altitud: 425 msnm.

Composición		Columna litológica	
Total	%		
Gravas	Bloques 5	432	
	Cantos 50	431	COB
	Guijarros 45	430	
Matriz	Arenas 45	429	
	Limos 30	428	
	Arcillas 25	427	
Hm > Goe		426	
		425	

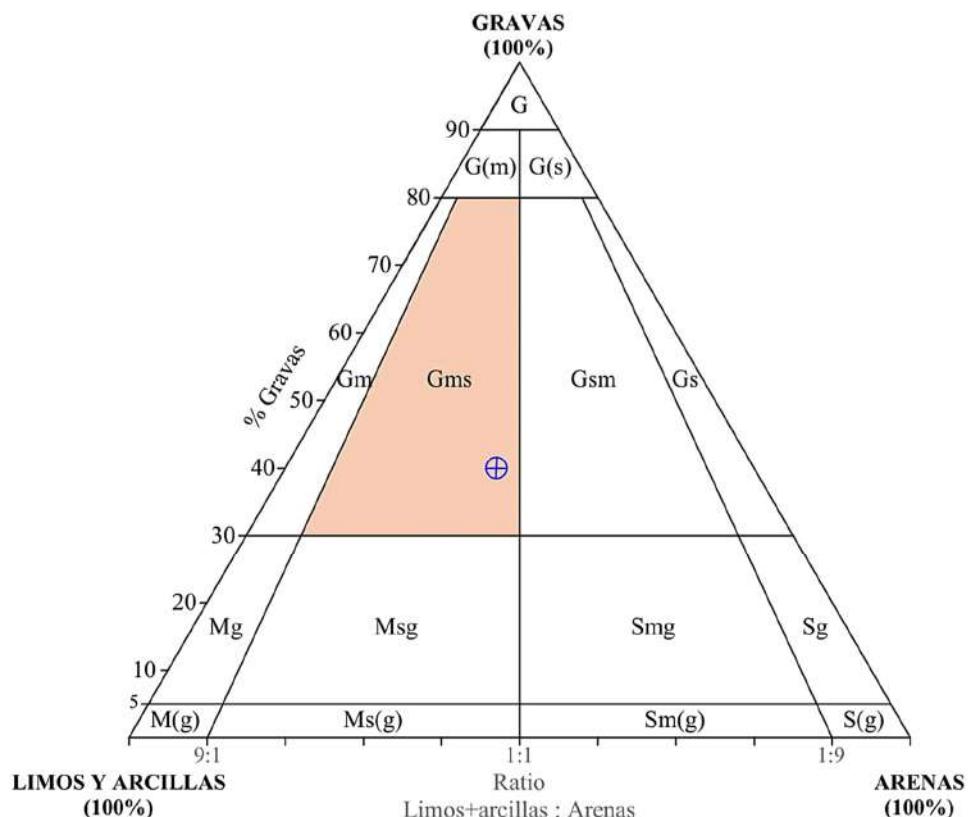
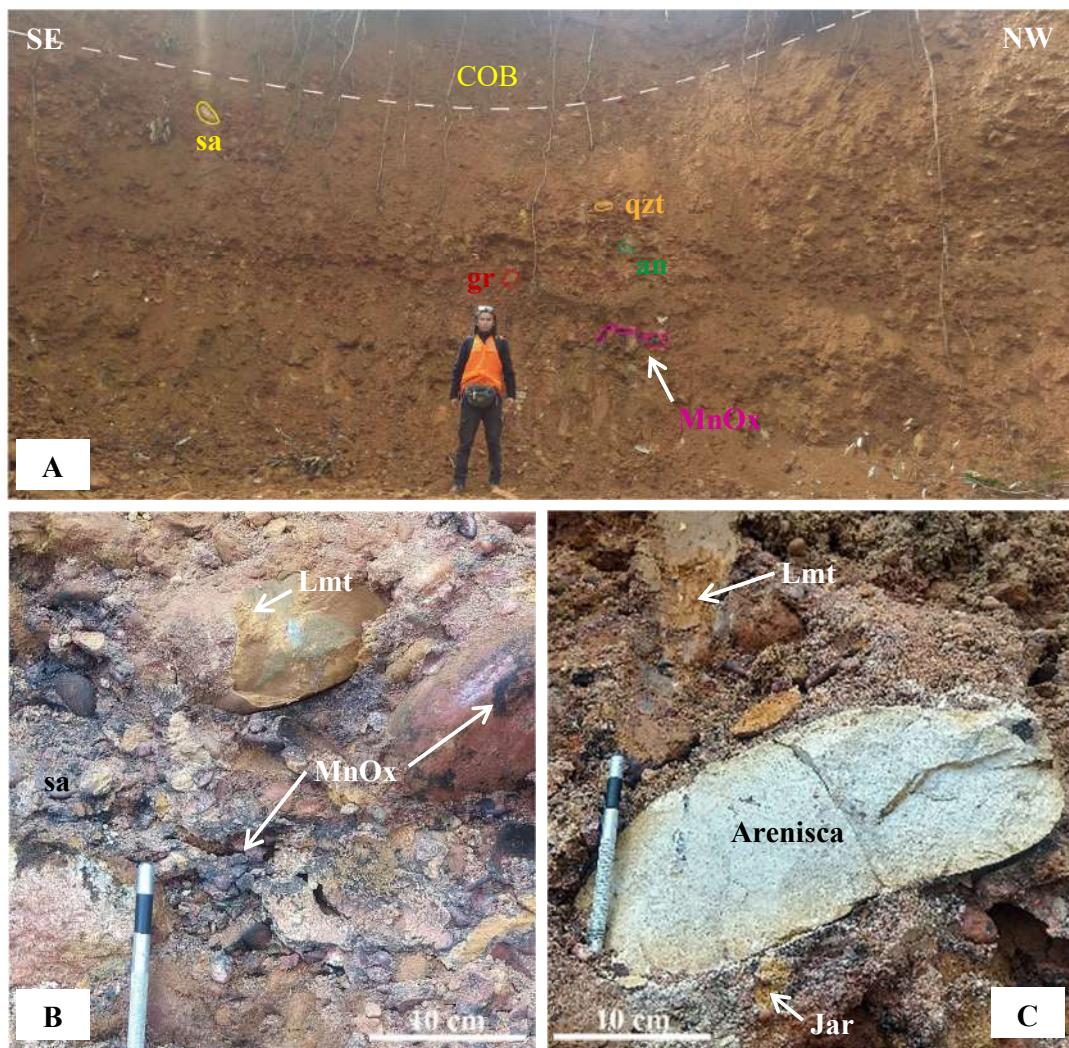


Diagrama 8: Estación Litoestratigráfica N° 08, se registró 40 % de gravas, 55 % de limos y arcillas, 45 % de arenas, (Gms): Gravas limo-arcillosas arenosas.

- Estación litoestratigráfica N° 09

Ubicada en el cuadrante noreste, macroscópicamente se identificaron: óxidos de manganeso ($MnOx$) rodeando a gravas y en forma de lentes alargados y pátinas en la matriz, cristales de cuarzo (Qz) y sílex, micas, sulfatos (Jar), óxidos de hierro (Hm, Goe, Spc, Lmt), clastos de andesita (an), granito (gr), arenisca (sa), cuarcita (qzt), esquisto (sch); la sobrecarga tiene espesor de 1.5 m. El grado de clasificación de los clastos es moderadamente seleccionado. En la parte intermedia se visualiza cambio de coloración debido a los diferentes niveles de arcillas.



Fotografía 28: A) Perfil del frente de explotación, la distribución y clasificación de las gravas es moderadamente seleccionada, lo que indica una selección parcial durante el proceso de deposición, B) Cantos y guijarros en matriz arenosa, rodeados por óxidos, C) Fragmento de un bloque moderadamente alterado de una arenisca de grano medio.

Tabla 19: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 09. Longitud Este: 348508 – Latitud Norte: 8554237 – Altitud: 360 msnm.

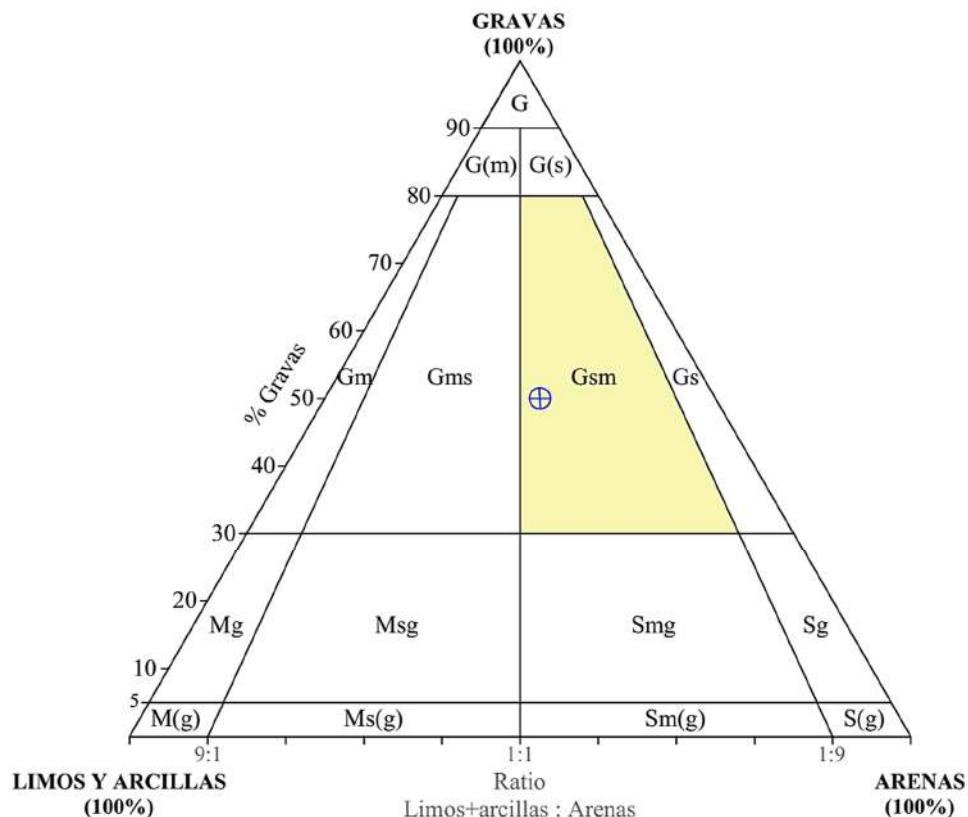
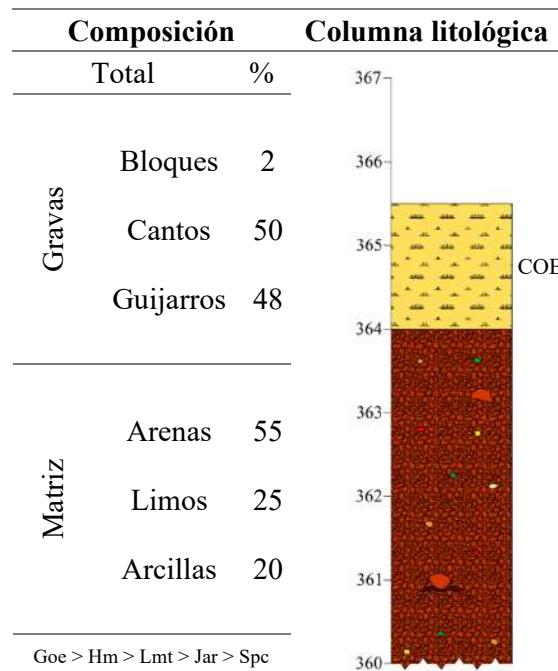
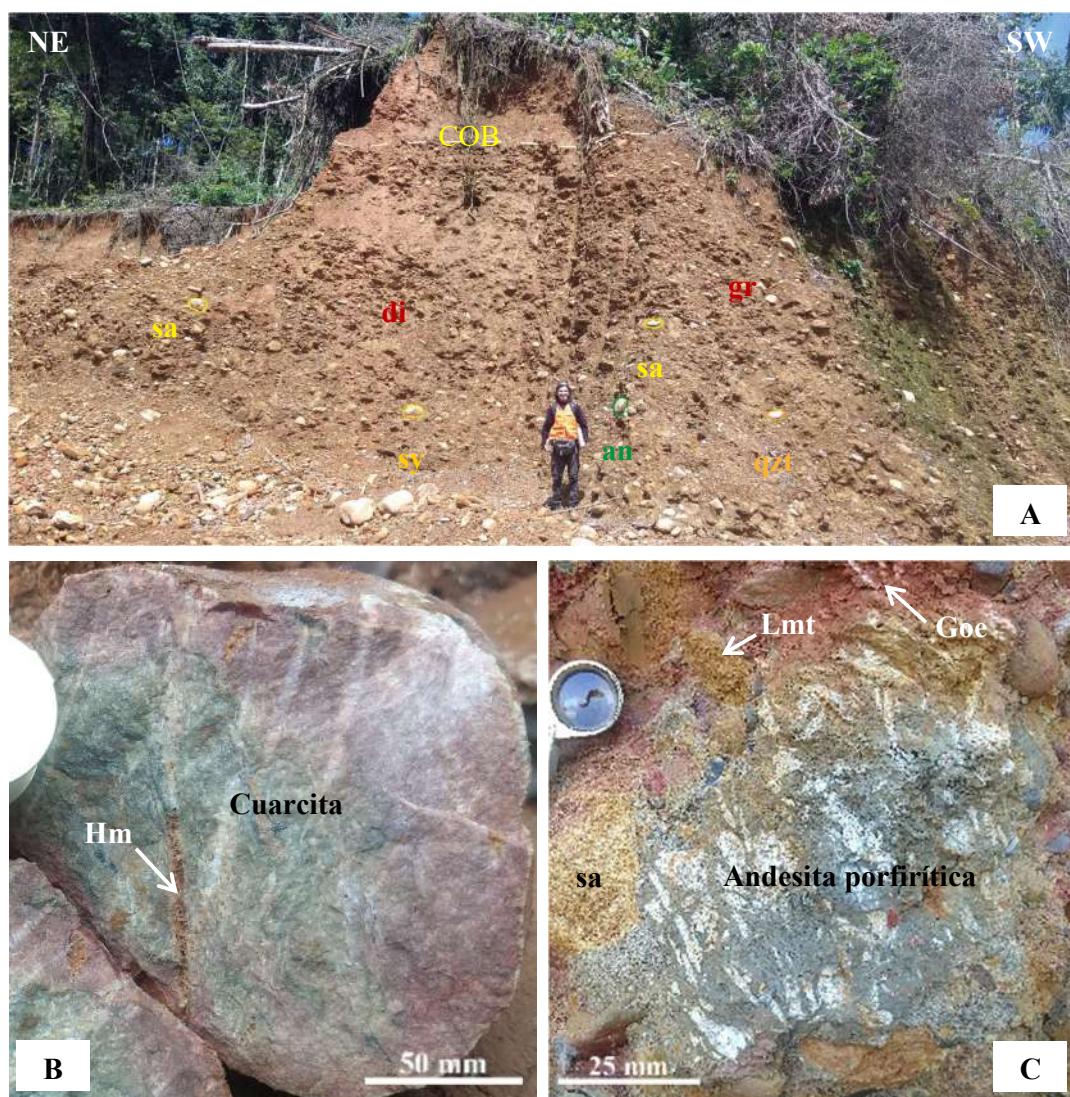


Diagrama 9: Estación Litoestratigráfica N° 09, se registró 50 % de gravas, 45 % de limos y arcillas, 55 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas limo-arcillosas.

- Estación litoestratigráfica N° 10

Ubicada en el cuadrante noroeste, macroscópicamente se identificaron: óxido de manganeso (MnO_x) rodeando a las gravas y en forma de lentes, cristales de cuarzo (Qz), óxidos de hierro (Hm, Lmt), clastos de andesita afanítica y porfídica (an), granito (gr), sienita (sy), gabro (gb), diorita (di), arenisca (sa), cuarcita (qzt); la cobertura vegetal o sobrecarga tiene espesor de 1.5 m. El grado de clasificación de los clastos es mal seleccionado.



Fotografía 29: A) Perfil de un frente de explotación, compuesto por gravas con una clasificación mal seleccionada y distribución irregular, lo que sugiere condiciones de transporte y deposición poco uniformes, típicas de ambientes de energía variable, B) Fragmento de un canto de cuarcita con óxidos en las fracturas e intensidad de alteración débil, C) Canto de andesita porfirítica fuertemente alterada, rodeada por una matriz limo-arcillosa.

Tabla 20: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 10. Longitud Este: 348200 – Latitud Norte: 8554388 – Altitud: 417 msnm.

	Composición		Columna litológica
	Total	%	
Gravas	Bloques	5	
	Cantos	50	
	Guijarros	45	
Matriz	Arenas	30	
	Limos	40	
	Arcillas	30	
Hm > Goe			417

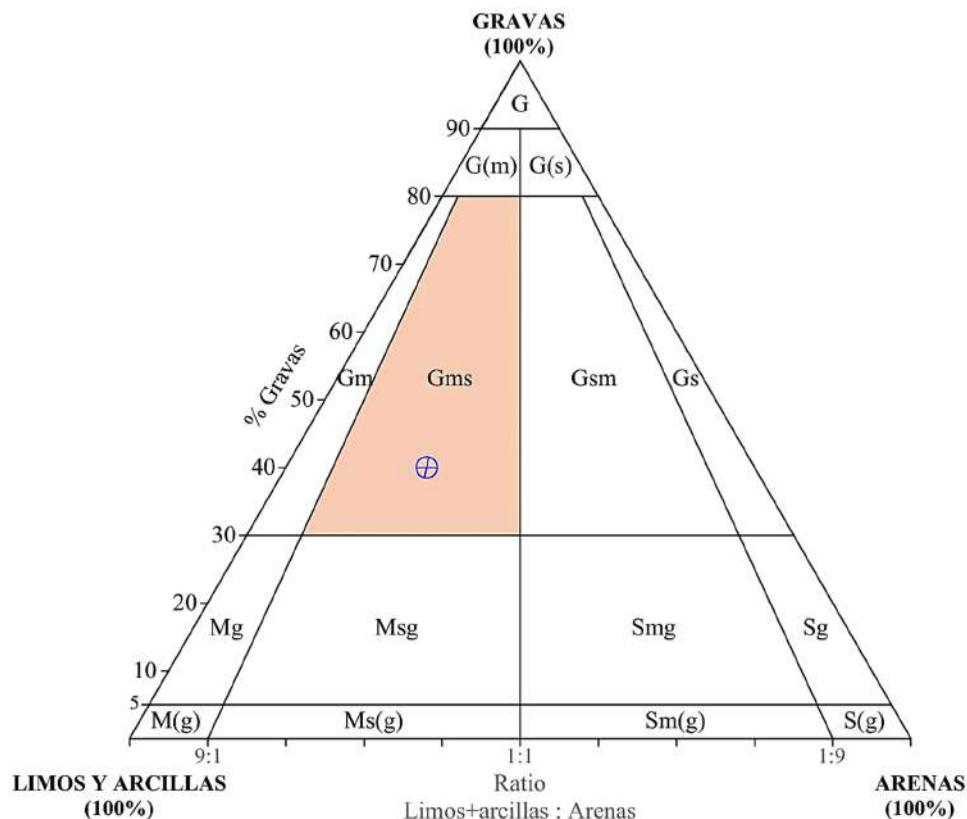


Diagrama 10: Estación Litoestratigráfica N° 10, se registró 40 % de gravas, 70 % de limos y arcillas, 30 % de arenas, (Gms): Gravas limo-arcillosas arenosas.

En la concesión minera de Raúl 1 (200 ha) se registraron diez (10) estaciones litoestratigráficas, distribuidas de acuerdo a la ubicación de los principales tajos y bancos de explotación, a continuación, se describen cada una de ellas:

- Estación litoestratigráfica N° 11

Ubicada en el cuadrante noreste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: páginas de óxido de manganeso (MnO_x) rodeando a gravas y en forma de lentes como parte de la matriz; micas, pirita (Py), sulfatos (Jar), óxidos de hierro (Hm, Goe, Lmt), clastos de andesita (an), gabro (gb), diorita (di), arenisca (sa), cuarcita (qzt); la sobrecarga tiene espesor de 2 m. Los horizontes de gravas y arenas presentan estratificación flaser. El grado de clasificación es bien seleccionado.



Fotografía 30: A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, con evidencias puntuales de estratificación flaser, lo cual sigue condiciones de sedimentación intermitente bajo un régimen de flujo variable, B) Estratificación cruzada lenticular, indicativa de condiciones de flujo variable durante la deposición o superficie de sedimentación es curva, C) Canto de una cuarcita, con superficie débilmente alterada.

Tabla 21: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 11. Longitud Este: 328628 – Latitud Norte: 8579203 – Altitud: 268 msnm.

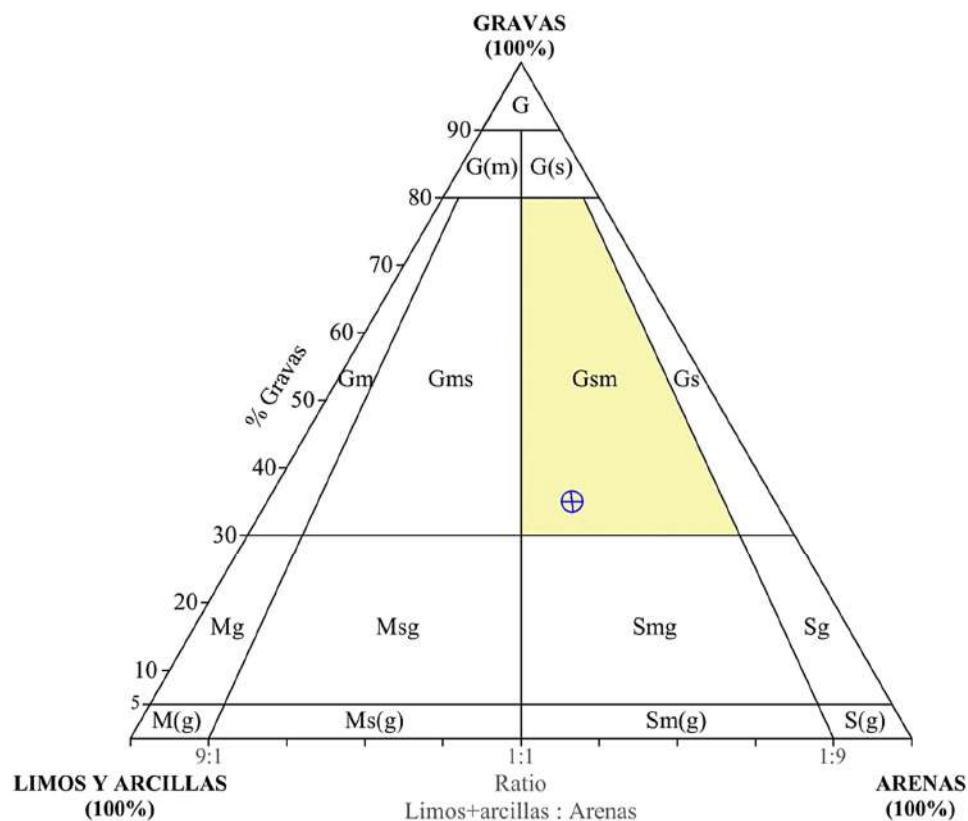
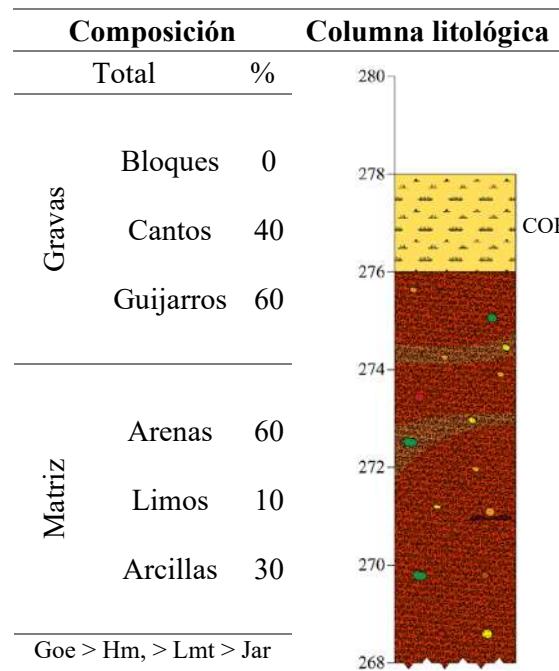
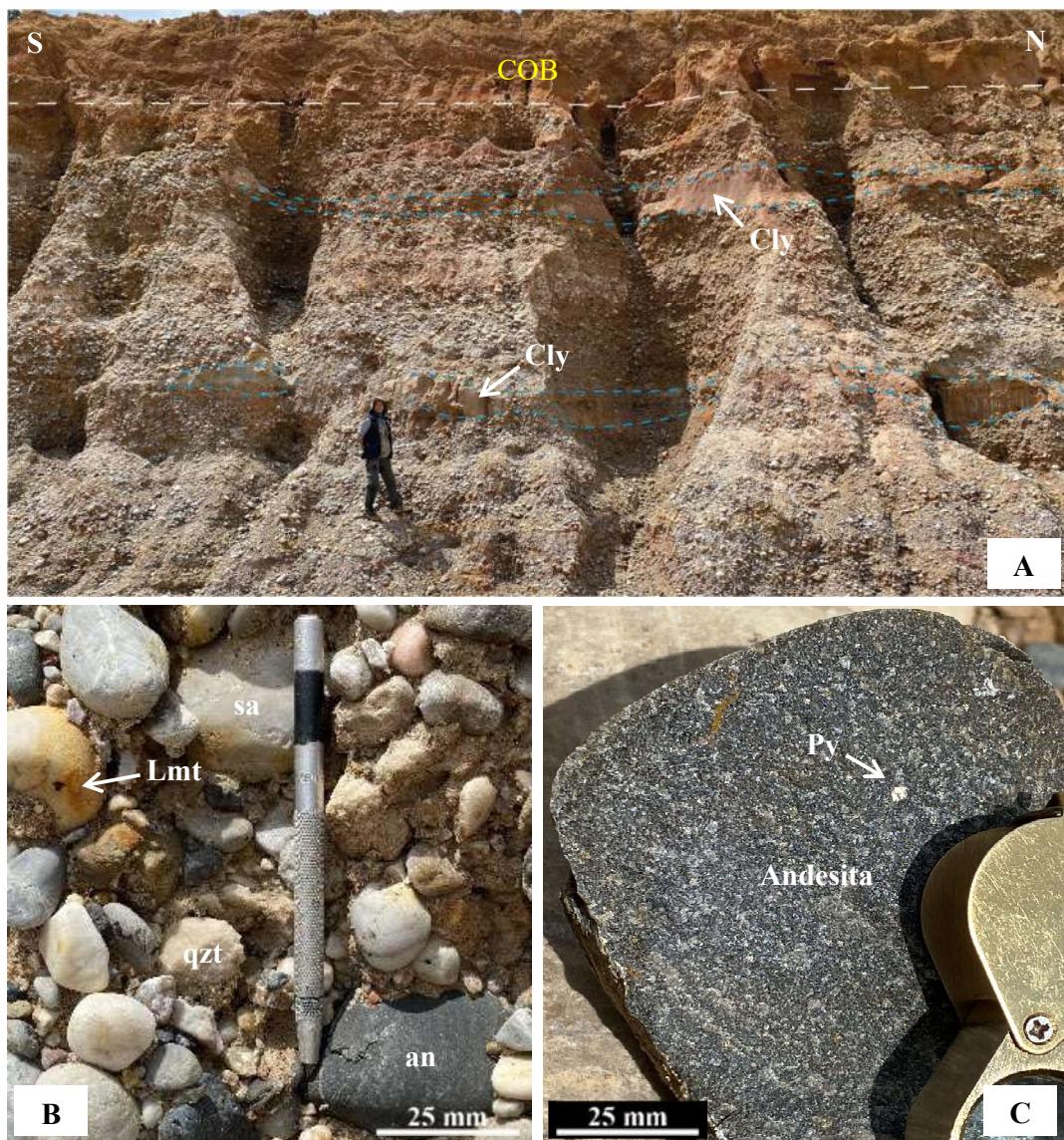


Diagrama 11: Estación Litoestratigráfica N° 11, se registró 35 % de gravas, 40 % de limos y arcillas, 60 % de arenas, (Gms): Gravas arenosas arcillo-limosas.

- Estación litoestratigráfica N° 12

Ubicada en el cuadrante noreste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: horizontes de óxido de manganeso ($MnOx$), micas, óxidos de hierro (Hm , Lmt , Goe), clastos de andesita (an), dacita (da), gabro (gb), diorita (di), arenisca (sa), cuarcita (qzt); horizontes bien definidos de arcillas, la sobrecarga tiene espesor de 4 m. El grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado.



Fotografía 31: A) Sección del frente de explotación, la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, horizontes de arcillas bien definidos, lo que indica una estratificación diferenciada y posibles variaciones en las condiciones de deposición asociados a eventos sedimentarios sucesivos en un ambiente de baja a moderada energía, B) Guijarros de diferente composición en matriz arenosa, C) Fragmento de un bloque de andesita moderadamente alterada.

Tabla 22: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 12. Longitud Este: 328371 – Latitud Norte: 8579629 – Altitud: 270 msnm.

Composición		Columna litológica
Total	%	
Gravas	Bloques 0	282
	Cantos 55	280
	Guijarros 45	278 COB
Matriz	Arenas 55	276
	Limos 10	274
	Arcillas 35	272
Hm > Lmt > Goe		270

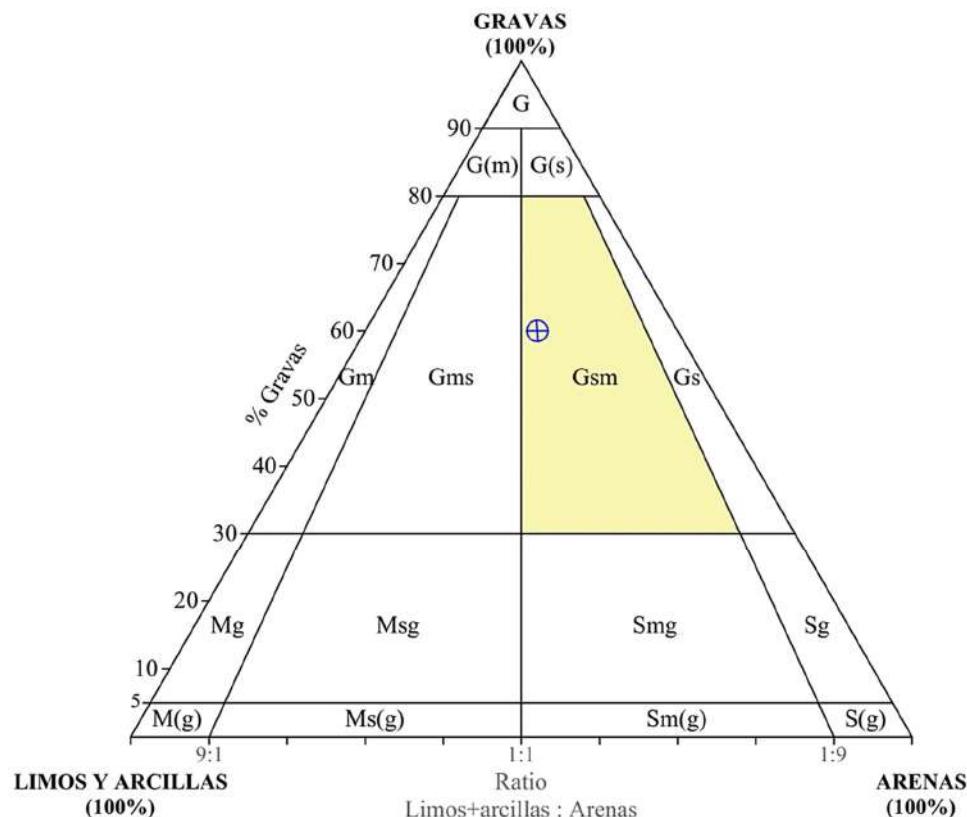
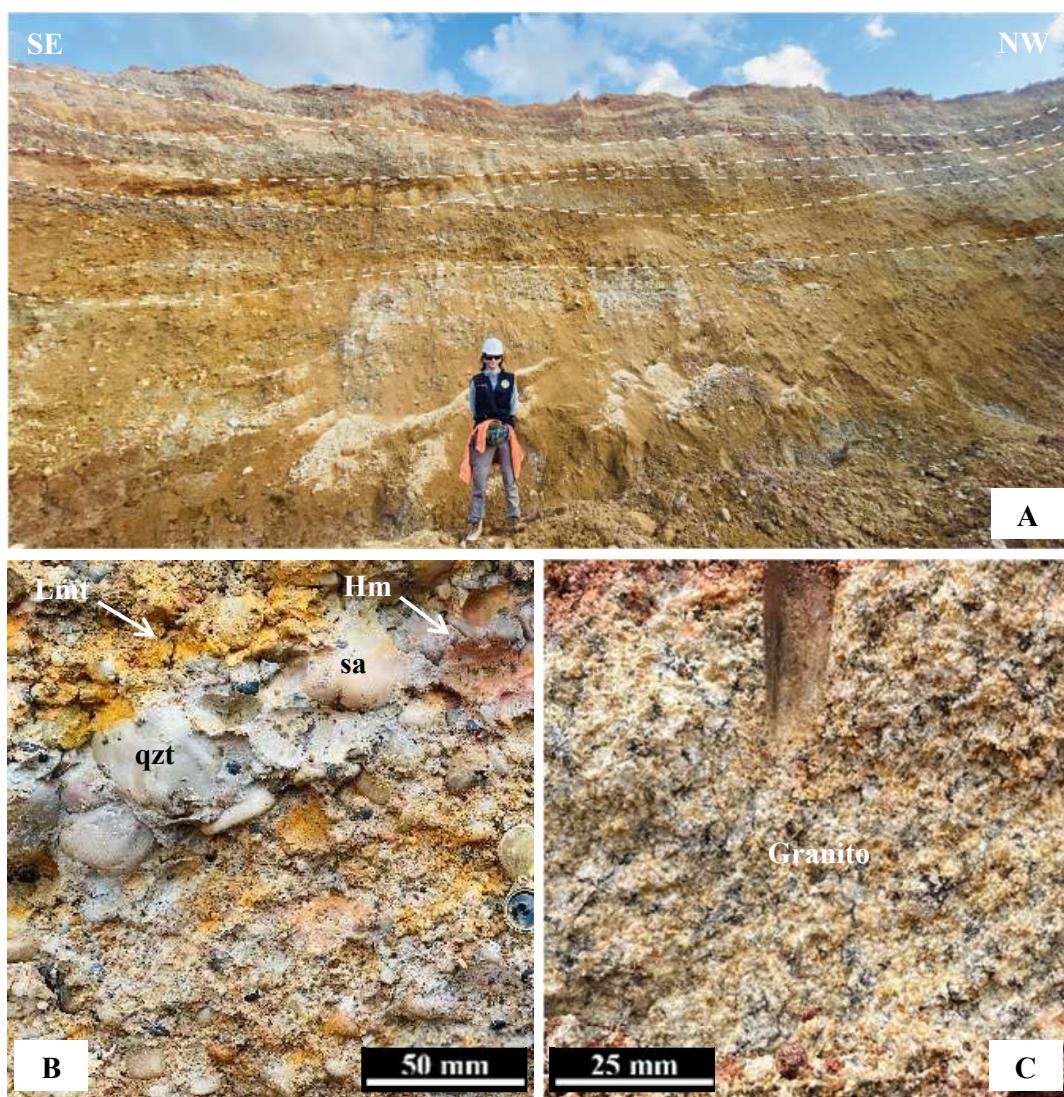


Diagrama 12: Estación Litoestratigráfica N° 12, se registró 60 % de gravas, 45 % de limos y arcillas, 55 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas arcillo-limosas.

- Estación litoestratigráfica N° 13

Ubicada en el cuadrante noreste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: horizontes de óxido de manganeso ($MnOx$), micas, epídota (Ep), sulfatos (Jar), óxidos de hierro (Hm, Lmt, Goe), clastos de andesita (an), gabro (gb), diorita (di), granito (gr), arenisca (sa), cuarcita (qzt); horizontes bien definidos de arcillas, la sobrecarga tiene espesor de 3.5 m. El grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado.



Fotografía 32: A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, horizontes con estratificación cruzada lenticular, lo que sugiere procesos de sedimentación influenciados por corrientes de flujo variable, donde se alternan fases de transporte y decantación, B) Guijarros de diferente composición rodeados por óxidos, en matriz arenosa, C) Fragmento de un canto de granito fuertemente alterado.

Tabla 23: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 13. Longitud Este: 328459 – Latitud Norte: 8578975 – Altitud: 301 msnm.

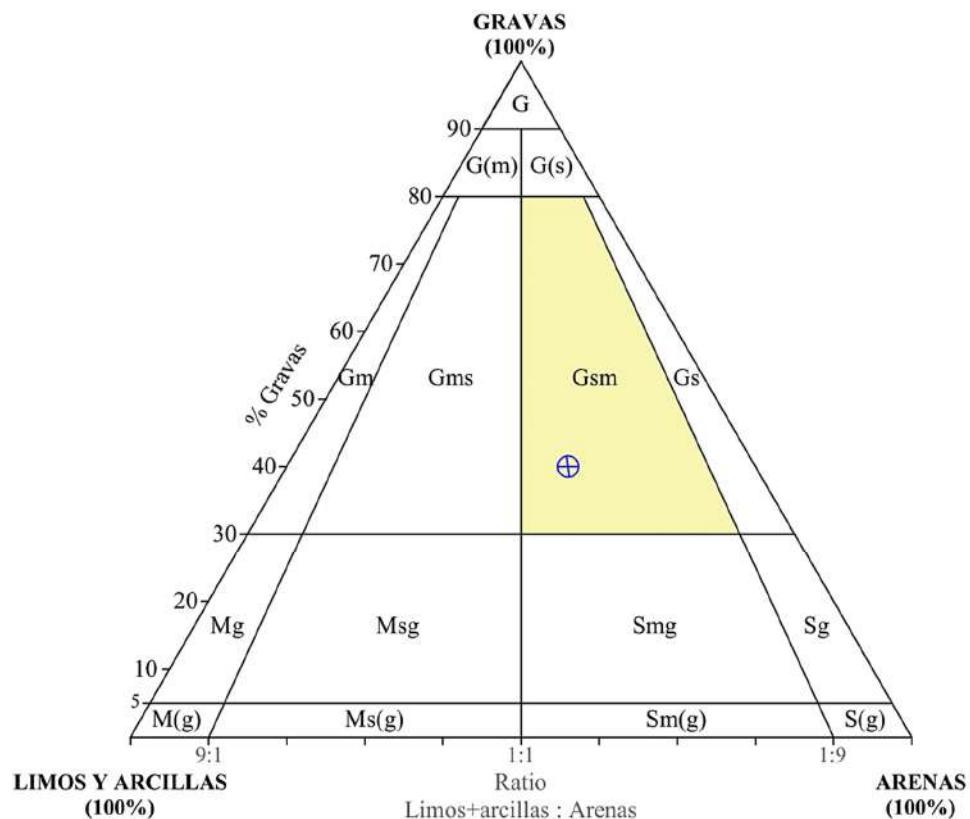
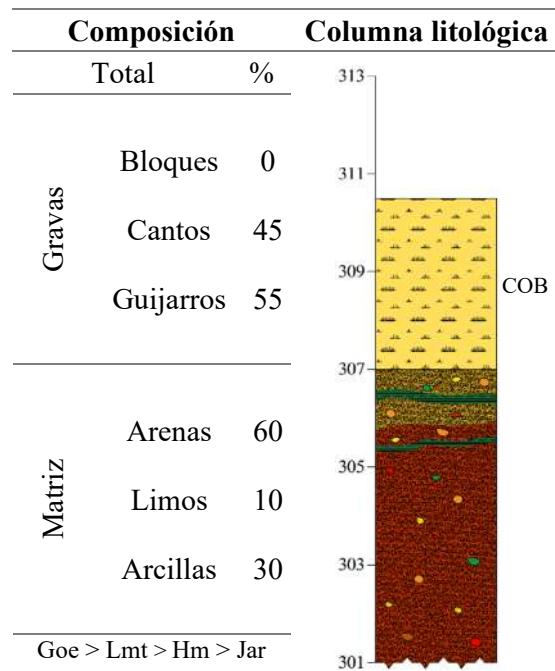
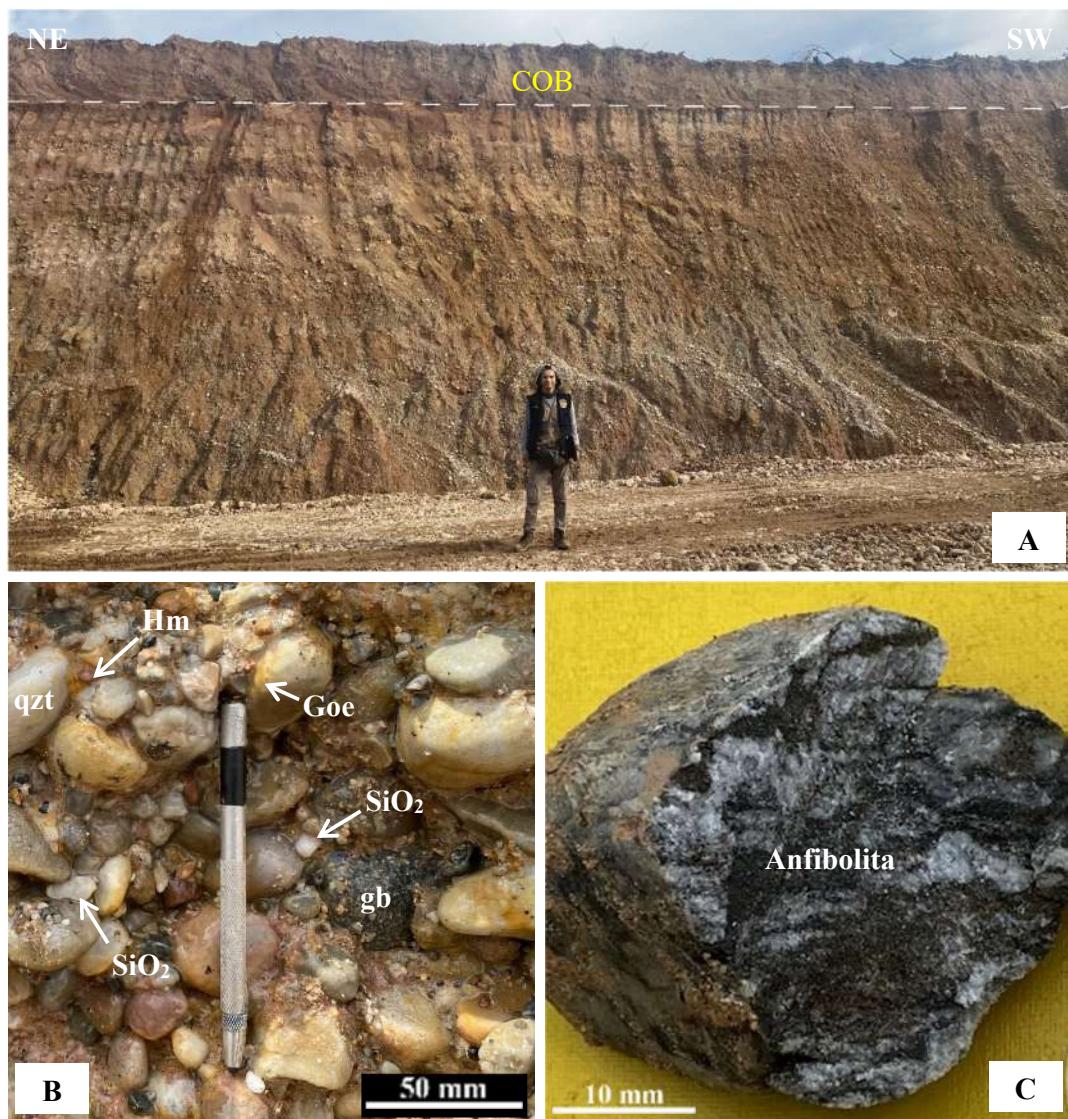


Diagrama 13: Estación Litoestratigráfica N° 13, se registró 40 % de gravas, 40 % de limos y arcillas, 60 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas arcillo-limosas.

- Estación litoestratigráfica N° 14

Ubicada en el cuadrante sureste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: horizontes de óxido de manganeso (MnO_x) y alrededor de gravas, partículas de cuarzo (Qz), óxidos de hierro (Hm, Goe), clastos de andesita (an), diorita (di), arenisca (sa), cuarcita (qzt) y anfibolita; la sobrecarga tiene espesor de 2.5 m. El grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado.



Fotografía 33: A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, lo que indica una adecuada selección de los clastos durante el proceso de deposición, indicador de que es un ambiente de flujo moderado, B) Guijarros de diferente composición rodeados por óxidos, en matriz arenosa, C) Fragmento de un guijarro de anfibolita moderadamente alterada.

Tabla 24: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 14. Longitud Este: 328625 – Latitud Norte: 8578162 – Altitud: 272 msnm.

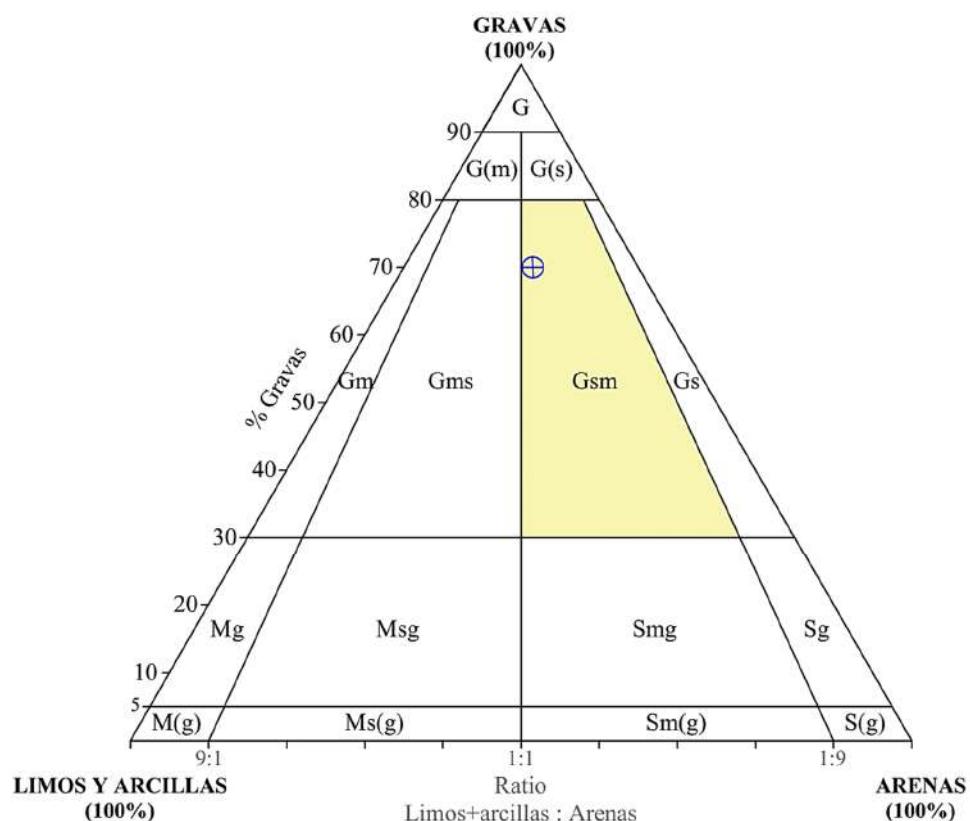
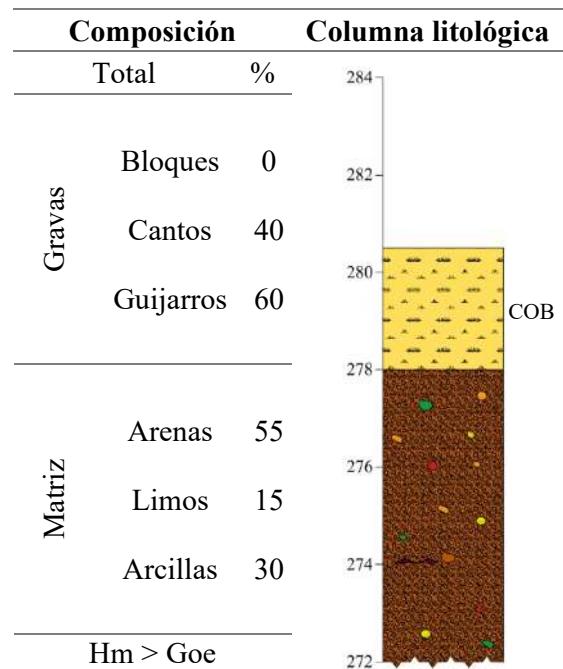
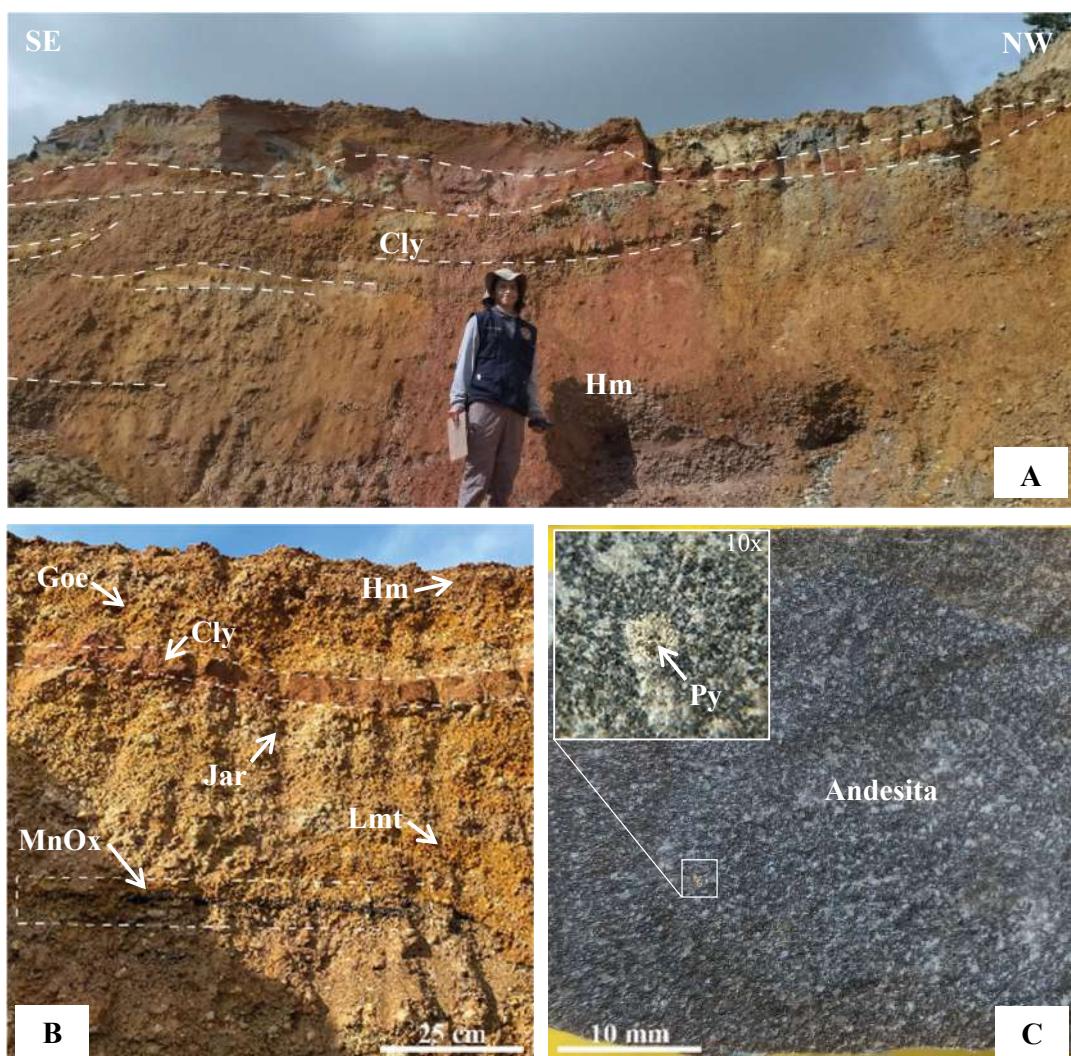


Diagrama 14: Estación Litoestratigráfica N° 14, se registró 70 % de gravas, 45 % de limos y arcillas, 55 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas arcillo-limosas.

- Estación litoestratigráfica N° 15

Ubicada en el cuadrante sureste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: pátinas de óxido de manganeso ($MnOx$), sulfatos (Jar), óxidos de hierro (Hm, Lmt, Goe), clastos de andesita (an), gabro (gb), diorita (di), arenisca (sa), cuarcita (qzt); horizontes bien definidos de arcillas, la sobrecarga tiene espesor de 3 m. El grado de clasificación de los clastos es moderadamente seleccionado.



Fotografía 34: A) Sección del frente de explotación, la distribución y clasificación de las gravas es moderadamente seleccionada, abundantes óxidos de hierro, lo que indica un proceso de meteorización avanzada, y niveles de arcillas bien definidos, sugiere variaciones en las condiciones de deposición, como fluctuaciones en la energía del ambiente sedimentario, B) Lentes de óxido de manganeso, niveles bien definidos de arcillas y óxidos de hierro rodeando a las gravas, C) Fragmento de un canto de andesita moderadamente alterada, presencia de una pátina de sulfuro de hierro.

Tabla 25: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 15. Longitud Este: 328681 – Latitud Norte: 8578424 – Altitud: 296 msnm.

	Composición		Columna litológica
	Total	%	
Gravas	Bloques	2	308 306 304 302 300 298 296
	Cantos	50	
	Guijarros	48	
Matriz	Arenas	55	COB 304 302 300 298
	Limos	15	
	Arcillas	30	
Goe > Hm > Lmt > Jar			

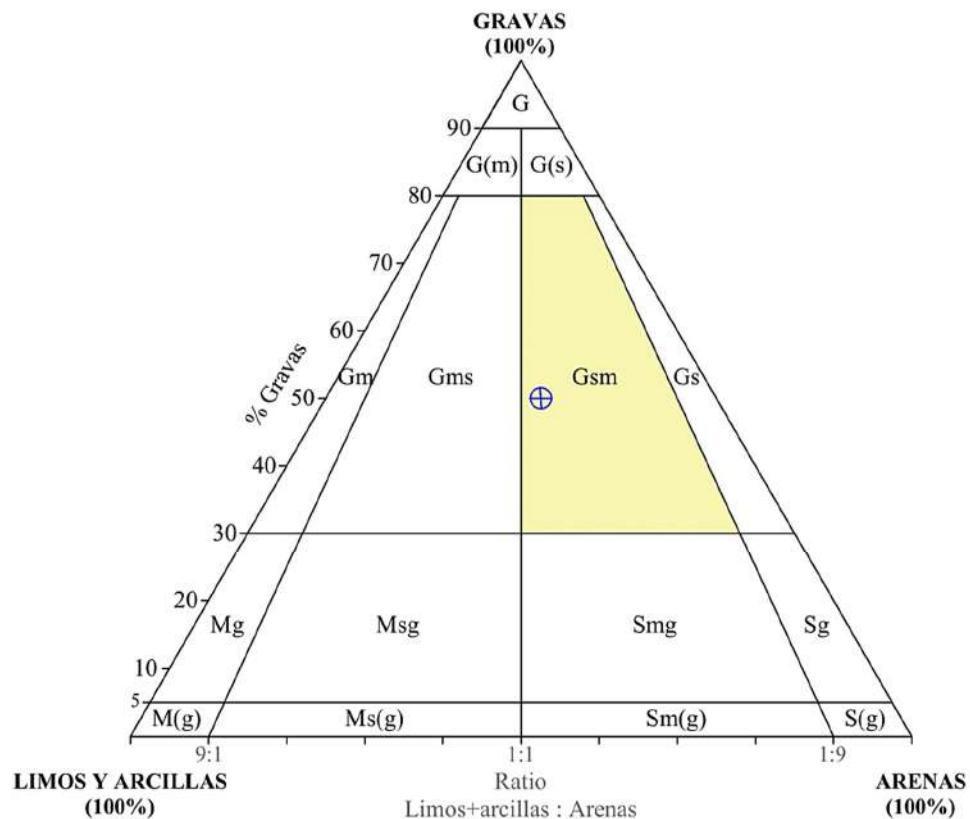
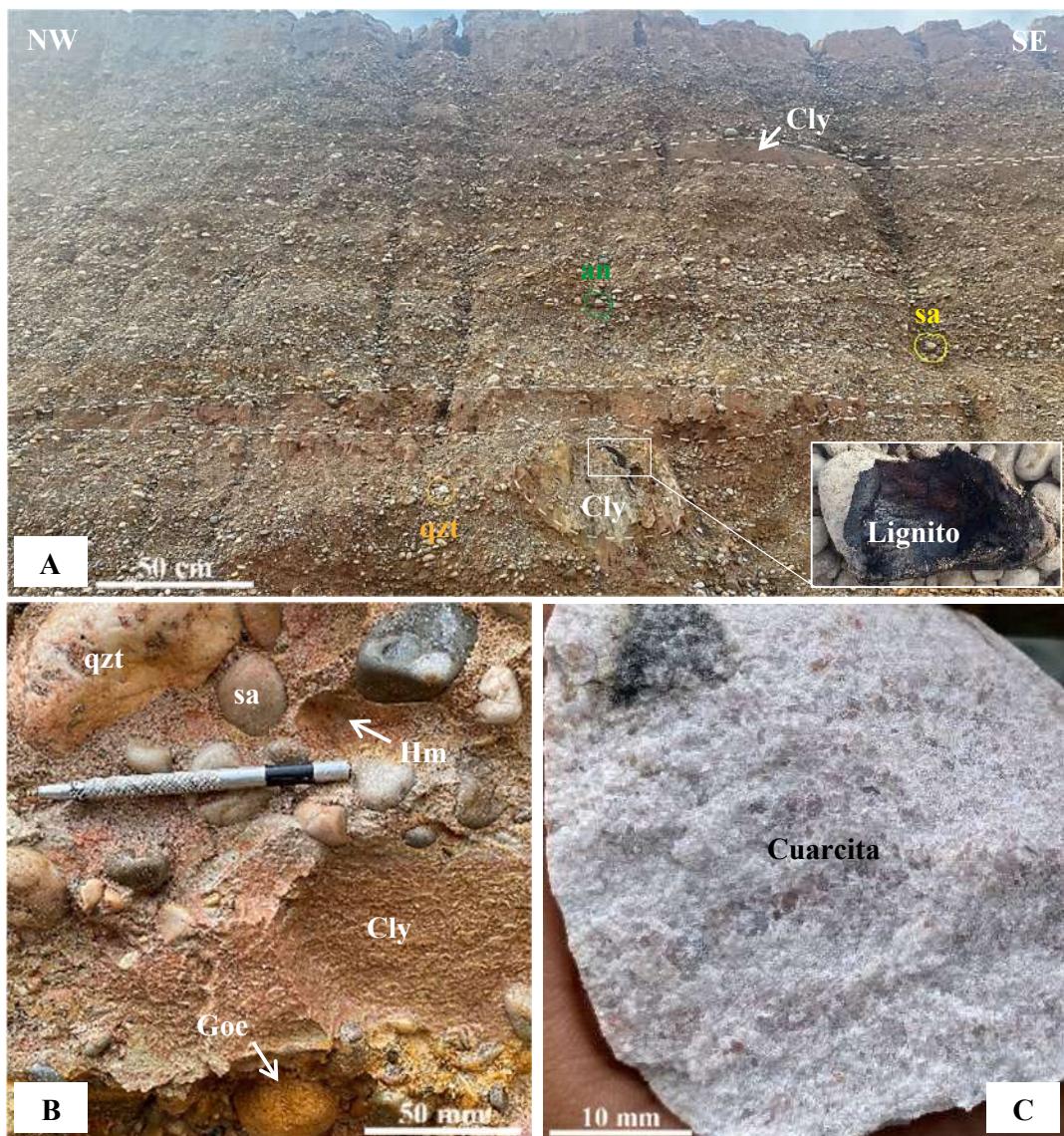


Diagrama 15: Estación Litoestratigráfica N° 15, se registró 50 % de gravas, 45 % de limos y arcillas, 55 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas arcillo-limosas.

- Estación litoestratigráfica N° 16

Ubicada en el cuadrante noreste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: lentes de óxido de manganeso ($MnOx$), óxidos de hierro (Hm, Lmt, Goe), clastos de andesita (an), gabro (gb), diorita (di), arenisca (sa), cuarcita (qzt); horizontes bien definidos de arcillas, se observan restos de vegetales fósiles (lignito), la sobrecarga tiene espesor de 3.5 m. El grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado.



Fotografía 35: A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, hay niveles de arcillas bien definidos, lo que sugiere una estratificación diferenciada y una variabilidad en las condiciones de deposición, B) Cuentas y guijarros de diferente composición en matriz arcillo - limosa, C) Fragmento de un bloque de cuarcita con la superficie moderadamente alterada.

Tabla 26: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 16. Longitud Este: 328728 – Latitud Norte: 8578884 – Altitud: 266 msnm.

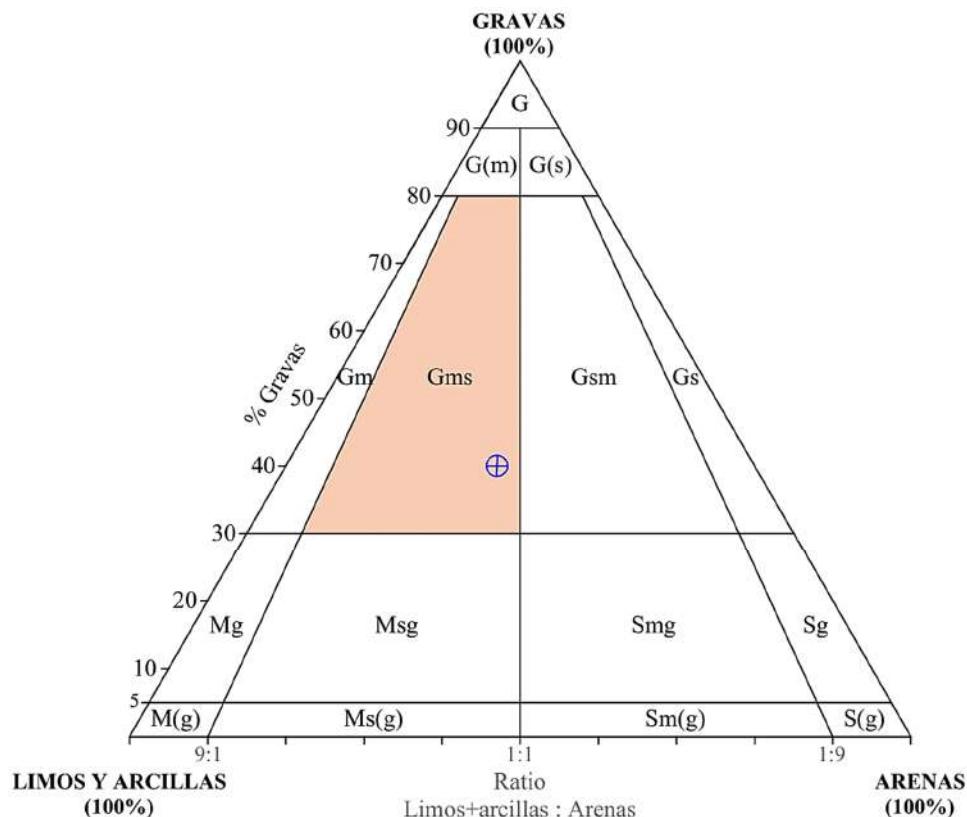
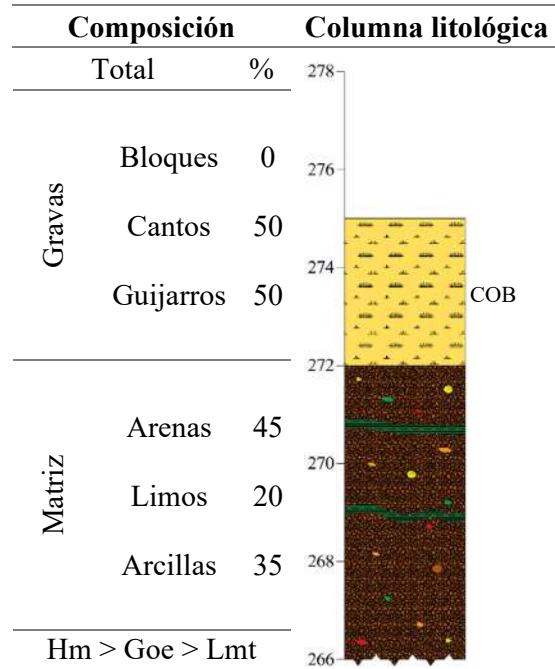
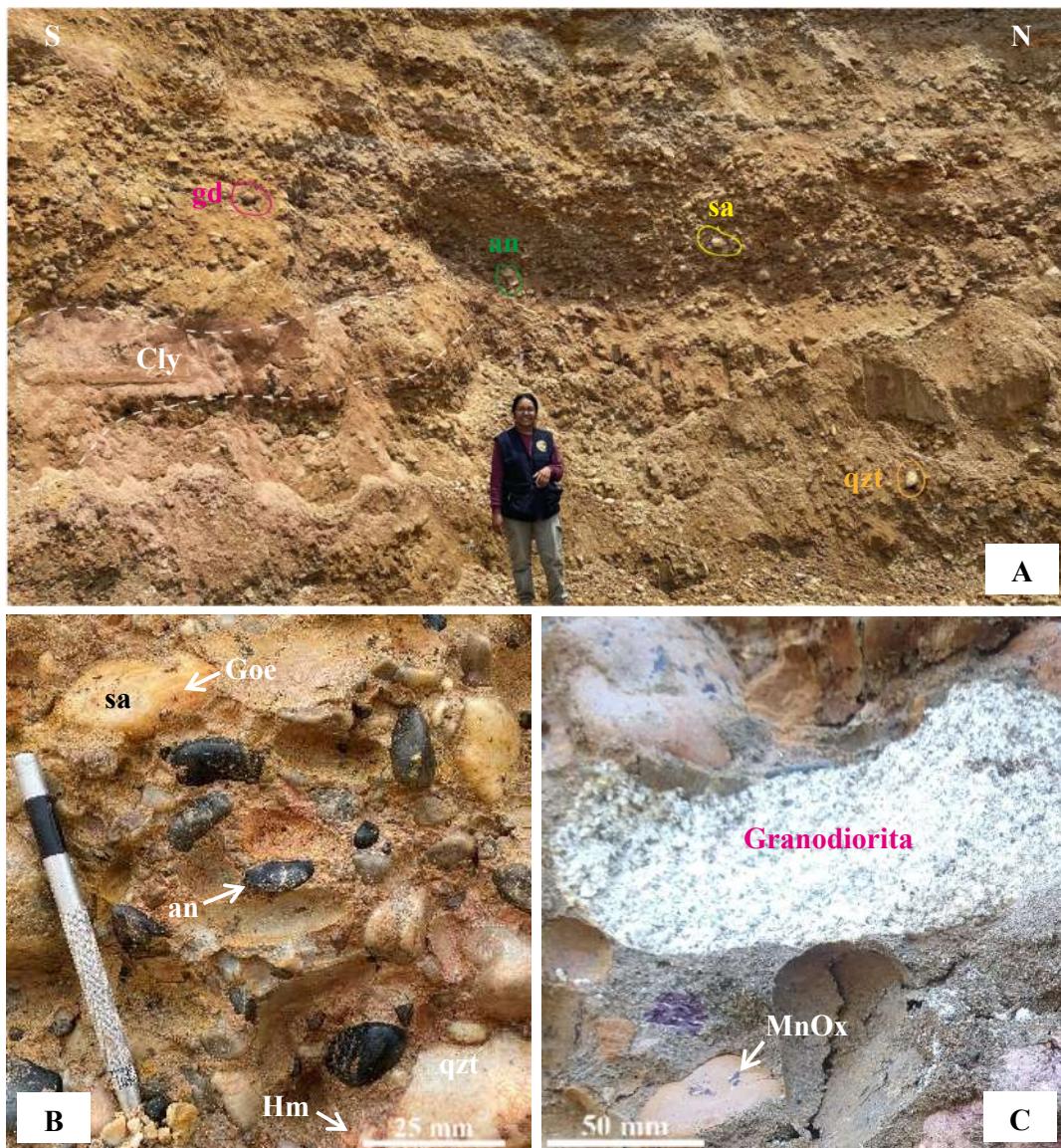


Diagrama 16: Estación Litoestratigráfica N° 16, se registró 40 % de gravas, 55 % de limos y arcillas, 45 % de arenas, (Gms): Gravas arcillo-limosas arenosas.

- Estación litoestratigráfica N° 17

Ubicada en el cuadrante noreste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: mica, óxidos de hierro en niveles bajos (Hm, Goe), clastos de andesita (an), granodiorita (gd), arenisca (sa), cuarcita (qzt); la sobrecarga tiene espesor de 3 m. El grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado.



Fotografía 36: A) Perfil del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, niveles de arcillas mayor a 35 cm, lo que indica una estratificación marcada y una variabilidad en las condiciones de deposición, B) Cuentagotas y guijarros de diferente composición en matriz arenosa, C) Cuentagotas de rocas ígneas intrusivas fuertemente alteradas en matriz arenosa.

Tabla 27: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 17. Longitud Este: 328554 – Latitud Norte: 8578639 – Altitud: 280 msnm.

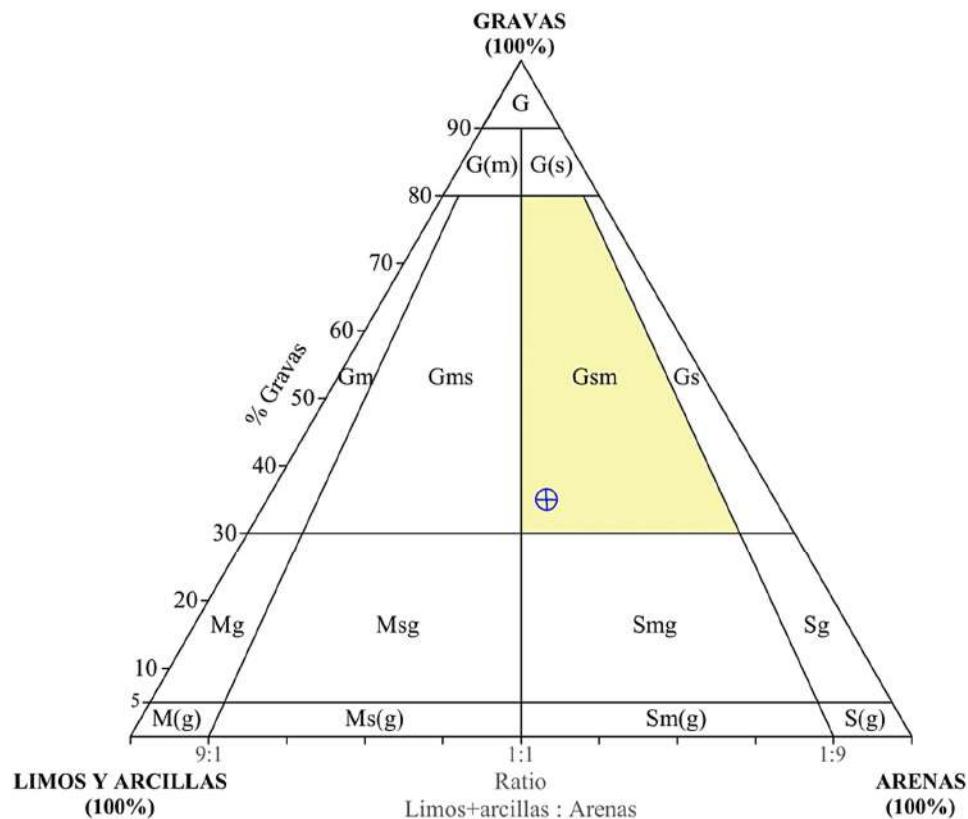
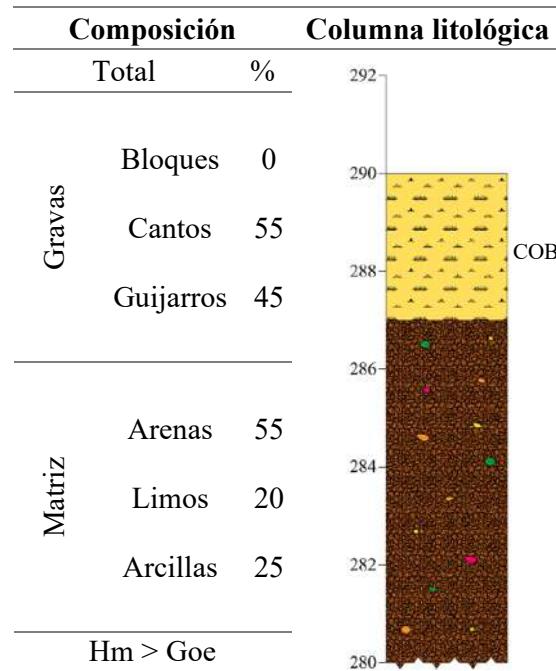


Diagrama 17: Estación Litoestratigráfica N° 17, se registró 35 % de gravas, 45 % de limos y arcillas, 55 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas arcillo-limosas.

- Estación litoestratigráfica N° 18

Ubicada en el cuadrante noroeste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: óxido de manganeso ($MnOx$) rodeando las gravas, óxidos de hierro (Hm , Lmt , Goe) en niveles muy bajos, horizontes bien definidos de arcillas (0.3 m), clastos de andesita (an), granito (gr), granodiorita (gd), arenisca (sa), cuarcita (qzt); la sobrecarga tiene espesor de 3.5 m. El grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado.



Fotografía 37: A) Perfil del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada y niveles bien definidos de arcillas, lo que indica una diferenciación en las condiciones de deposición a lo largo del proceso de deposición, B) Cantes y guijarros de diferente composición rodeados por pátinas de óxidos, C) Gravas en matriz arenosa, presencia de pátinas de óxidos de hierro.

Tabla 28: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 18. Longitud Este: 328299 – Latitud Norte: 8578694 – Altitud: 264 msnm.

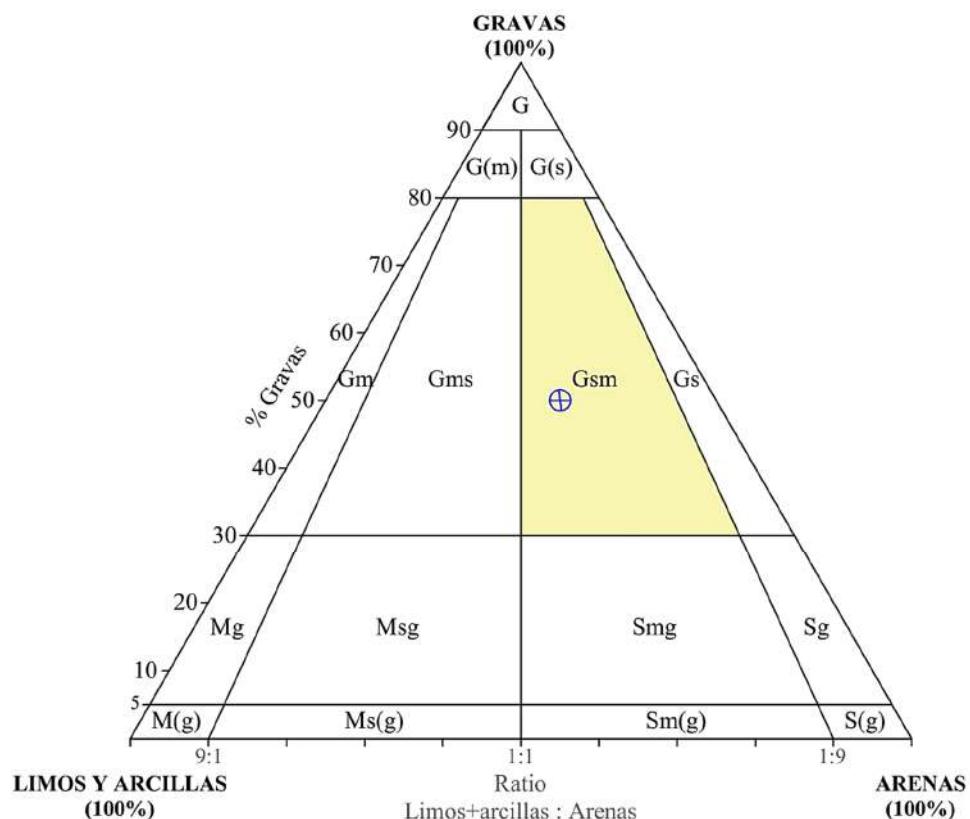
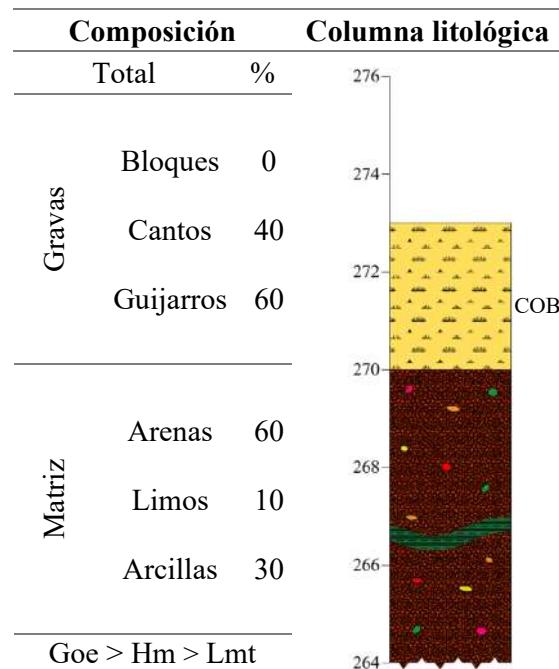
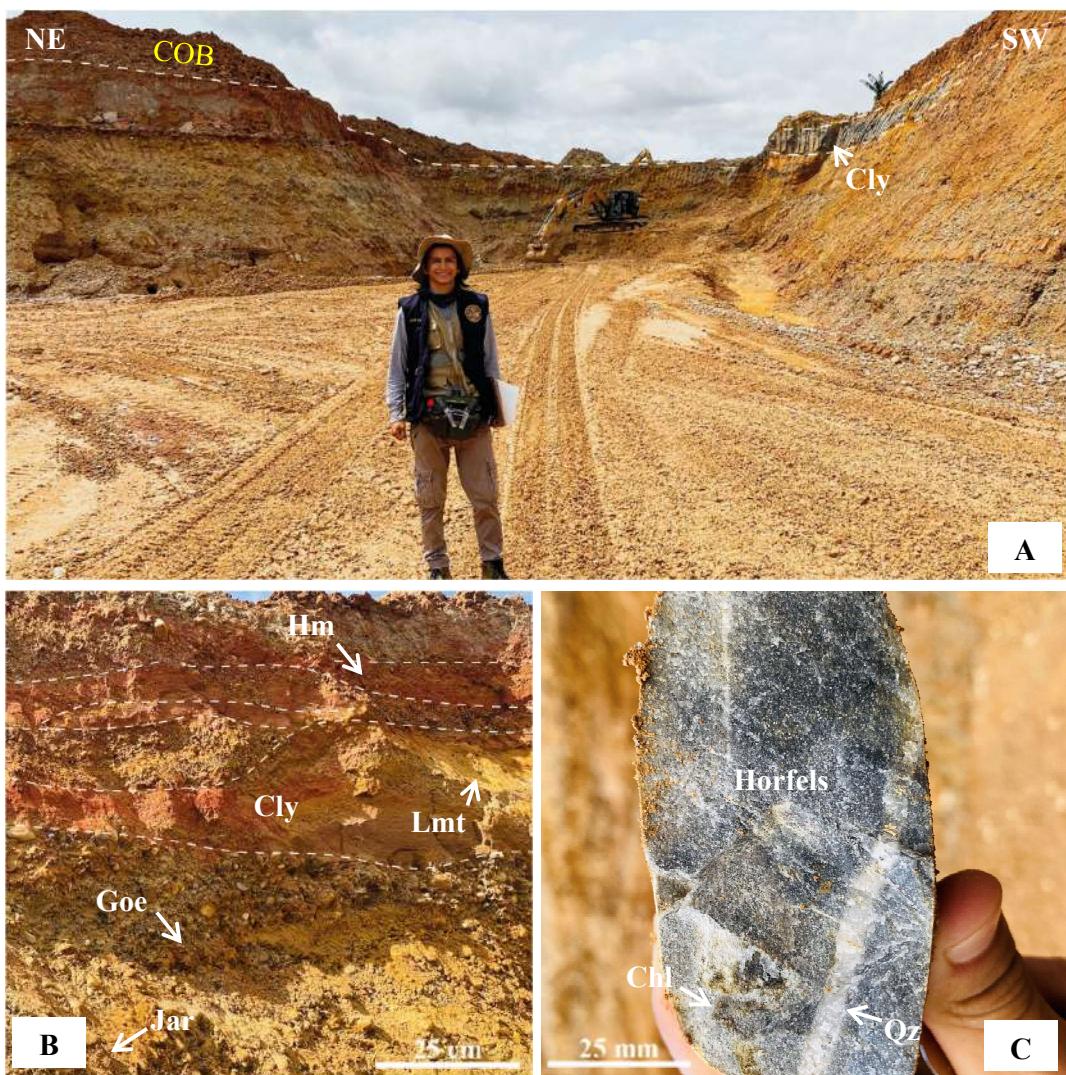


Diagrama 18: Estación Litoestratigráfica N° 18, se registró 50 % de gravas, 40 % de limos y arcillas, 60 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas arcillo-limosas.

- litoestratigráfica N° 19

Ubicada en el cuadrante noroeste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: óxido de manganeso ($MnOx$) rodeando gravas y en pequeños lentes formando parte de la matriz, partículas de cuarzo (Qz), clorita (Chl), sulfatos (Jar), niveles altos de óxidos de hierro (Hm, Lmt, Goe), horizontes bien definidos de arcillas (entre 0.1 y 0.4 m), clastos de andesita (an), granito (gr), arenisca (sa), cuarcita (qzt), horfels; la sobrecarga tiene espesor de 3.5 m. El grado de clasificación de los clastos es moderadamente seleccionado.



Fotografía 38: A) Corte de explotación con más de 10 metros de profundidad e inclinación de talud de 30° , niveles superiores con predominancia de arcillas, B) Cantos y guijarros de diferente composición rodeados por abundantes pátinas de óxidos, horizontes de arcillas mayores a los 10 cm, C) Fragmento de un canto de roca metamórfica corneana o horfels moderadamente alterada, con vetillas de óxido de silicio y láminas de clorita.

Tabla 29: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 19. Longitud Este: 328062 – Latitud Norte: 8579504 – Altitud: 298 msnm.

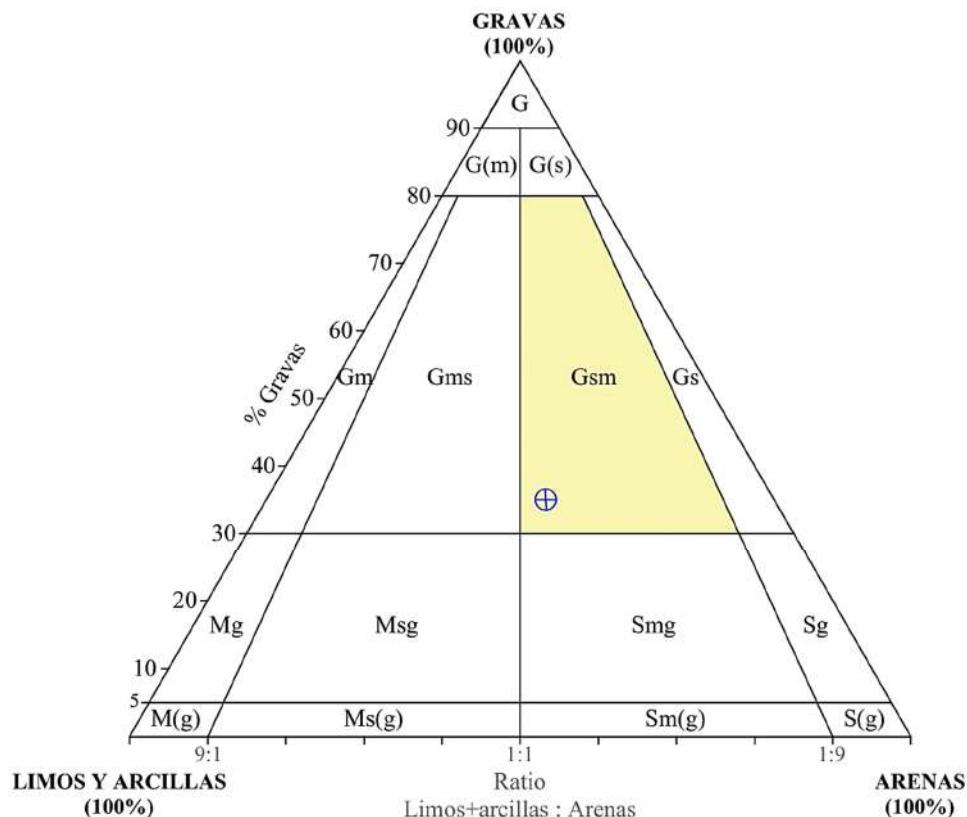
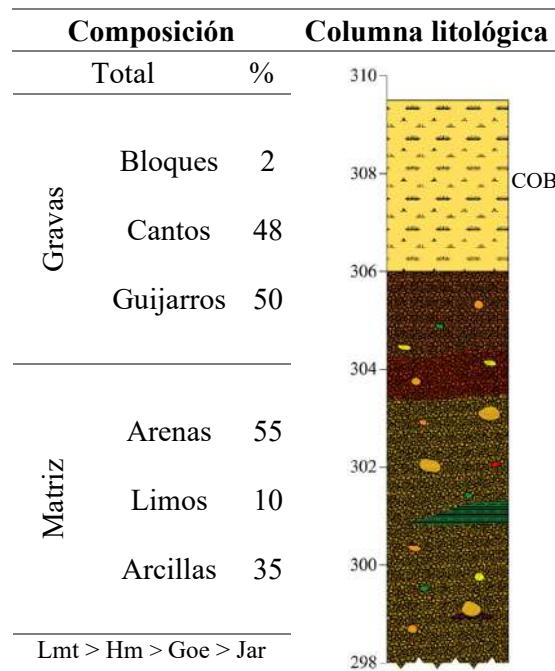
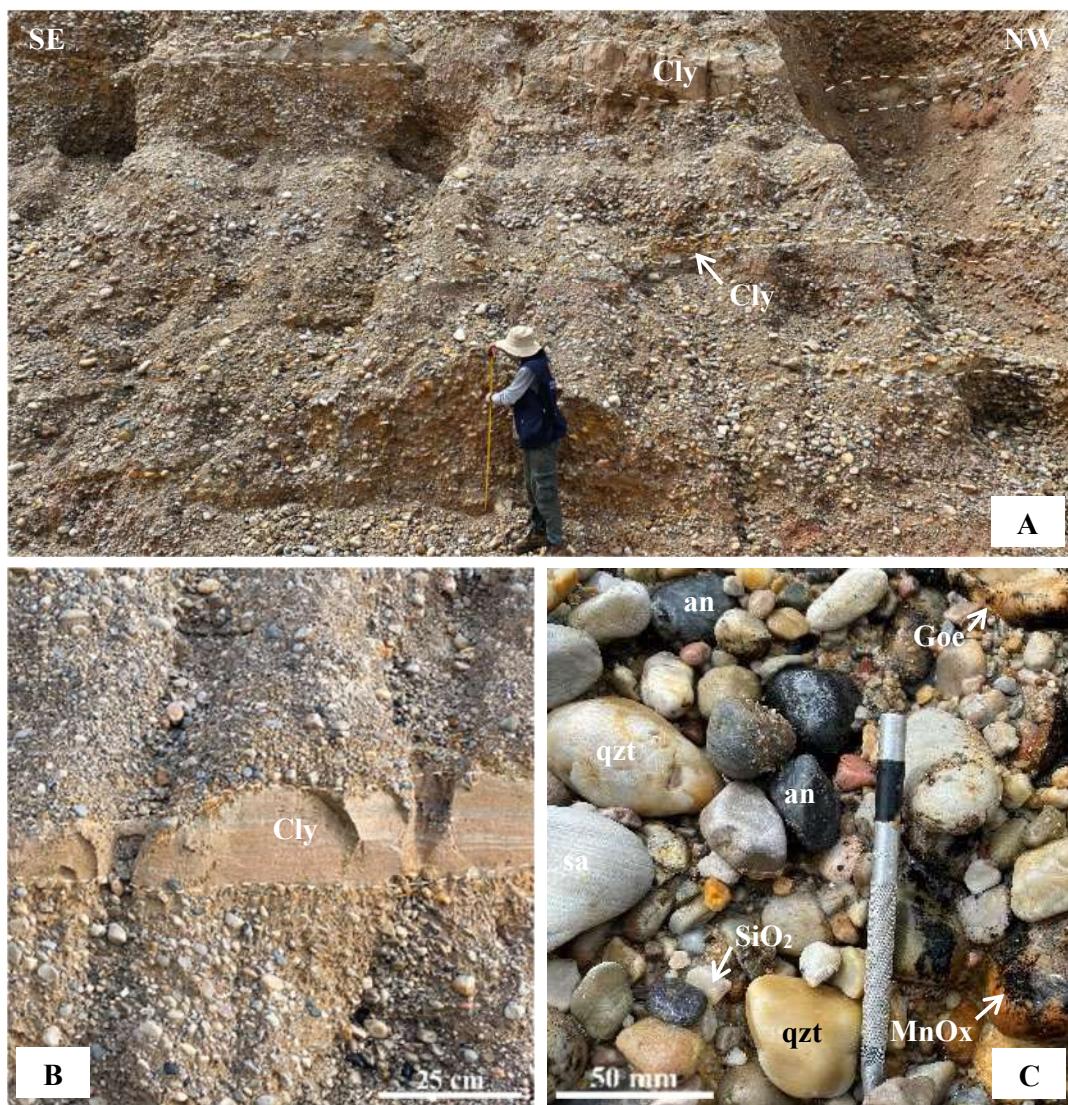


Diagrama 19: Estación Litoestratigráfica N° 19, se registró 35 % de gravas, 45 % de limos y arcillas, 55 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas arcillo-limosas.

- Estación litoestratigráfica N° 20

Ubicada en el cuadrante sureste de Raúl 1, macroscópicamente se identificaron: óxido de manganeso ($MnOx$) rodeando gravas y en pequeños lentes formando parte de la matriz, partículas de cuarzo (Qz), óxidos de hierro (Hm, Lmt, Goe) en bajas concentraciones, horizontes de arcillas (0.35 m), clastos de andesita (an), diorita (di), arenisca (sa), cuarcita (qzt); la sobrecarga tiene espesor de 3 m. El grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado.



Fotografía 39: A) Sección del frente de explotación, donde la distribución y clasificación de las gravas es bien seleccionada, lo que sugiere un proceso de depositación eficiente bajo condiciones de flujo estable, B) Guijarros de diferente composición y horizontes de arcillas hasta de 2.5 cm, C) Guijarros de diferentes orígenes y composiciones, presencia de óxidos en los alrededores.

Tabla 30: Registro litoestratigráfico y clasificación granulométrica de la Est. L. N° 20. Longitud Este: 328395 – Latitud Norte: 8578305 – Altitud: 268 msnm.

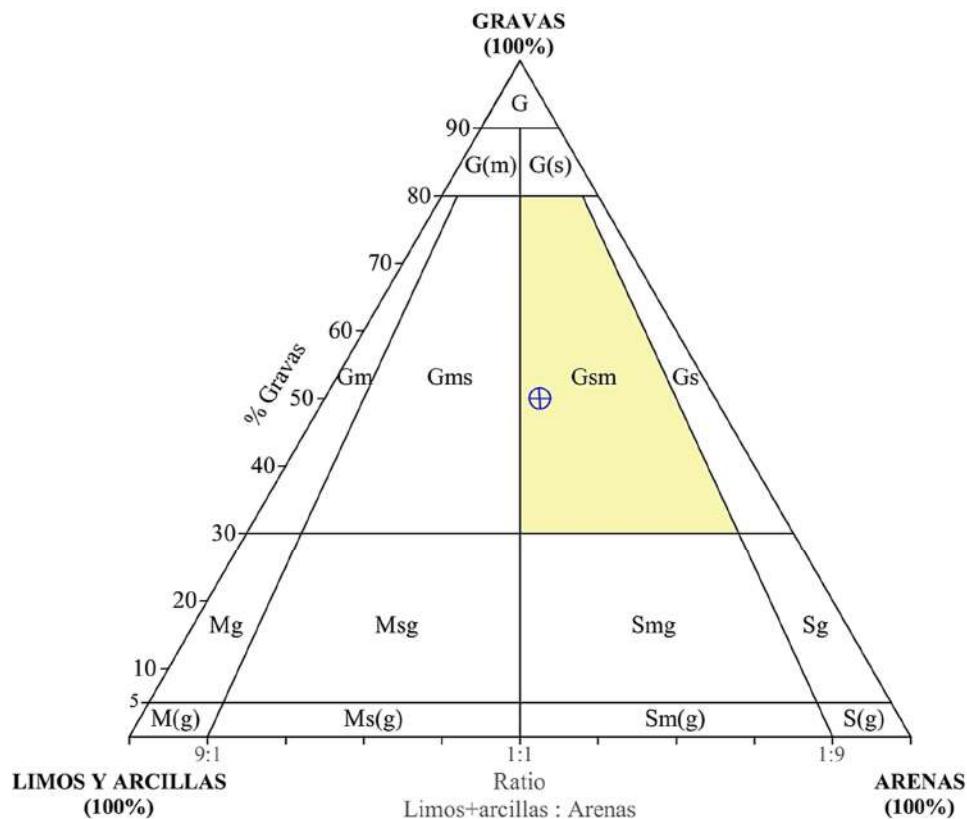
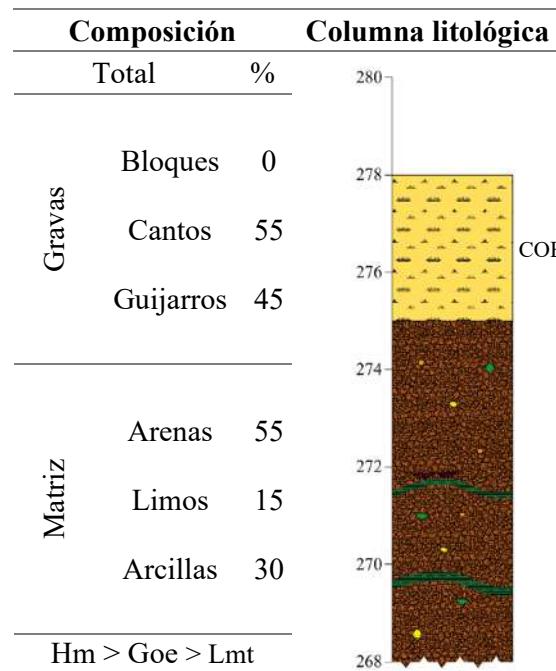


Diagrama 20: Estación Litoestratigráfica N° 19, se registró 50 % de gravas, 45 % de limos y arcillas, 55 % de arenas, (Gsm): Gravas arenosas arcillo-limosas.

Ambas zonas de investigación (Puerto Belén y Raúl 1), pertenecen al periodo Cuaternario que abarca los 2.58 Ma. hasta la actualidad (Cohen et al., 2023), están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, conformando parte de la Faja Subandina y Llanura Amazónica con canales de paleocorrientes orientados al este; los depósitos se ubican al margen izquierdo del río Inambari (Puerto Belén) y al margen derecho del río Colorado (Raúl 1), encontrándose oro aluvial en gravas arenosas (Palacios et al., 1996). Las columnas litoestratigráficas registradas en cada una de las estaciones, describen diferentes horizontes de acuerdo a las características de deposición que sufrieron, en primer lugar, un nivel superior de sobrecarga o cobertura vegetal (0.5 a 4 m), que suprayace a horizontes de gravas con matriz compuesta por arenas, limos y arcillas, acompañados por distintos minerales distribuidos en diferentes proporciones. Las gravas identificadas son clastos de rocas redondeadas a sub redondeadas de origen ígneo, sedimentario y metamórfico, cuyas dimensiones dependen directamente de la distancia de transporte que sufrieron y resistencia a la meteorización. Ambos depósitos aluviales (Puerto Belén y Raúl 1), tienen como fuente primaria de oro a las rocas paleozoicas de la Cordillera Oriental (Formación Ananea y Sandia) y anfibolitas del Complejo de Iscaybamba (Palacios et al., 1996; Arcos & Calderón, 2019), entonces, la mineralogía y procedencia de las gravas está influenciada por los cuerpos rocosos o formaciones geológicas por donde discurren los ríos Inambari y Colorado (Ledesma, 2021). Existen notables diferencias respecto a las características geológicas de deposición y composición mineralógica entre ambos depósitos, debido a que están ubicados en diferentes unidades hidrográficas, Puerto Belén dentro de la Cuenca Inambari, mientras que Raúl 1 pertenece a la Intercuenca Alto Madre de Dios (Autoridad Nacional del Agua, 2011), así como también estar dentro de diferentes dominios estructurales, Zona Subandina y Llanura Amazónica, respectivamente (Loaiza & Calderón, 2021). En **Puerto Belén**, los estratos son gruesos y desordenados, lo que implica que se formaron con energía elevada en un tiempo de deposición corto (Pettijohn, 1975); el grado de clasificación de los clastos es mal seleccionado (bloques: 5 %, cantos: 50 %, guijarros: 45%), el considerable porcentaje de bloques indican menor trayecto o distancia de transporte que sufrió; de acuerdo a la composición y clasificación en el esquema de clasificación textural de sedimentos de Folk (modificada por Blair & McPherson, 1999), son gravas limo-arcillosas arenosas (45 %), gravas arenosas limo-arcillosas (30 %) y gravas arcillo-limosas arenosas (25 %), más del 25 % de las gravas están fuertemente alteradas (>50 %) descomponiéndose a suelo, los principales óxidos que se identifican son hematita, goetita y limonita (de mayor a menor concentración respectivamente), y no se registran niveles bien definidos de arcillas; mientras

que en **Raúl 1**, los estratos son delgados, ordenados y horizontales, lo que implica que se formaron con energía baja en un tiempo de deposición largo (Pettijohn, 1975); el grado de clasificación de los clastos es bien seleccionado (bloques: 1 %, cantos: 54 %, guijarros: 45 %), el considerable porcentaje de cantos y guijarros indican mayor trayecto o distancia de transporte que sufrieron; de acuerdo a la composición y clasificación en el esquema de clasificación textural de sedimentos de Folk (modificada por Blair & McPherson, 1999), son gravas arenosas arcillo-limosas (90 %) y gravas arcillo-limosas arenosas (10 %), el 25 % de las gravas están moderadamente alteradas (>25-50 %), los principales óxidos que se identifican son goetita, hematita y limonita (de mayor a menor concentración respectivamente), es posible visualizar niveles de arcillas bien definidos (0.1 a 0.4 m).

Luego de registrar la información geológica obtenida en cada una de las estaciones litoestratigráficas, se obtuvo una columna litoestratigráfica generalizada por cada zona de investigación (ver anexos Columna 01 y Columna 02).

Tabla 31: Resumen comparativo entre los dos depósitos aluviales seleccionados como zonas de investigación.

	Depósito aluvial	
	Puerto Belén	Raúl 1
Dominio estructural	Zona Subandina (relieve antiguo)	Llanura Amazónica (relieve moderno)
Unidad hidrográfica	Cuenca Inambari	Intercuenca Alto Madre de Dios
Composición y clasificación	Gravas limo-arcillosas arenosas	Gravas arenosas arcillo-limosas
Grado de clasificación de clastos	Mal seleccionado	Bien seleccionado
Intensidad de alteración	Gravas fuertemente alteradas (3)	Gravas moderadamente alteradas (2)
Energía y tiempo de deposición	Mayor energía en corto tiempo	Menor energía en largo tiempo

4.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

4.2.1. Separación y Concentración de Minerales

Para obtener el preconcentrado (arenas negras), es necesario mencionar que se inicia con la etapa de minado que incluye: desbroce de la cobertura vegetal, arranque de sobrecarga, arranque del material aurífero, carguío y acarreo; etapa de beneficio: descarga del material aurífero en la tolva del chute, lavado con agua a presión, clasificación por granulometría utilizando zaranda (partículas menores a $\frac{1}{2}$ "'), clasificación por densidades en las alfombras, recuperación de los preconcentrados (10 kg en promedio por turno de 8 horas) mediante el sacudido de alfombras. La etapa de beneficio finaliza con el procedo de amalgamación o incluyendo otro método alternativo (equipos gravimétricos, sinterización, flotación).



Figura 27: Proceso para la separación y concentración de minerales: **A)** Preparación del banco (desbroce de la cobertura vegetal, arranque de la sobrecarga y arranque del material aurífero), **B)** Carguío, **C)** Acarreo, **D)** Descarga de material en el chute, **E)** Lavado con agua a presión en la tolva del chute y clasificación granulométrica en la zaranda, **F)** Clasificación por densidades en las alfombras millonarias, **G)** Recuperación de preconcentrados mediante el sacudido de las alfombras, **H)** Preconcentrado final.

Las muestras representativas para los posteriores análisis (geoquímicos, microscópicos y granulométricos) se obtuvieron utilizando el siguiente método de muestreo: secado o eliminación del porcentaje de humedad del preconcentrado, homogenización (mediante roleo) del preconcentrado seco, cuarteo (utilizando cuarteador tipo Jones y cruceta) hasta obtener la masa de muestra requerida, la muestra representativa es rotulada, embalada y enviada a laboratorio.

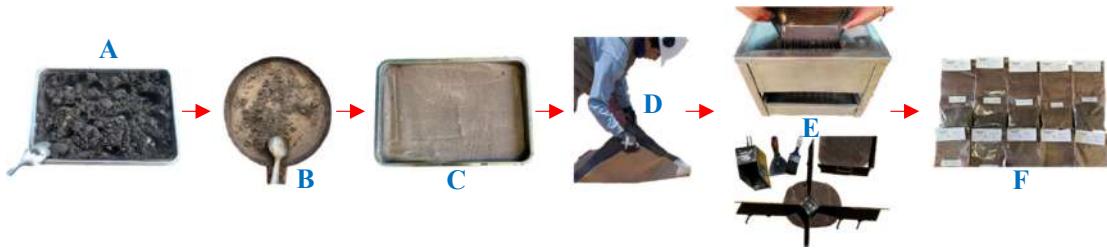


Figura 28: Método de muestreo utilizado: **A)** Preparación del preconcentrado, **B)** Secado del preconcentrado, **C)** Ventilación del preconcentrado, **D)** Homogenización a través del roleo, **E)** Toma de muestra utilizando Cuarteador tipo Jones o Cruceta, **F)** Muestra representativa rotulada y embalada.

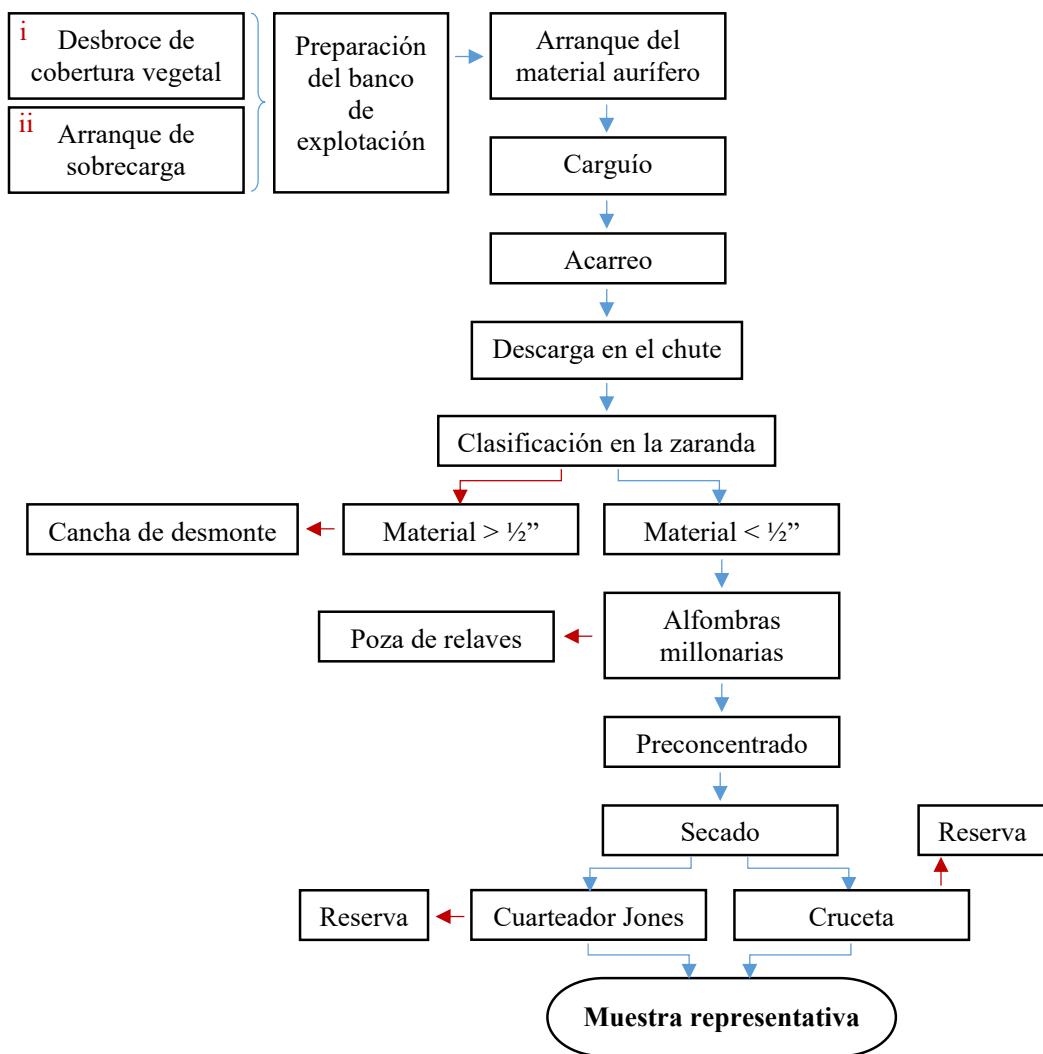


Figura 29: Diagrama de flujo de la separación y concentración de minerales, aplicado en cada una de las zonas de investigación hasta obtener las muestras representativas de preconcentrados para los respectivos análisis y ensayos.

4.2.2. Geoquímica

Se incluyen los siguientes ensayos o métodos geoquímicos, que se aplicaron a diversas muestras de preconcentrados obtenidos en cada una de los depósitos aluviales auríferos, con lo que se busca conocer los elementos químicos que componen a las muestras, teniendo como principal referente al elemento químico oro (Au).

- **Análisis de Oro por Ensayo al Fuego (AuFFAA)**

Puerto Belén: Se analizaron trece (13) muestras representativas, cada una de ellas correspondiente a un preconcentrado (arenas negras) obtenido en un turno de ocho (8) horas de trabajo, donde se desarrolló el proceso para la separación y concentración de minerales explicado en la Figura 24. Los análisis fueron realizados por el laboratorio del Centro de Innovación Tecnológica (CITE) de minería y medio ambiente, reportando los siguientes resultados, la mayor ley o concentración de oro registrada es de 3575.50 g/t, que corresponde al ensayo No.13, mientras que la menor ley registrada es de 343 g/t, correspondiente al ensayo No.10, e integrando los trece datos, se obtuvo una ley promedio de oro de 1885.55 g/t para el preconcentrado del depósito aluvial aurífero Puerto Belén.

Tabla 32: Resultados de los ensayos al fuego para el análisis de oro – Puerto Belén.

No.	Ensayo	Muestra	Muestra analizada (g)	Ley Au (g/t)
1	Mgda050	Dai-14 Cbz	15	1332.47
2	Mgda051	Dai-15 Cbz	15	1879.83
3	Mgda052	Dai-16 Cbz	15	1024.47
4	Mgda053	Dai-17 Cbz	10	1308.90
5	Mgda054	Dai-18 Cbz	10	2973.90
6	Mgda055	Dai-19 Cbz	10	2800.90
7	Mgda056	Dai-20 Cbz	15	1931.60
8	Mgda057	Dai-21 Cbz	15	2830.73
9	Mgda060	Dai-22 Cbz	10	958.10
10	Mgda061	Dai-23 Cbz	10	343.00
11	Mgda062	Dai-24 Cbz	10	1317.60
12	Mgda063	Dai-25 Cbz	10	2235.20
13	Mgda064	Dai-26 Cbz	10	3575.50

Fuente: Datos reportados por Laboratorio CITE.

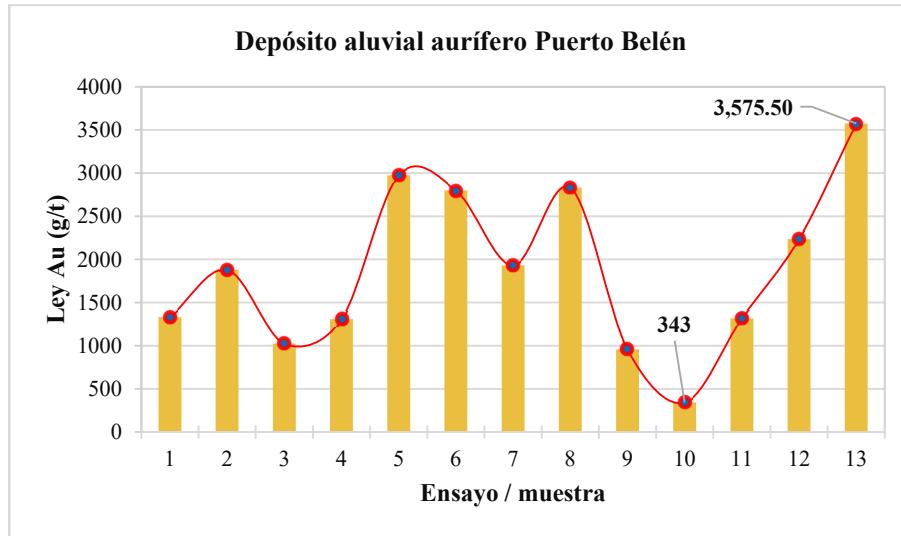


Figura 30: Registro de las leyes de oro reportadas para cada una de las muestras analizadas, correspondientes a preconcentrados del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio CITE.

Raúl 1: Se analizaron doce (12) muestras representativas, cada una de ellas correspondiente a un preconcentrado (arenas negras) obtenido en un turno de ocho (8) horas de trabajo, donde se desarrolló el proceso para la separación y concentración de minerales explicado en la Figura 24. Los análisis fueron realizados por el laboratorio CJV SAC, reportando los siguientes resultados, la mayor ley o concentración de oro registrada es de 5108.36 g/t, que corresponde al ensayo No.2, mientras que la menor ley registrada es de 373.43 g/t, correspondiente al ensayo No.1, e integrando los doce datos, se obtuvo una ley promedio de oro de 2579.13 g/t para el preconcentrado del depósito aluvial aurífero Raúl 1.

Tabla 33: Resultados de los ensayos al fuego para el análisis de oro – Raúl 1.

No.	Ensayo	Muestra	Muestra analizada (g)	Ley Au (g/t)
1	Mgcq03	Cqi-03 Cbz	50	373.43
2	Mgcq04	Cqi-04 Cbz	50	5108.36
3	Mgcq07	Cqi-07 Cbz	50	1910.49
4	Mgcq08	Cqi-08 Cbz	50	3451.14
5	Mgcq10	Cqi-10 Cbz	50	1747.70
6	Mgcq11	Cqi-11 Cbz	50	2187.51
7	Mgcq16	Cqi-16 Cbz	50	2558.01
8	Mgcq17	Cqi-17 Cbz	50	1548.57
9	Mgcq18	Cqi-18 Cbz	50	2022.49
10	Mgcq20	Cqi-20 Cbz	50	2097.77
11	Mgcq22	Cqi-22 Cbz	50	3743.38
12	Mgcq23	Cqi-23 Cbz	50	4200.67

Fuente: Datos reportados por Laboratorio CJV SAC.

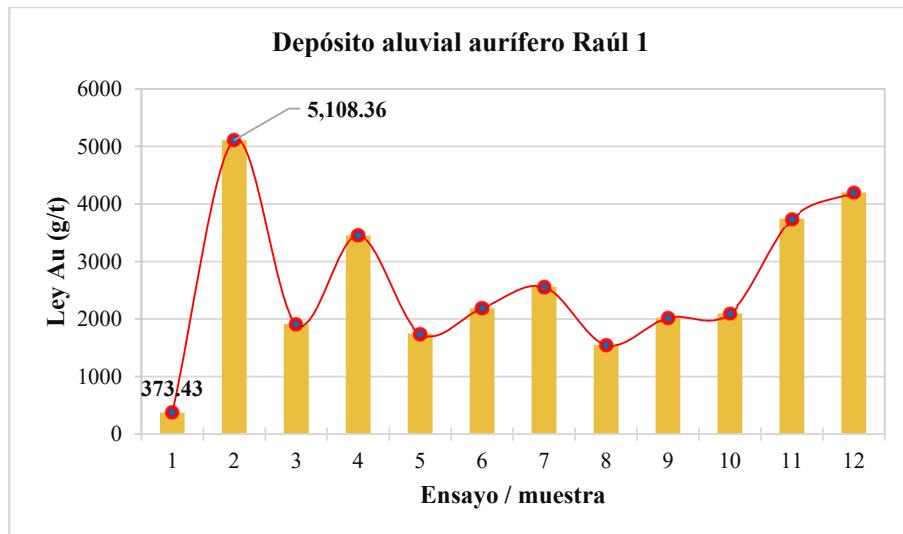


Figura 31: Registro de las leyes de oro reportadas para cada una de las muestras analizadas, correspondientes a preconcentrados del depósito aluvial aurífero Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio CJV SAC.

De los reportes de oro por ensayo al fuego (AuFFAA), destaca la variabilidad – dinámica de las leyes o concentraciones de oro (g/t) en cada uno de los preconcentrados (muestras analizadas), esto quiere decir que las leyes no son constantes, lo que explica la distribución y diferente concentración de partículas de oro en los depósitos aluviales. Además, las leyes (Au g/t) promedio de ambos depósitos aluviales no son equivalentes o similares, mientras

que en Raúl 1 la ley promedio de oro es de 2579.13 g/t, en Puerto Belén difiere en 27 % menos, siendo esta de 1885.55 g/t, esta considerable diferencia depende directamente de la ubicación geográfica de cada uno de los depósitos, siendo la principal característica el dominio estructural dentro del cual está ubicado cada uno, Puerto Belén dentro de la Faja Subandina y Raúl 1, dentro de la Llanura Amazónica. Otro factor importante que influye en la determinación de las leyes de oro (g/t), es el método de explotación y sobretodo la etapa de beneficio hasta obtener los preconcentrados, mientras que en Puerto Belén se utiliza un chute artesanal, en Raúl 1 se emplea un chute mecanizado, lo cual mejora considerablemente la recuperación o concentración de oro.

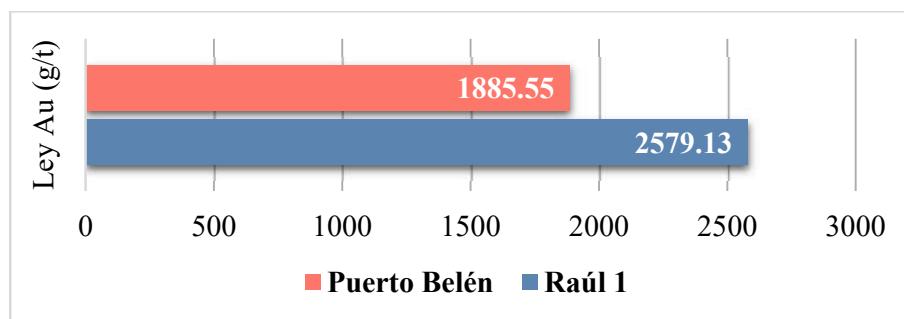


Figura 32: Diagrama de barras horizontales que muestra las leyes promedio de oro en g/t en cada uno de los depósitos aluviales auríferos.

- **Análisis de Oro por Método Newmont**

Puerto Belén: Se analizaron tres (3) muestras representativas, cada una de ellas correspondiente a un preconcentrado (arenas negras), el objetivo principal fue determinar la granulometría (finos y gruesos) y concentración de las partículas de oro. Los análisis fueron realizados por el laboratorio del Centro de Innovación Tecnológica (CITE) de minería y medio ambiente, reportando los siguientes resultados, aproximadamente 70 % corresponde a gruesos (+M150) mayor a 106 μm , pero no guardan similitud en cuanto a granulometría, registrándose partículas de diferentes tamaños y de distintas formas.

Tabla 34: Resultados de los análisis de oro por el método Newmont – Puerto Belén.

No.	Ensayo	Muestra	Ley Au (g/t)	
			Finos	
			-M150 (106 µm)	+M150 (106 µm)
1	Mgda020	Dai-01 Cbz	1967.75	7814.15
2	Mgda050	Dai-14 Cbz	1213.40	1451.53
3	Mgda051	Dai-15 Cbz	875.67	2884.00

Fuente: Datos reportados por Laboratorio CITE.

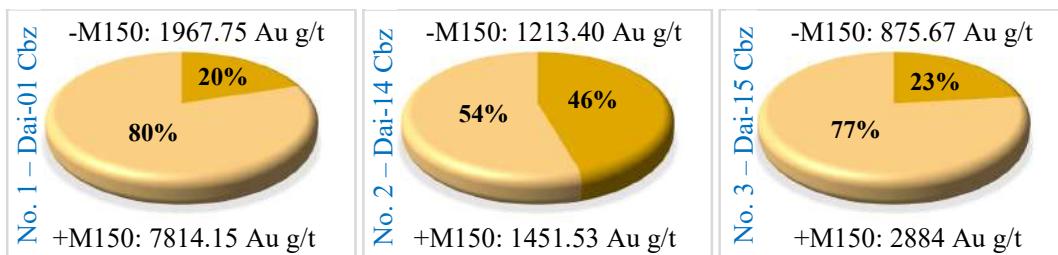
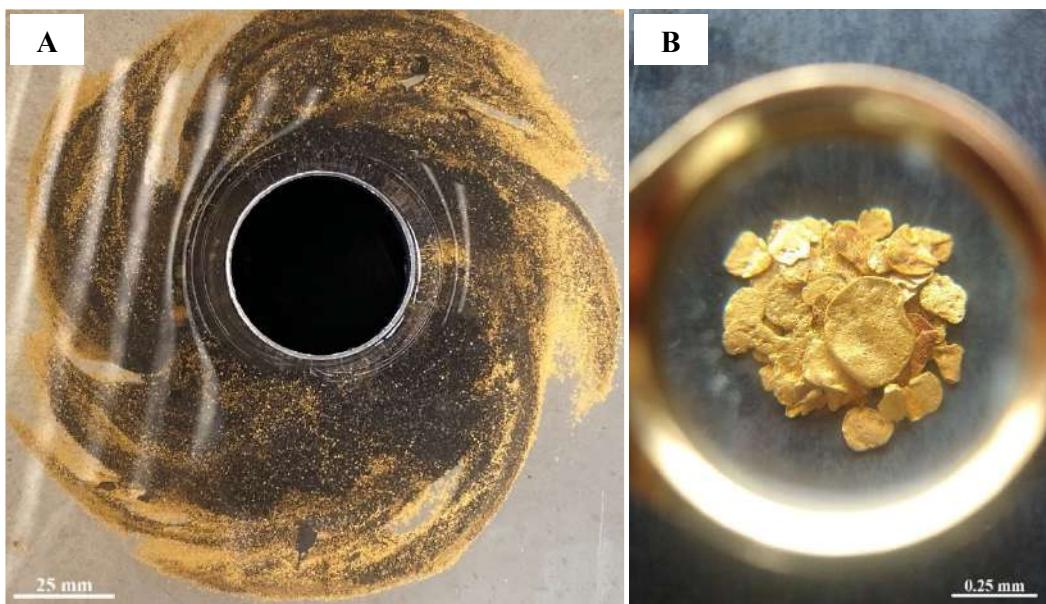


Figura 33: Diagramas de sectores, indican la distribución de partículas de oro finas (-M150) y gruesas (+M150) expresadas en leyes (g/t) correspondientes a los preconcentrados del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio CITE.



Fotografía 40: Partículas de oro nativo libre extraídas del depósito aluvial Puerto Belén, **A)** Oro fino, que granulométricamente está por debajo de malla 150 (< 106 µm), **B)** Partículas de oro grueso (>106 µm) vistas a través del lente de una lupa de aumento de 20x.

Raúl 1: Se analizaron seis (6) muestras representativas, cada una de ellas correspondiente a un preconcentrado (arenas negras), el objetivo principal fue determinar la granulometría (finos y gruesos) y concentración de las partículas de oro. Los análisis fueron realizados por los laboratorios: Beltcor (No.1 y No.2) y por CJV SAC (del No.3 al No.6), reportando los siguientes resultados, aproximadamente 96.5 % corresponde a gruesos (100%-M150), lo que significa que existe homogeneidad en la granulometría del oro, registrándose partículas de equivalentes tamaños y de formas similares.

Tabla 35: Resultados de los análisis de oro por el método Newmont – Raúl 1.

No.	Ensayo	Muestra	Ley Au (g/t)	
			Finos	
			-M150 (104 μm)	+M150 (104 μm)
1	Mgcq03	Cqi-03 Cbz	300.33	14035.09
2	Mgcq04	Cqi-04 Cbz	1584.30	482500.00
3	Mgcq07	Cqi-07 Cbz	1320.74	22308.43
4	Mgcq08	Cqi-08 Cbz	2333.47	50800.46
5	Mgcq10	Cqi-10 Cbz	1075.33	30565.07
6	Mgcq11	Cqi-11 Cbz	1482.51	28309.01

Fuente: Datos reportados por Laboratorio Beltcor, CJV SAC.

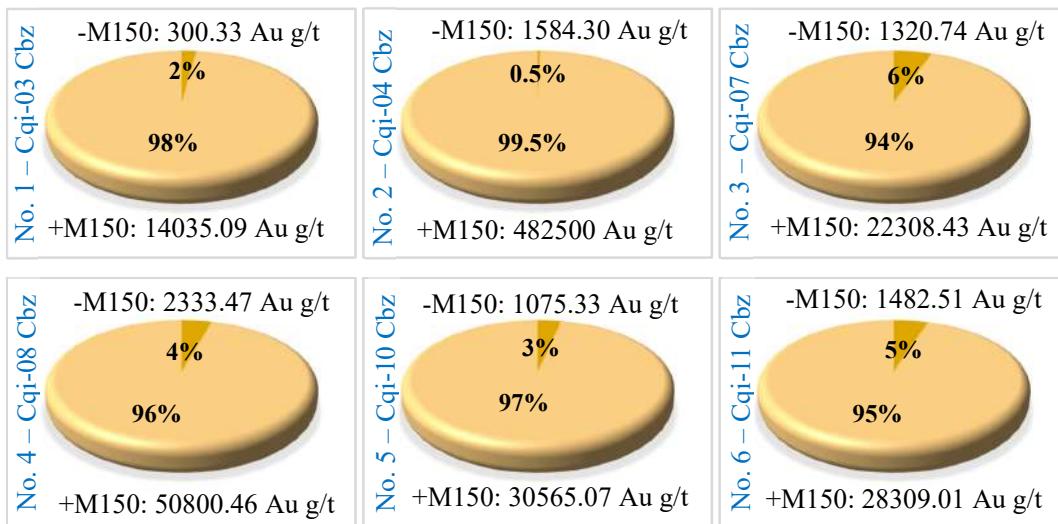


Figura 34: Diagramas de sectores, indican la predominancia de partículas de oro gruesas (+M150) expresadas en leyes (g/t) correspondientes a los preconcentrados del depósito aluvial aurífero Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio Beltcor, CJV SAC.



Fotografía 41: Partículas de oro nativo libre extraídas del depósito aluvial Raúl 1, **A)** Las partículas de oro finas tan solo alcanzan el 6 % en concentración, **B)** Partículas de oro homogéneas en forma y en tamaño ($> 106 \mu\text{m}$), vistas a través del lente de una lupa de aumento de 20x, al aplicar temperatura (entre 300° y 500°C), las partículas de oro tienden a unirse entre ellas (sinterización).

- **Fluorescencia de Rayos X (XRF)**

Puerto Belén: Se analizaron dos muestras representativas, reportando los siguientes resultados, primera (Dai-02 Cbz), compuesta por 50.04 % de óxido de hierro (Fe_2O_3), 23.18 % de óxido de silicio (SiO_2), 14.84 % de óxido de titanio (TiO_2), 7.05 % de óxido de aluminio (Al_2O_3), 1.83 % de óxido de zirconio (ZrO_2) y 3.06 % de otros óxidos que su concentración está por debajo del 1 % (V_2O_5 , MnO , SnO_2 , K_2O , MgO , CeO_2 , Nb_2O_5 , P_2O_5 , Y_2O_3 , CuO , ZnO); segunda (Dai-Hg 06), compuesta por 49.41 % de óxido de hierro (Fe_2O_3), 21.61 % de óxido de silicio (SiO_2), 19.73 % de óxido de titanio (TiO_2), 5.14 % de óxido de aluminio (Al_2O_3), 1.85 % de óxido de zirconio (ZrO_2) y 2.26 % de otros óxidos que su concentración está por debajo del 1 % (MnO , V_2O_5 , K_2O , SnO_2 , MgO , Nb_2O_5 , Y_2O_3 , P_2O_5 , ZnO). Las concentraciones de los principales óxidos identificados son similares debido a que ambas muestras provienen de depósito aluvial aurífero Puerto Belén.

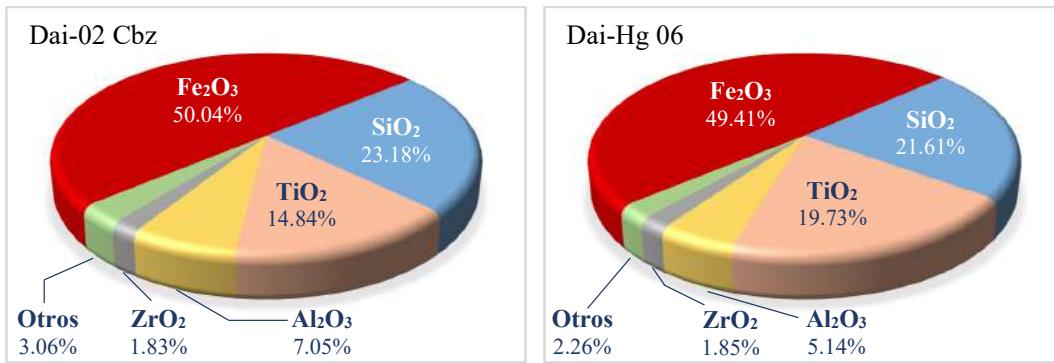


Figura 35: Diagramas de sectores, exponen los resultados de los análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF) de las muestras Dai-02 Cbz y Dai-Hg 06, del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Raúl 1: Se analizó una muestra representativa, reportando los siguientes resultados, compuesta por 42.22 % de óxido de silicio (SiO_2), 23 % de óxido de hierro (Fe_2O_3), 8.48 % de óxido de zirconio (ZrO_2), 6.76 % de óxido de titanio (TiO_2), 2.94 de óxido de aluminio (Al_2O_3) y 16.60 de otros óxidos cuya concentración está por debajo del 1 % (MnO , CeO_2 , SnO_2 , V_2O_5 , Nd_2O_3 , K_2O , La_2O_3 , HfO_2 , P_2O_5 , WO_3 , MgO , Y_2O_3 , Nb_2O_5 , ZnO).

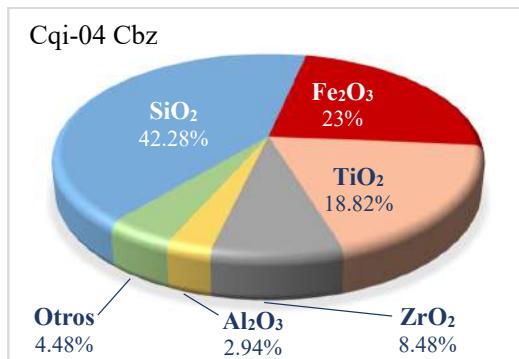


Figura 36: Diagrama de sectores, expone los resultados del análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF) de la muestra Cqi-04 Cbz, del depósito aluvial aurífero Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Tabla 36: Resultados de los análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF) de dos muestras representativas de preconcentrados de los depósitos aluviales.

No.	Compuesto químico	Puerto Belén (%)	Raúl 1 (%)
1	Óxido de hierro (III)	Fe ₂ O ₃	50.04
2	Óxido de silicio (IV)	SiO ₂	23.18
3	Óxido de silicio (IV)	TiO ₂	14.84
4	Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	7.05
5	Óxido de circonio (IV)	ZrO ₂	1.83
6	Óxido de vanadio (V)	V ₂ O ₅	0.88
7	Óxido de manganeso (II)	MnO	0.58
8	Óxido de estaño (IV)	SnO ₂	0.41
9	Óxido de potasio	K ₂ O	0.36
10	Óxido de magnesio	MgO	0.25
11	Óxido de cerio (IV)	CeO ₂	0.21
12	Óxido de niobio (V)	Nb ₂ O ₅	0.11
13	Óxido de fósforo (III)	P ₂ O ₅	0.10
14	Óxido de itrio (III)	Y ₂ O ₃	0.06
15	Óxido de cobre (II)	CuO	0.06
16	Óxido de zinc (II)	ZnO	0.04
17	Óxido de neodimio (III)	Nd ₂ O ₃	0.00
18	Óxido de lantano (III)	La ₂ O ₃	0.00
19	Óxido de hafnio (IV)	HfO ₂	0.00

Fuente: Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Mediante el análisis químico por Fluorescencia de Rayos X (XRF), se determinó la composición elemental (expresada en compuestos químicos) de cada una de las muestras representativas de los depósitos aluviales estudiados. Los análisis reportaron que en Puerto Belén el compuesto químico que predomina es el óxido de hierro (50.04 %), mientras que en Raúl 1, se encontró en mayor concentración óxido de silicio (42.28 %), lo cual indica la diferente composición mineralógica de ambos depósitos, influenciada por la procedencia o fuente primaria de los depósitos (distinto ámbito generador que incluye arranque, transporte y depositación, diferentes cuencas hidrográficas), así como también por la ubicación geográfica de los mismos (dominio estructural).

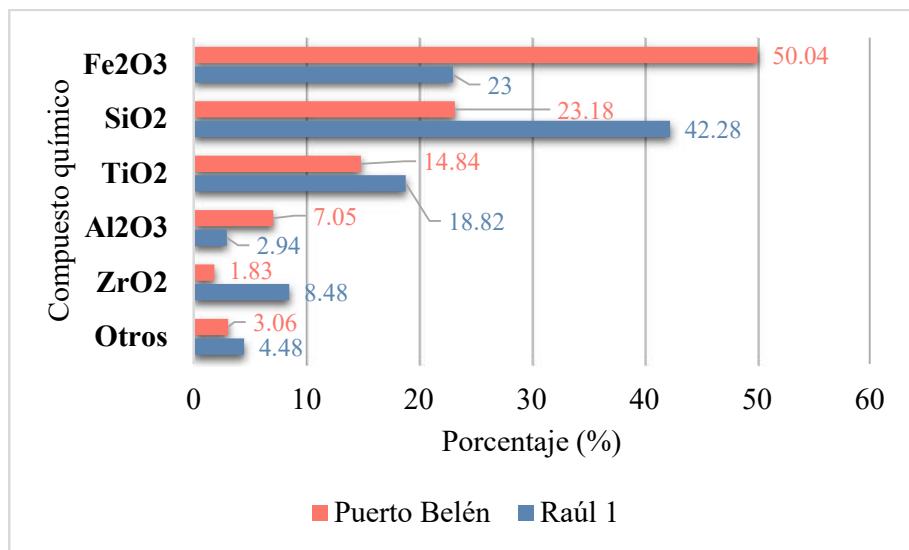


Figura 37: Diagrama de barras horizontales, muestra la composición elemental expresada en compuestos químicos, mediante análisis de XRF, correspondientes a muestras de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

- **Difracción de Rayos X (XRD)**

Puerto Belén: Se analizaron tres muestras representativas, reportando los siguientes resultados, primera (Dai-02 Cbz), compuesta por 25 % de Ilmenita (FeTiO_3), 23 % de Magnetita (Fe_3O_4), 22 % de Hematita (Fe_2O_3), 18 % de Cuarzo (SiO_2), 3 % de Andalusita (Al_2SiO_5), 3 % de Muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$), 2 % de Zircón (ZrSiO_4) y el 1 % conformado por otros minerales como Rutilo (TiO_2), Goetita (FeO(OH)), Clorita ($(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) y Casiterita (SnO_2); segunda (Dai-Hg 06), compuesta por 28 % de Cuarzo (SiO_2), 25 % de Ilmenita (FeTiO_3), 19 % de Hematita (Fe_2O_3), 18 % Magnetita (Fe_3O_4), 3 % de Andalusita (Al_2SiO_5), 2 % Zircón (ZrSiO_4) y el 5 % conformado por otros minerales como Caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Rutilo (TiO_2) y Muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$); tercera (Dai-29 Cbz), compuesta por 26 % de Cuarzo (SiO_2), 24 % de Hematita (Fe_2O_3), 20 % de Ilmenita (FeTiO_3), 18 % Magnetita (Fe_3O_4), 3 % de Andalusita (Al_2SiO_5) y el 9 % conformado por otros minerales como Caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Zircón (ZrSiO_4), Rutilo (TiO_2) y Muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$).

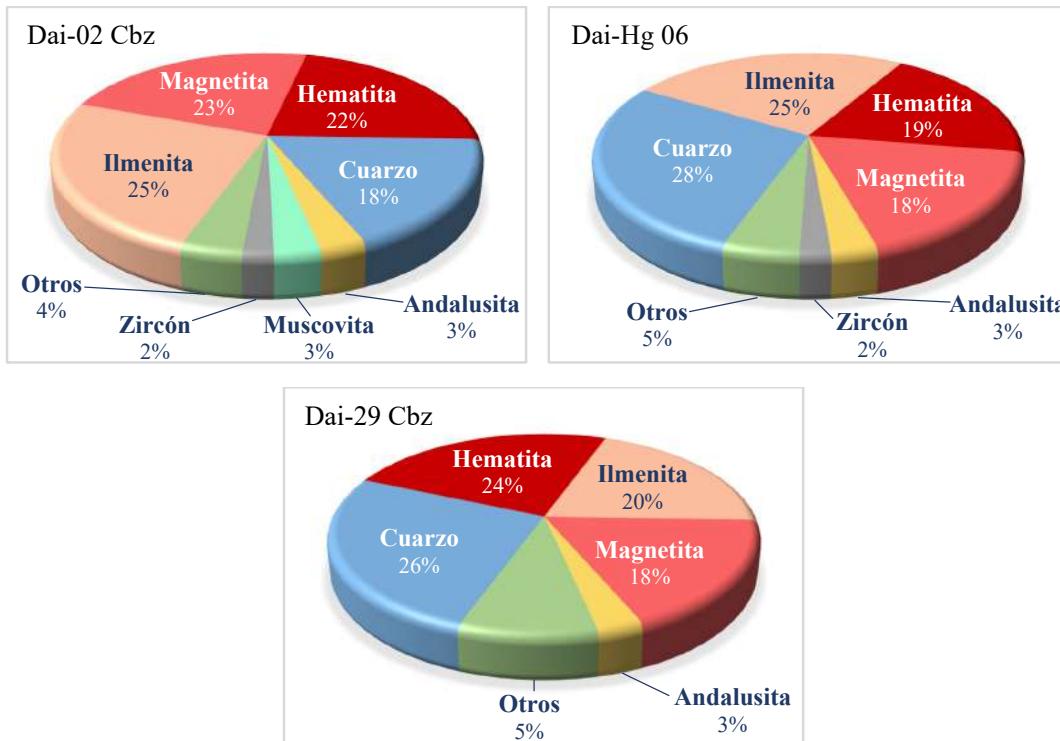


Figura 38: Diagramas de sectores, exponen los resultados de los análisis de Difracción de Rayos X (XRD) de las muestras Dai-02 Cbz, Dai-Hg 06 y Dai-29 Cbz, del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Raúl 1: Se analizó una muestra representativa (Cqi-04 Cbz), reportando los siguientes resultados, 55 % de Cuarzo (SiO_2), 15 % de Ilmenita (FeTiO_3), 11 % de Zircón (ZrSiO_4), 9 % Hematita (Fe_2O_3), 3 % de Rutilo (TiO_2), 2 % de Muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$) y el 5 % conformado por otros minerales como Caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Andalusita (Al_2SiO_5) y Monazita ((Ce, La, Nd) PO_4).

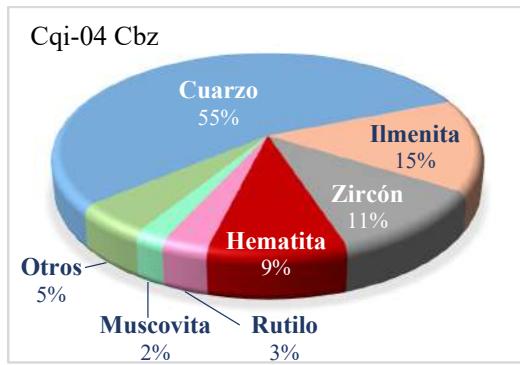


Figura 39: Diagrama de sectores, expone los resultados del análisis de Difracción de Rayos X (XRD) de la muestra Cqi-04 Cbz, del depósito aluvial aurífero Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Tabla 37: Resultados de los análisis de Difracción de Rayos X (XRD) de dos muestras representativas de preconcentrados de los depósitos aluviales.

No.	Mineral	Fórmula general	Puerto Belén (%)	Raúl 1 (%)
1	Ilmenita	FeTiO ₃	25	15
2	Magnetita	Fe ₃ O ₄	23	0
3	Hematita	Fe ₂ O ₃	22	9
4	Cuarzo	SiO ₂	18	55
5	Andalusita	Al ₂ SiO ₅	3	< L.D.
6	Muscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	3	2
7	Zircón	ZrSiO ₄	2	11
8	Rutilo	TiO ₂	< L.D.	3
9	Goetita	FeO(OH)	< L.D.	0
10	Clorita	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	< L.D.	0
11	Casiterita	SnO ₂	< L.D.	0
12	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0	< L.D.
13	Monazita	(Ce, La, Nd) PO ₄	0	< L.D.

< L.D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

Fuente: Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Mediante el análisis mineralógico por Difracción de Rayos X (XRD), se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas (minerales) presentes en las muestras representativas de los depósitos aluviales estudiados. Los análisis reportaron que en Puerto Belén predominan los óxidos de hierro (70 %), estos son, Ilmenita (óxido de titanio y hierro), Magnetita y Hematita, seguidos por el Cuarzo (óxido de silicio), y en concentraciones muy bajas Andalucita, Muscovita, Zircón, además de otros minerales (Rutilo, Goetita, Clorita y Casiterita) cuya concentración está por debajo del límite de detección (mineral traza); por

otro lado, en Raúl 1, el mineral que predomina es el Cuarzo (óxido de silicio) con un registro de 55 %, seguido por Ilmenita (15 %), Zircón (11 %), Hematita (9 %), Rutilo (3 %) y Muscovita (2 %), además de otros minerales cuya concentración está por debajo del límite de detección (Andalusita, Caolinita y Monazita).

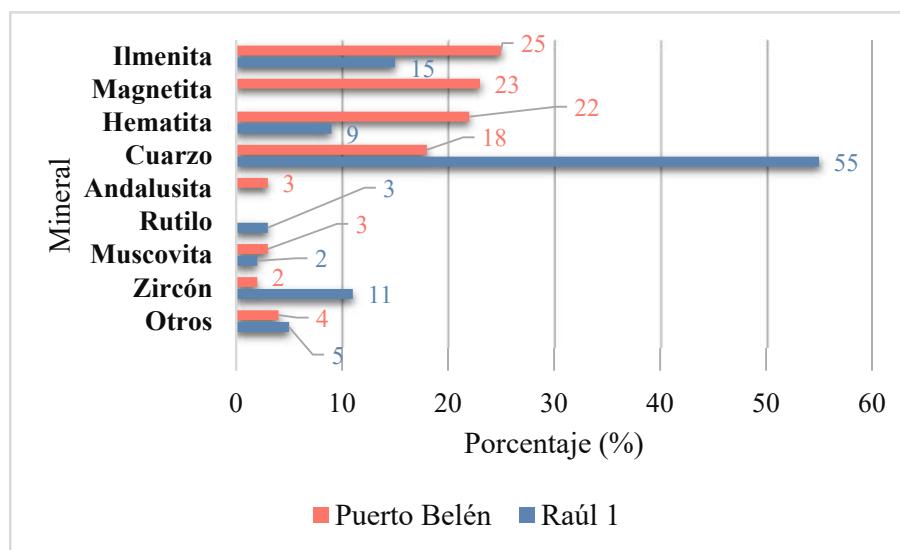


Figura 40: Diagrama de barras horizontales, con el análisis mineralógico por XRD se realizó la determinación de las fases cristalinas presentes en las muestras, muestras representativas de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1. – Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

- **Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)**

Se aplicó la técnica analítica de ICP-MS a dos muestras representativas del depósito aluvial aurífero Puerto Belén, para 53 elementos químicos desde el Litio ($Z=3$) hasta el Urano ($Z=92$), determinándose la concentración de cada elemento expresada en partes por millón (ppm). En ambas muestras, predomina el Hierro (Fe), en Dai-03 Cbz se reporta 181000 ppm (18.1 %), la concentración es similar en la muestra Dai-29 Cbz, donde se reporta 241000 ppm (24.1 %), cada uno de los demás elementos registra concentración menor al 1 %.

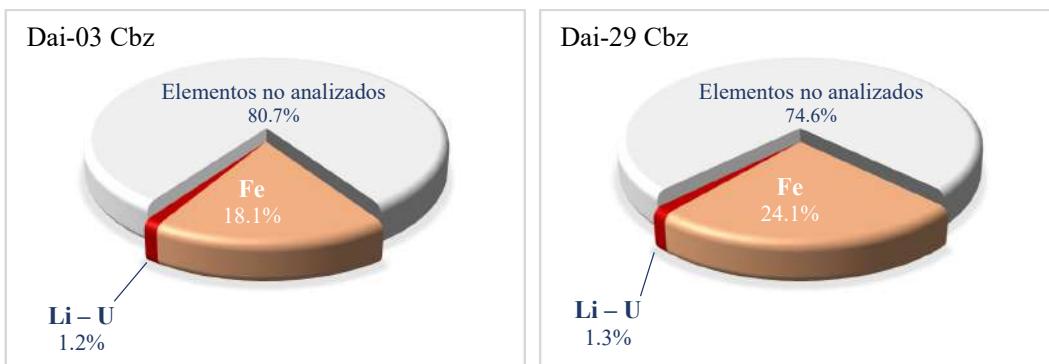


Figura 41: Diagramas de sectores, revelan los resultados del método analítico de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) de las muestras Dai-03 Cbz, 3 y Dai-29 Cbz, del depósito aluvial aurífero Puerto Belén. – Datos reportados por Laboratorio ALS Global.

Tabla 38: Resultados del método analítico de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) para la muestra representativa Dai-03 Cbz de preconcentrado del depósito aluvial Puerto Belén.

Elem.	ppm	Elem.	ppm	Elem.	ppm	Elem.	ppm	Elem.	ppm
Fe	181000	Cr	154.50	Zr	15.80	Sn	3.35	Ag	0.06
Ti	4750	S	100	Cu	13.85	Au	3.05	Ta	0.06
Al	3900	Na	70	Ga	12.25	As	2.67	Tl	0.04
Mn	619	Th	48.50	U	10.50	Mo	2.48	In	0.03
Ce	480	Zn	40.90	B	9	Ge	0.83	Cd	0.02
K	400	Y	33.10	W	6.22	Sb	0.80	Pt	0.004
P	320	Ni	29.80	Sr	5.68	Bi	0.73	Te	0.002
Mg	300	Hg	25.50	Nb	5.32	Cs	0.53	Pd	0.001
V	252	Ba	18.10	Li	4.60	Be	0.41	Re	0.001
Ca	200	Pb	17.10	Rb	3.89	Hf	0.40		
La	195	Co	16	Sc	3.58	Se	0.08		

Fuente: Datos reportados por Laboratorio ALS Global.

Tabla 39: Resultados del método analítico de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) para la muestra representativa Dai-29 Cbz de preconcentrado del depósito aluvial Puerto Belén.

Elem.	ppm	Elem.	ppm	Elem.	ppm	Elem.	ppm	Elem.	ppm
Fe	241000	S	200	Ag	18.50	Li	3.40	Ta	0.06
Ti	5220	Cr	175	Co	17.70	Sc	3.04	Se	0.05
Al	3600	Na	100	Cu	16.75	Rb	2.74	Cd	0.04
Mn	767	Zn	59.60	Ga	13.35	Sb	1.69	In	0.03
Ce	501	Th	50.40	B	10	Ge	0.96	Tl	0.03
P	420	Ni	35.50	Sr	8.92	Be	0.66	As	0.02
V	322	Y	29.80	W	6.92	Hf	0.64	Pt	0.01
K	300	Au	26	U	6.39	Bi	0.52	Te	0.002
La	260	Zr	24.40	Nb	5.04	Hg	0.48	Re	0.001
Ca	200	Pb	21.10	Mo	4.72	Cs	0.47		
Mg	200	Ba	19.60	Sn	4.49	Pd	0.09		

Fuente: Datos reportados por Laboratorio ALS Global.

Mediante el método analítico de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), se observa que el elemento que está en mayor concentración es el Hierro (Fe), registrándose 18.1 % (Dai-03 Cbz) y 24.1 % (Dai-29 Cbz), mientras que los demás elementos analizados, en conjunto tan solo alcanzan el 1.2 % (Dai-03 Cbz) y 1.3 % (Dai-29 Cbz). Gracias a este método (ICP-MS), se identificaron ciertos elementos químicos de gran importancia, como: tierras raras (REEs), registrándose presencia de Lantano, Cerio, Escandio (tierras raras ligeras) e Itrio (tierras raras pesadas); en menor concentración se identificaron Tantalio y Niobio, además de elementos químicamente radiactivos como son el Torio y Urano.

Tabla 40: Elementos químicos relevantes, concentraciones registradas mediante el método analítico de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).

Muestra	REEs				“Coltán”			Radiactivos (ppm)			
	LREEs (ppm)		HREEs (ppm)		Columbita+Tantalita (ppm)						
	La	Ce	Sc	Y	Ta	Nb					
Dai-03	195	480	3.58	33.10	0.06	5.32	48.50	10.50			
Dai-29	260	501	3.04	29.80	0.06	5.04	50.40	6.39			

Fuente: Datos reportados por Laboratorio ALS Global.

4.2.3. Microscopía

- Microscopía Óptica de Luz Reflejada (RLOM)**

Se analizaron dos (2) muestras, Dai-02 Cbz (Puerto Belén) y Cqi-04 Cbz (Raúl 1), de las cuales se determinaron los porcentajes estimados de las partículas libres, así como también intercresidas de manera dimensional, haciendo énfasis en las partículas de oro nativo.

Puerto Belén: Se han identificado 33 partículas de oro nativo libre, cuyas dimensiones se encuentran en un 82 % por encima de los 106 micrones (+M150) y el 18 % restante, distribuido entre 33 y 75 μm (+M500-M200). Esta muestra (Dai-02 Cbz), está conformada por óxidos de hierro en un 75 % aproximadamente, que incluye a magnetita (mt: Fe_3O_4), cuyas partículas están por debajo de los 500 μm (-M32); ilmenita (il: FeTiO_3), cuyas partículas están entre los 100 y 300 μm (-M48+M160); hematita (hm: Fe_2O_3), cuyas dimensiones varían entre 400 y 600 μm (-M28+M40) y goetita (goe: FeO(OH)) cuya partícula oscila entre 250 a 350 μm (-M42+M60), en menores concentraciones se identificaron casiterita (cst: SnO_2) y gangas (GGs: minerales no metálicos), todas las partículas adoptan formas subangulosas y subredondeadas.

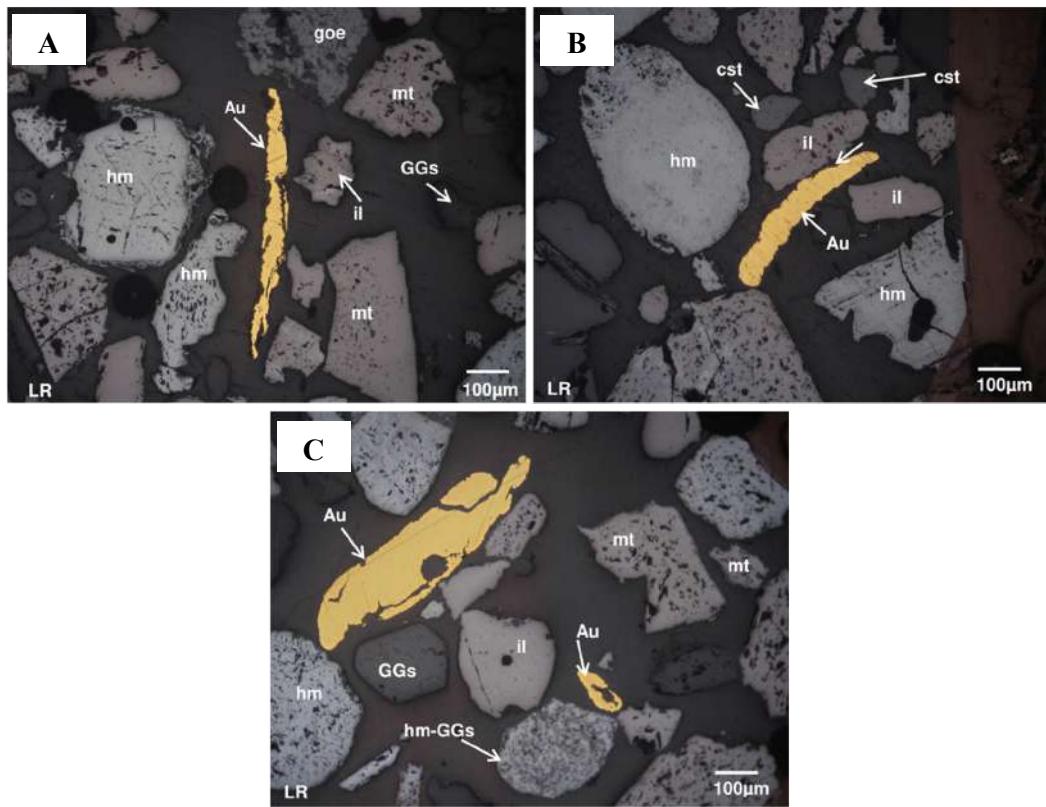


Figura 42: Fotomicrografías (A, B y C) registradas en el ensayo por Microscopía óptica de luz reflejada (RLOM), correspondientes a la muestra Dai-02 Cbz (Puerto Belén), donde se identificaron partículas de oro nativo libre (Au), presencia de magnetita (mt), ilmenita (il), hematita (hm), goetita (goe), casiterita (cst) y gangas (GGs).

Fuente: Fotomicrografías reportadas por Laboratorio BIZALab SAC.

Raúl 1: Se han identificado 22 partículas de oro nativo libre, cuyas dimensiones se encuentran en un 100 % por encima de los 106 micrones (+M150). Esta muestra (Cqi-04 Cbz), está conformada por óxidos de hierro en un 70 % aproximadamente, que incluye a ilmenita (il: FeTiO_3), cuyas partículas oscilan entre los 100 y 200 μm (-M70+M160); hematita (hm: Fe_2O_3), cuyas dimensiones varían entre 100 y 300 μm (-M48+M160); magnetita (mt: Fe_3O_4), cuyas partículas oscilan entre los 100 y 200 μm (-M70+M160), en menores concentraciones se identificaron gangas (GGs: minerales no metálicos), todas las partículas adoptan formas subangulosas y subredondeadas.

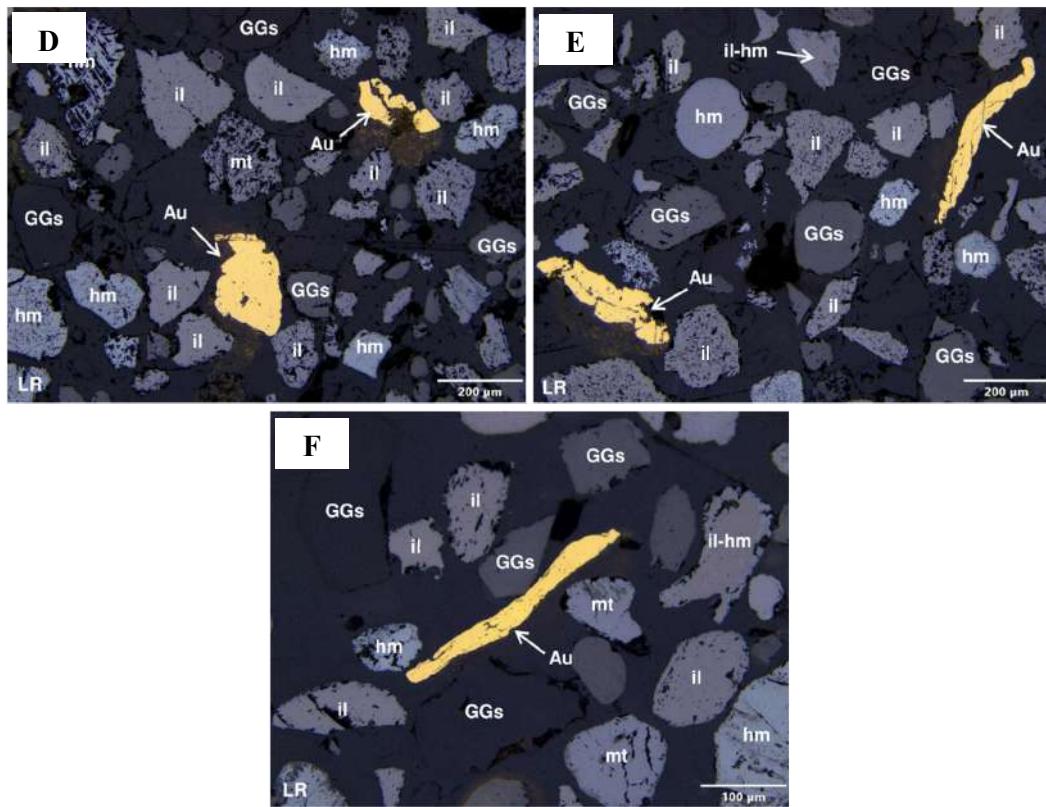


Figura 43: Fotomicrografías (D, E y F) registradas en el ensayo por Microscopía óptica de luz reflejada (RLOM), correspondientes a la muestra Cqi-04 Cbz (Raúl 1), donde se identificaron partículas de oro nativo libre (Au), presencia de ilmenita (il), hematita (hm), magnetita (mt) y gangas (GGs). D y E) Se identificó intercrecimiento lateral de ilmenita con hematita.

Fuente: Fotomicrografías reportadas por Laboratorio BIZALab SAC.

Tabla 41: Distribución de las partículas de oro nativo expresada en porcentajes (%) de acuerdo al tamaño (μm), según el ensayo por Microscopía óptica de luz reflejada (RLOM).

Malla Tyler	Tamaño (μm)	Asociación	Muestra (%)	
			Puerto Belén	Raúl 1
-M1000	<13		0	0
+M1000-M800	13 – 15		0	0
+M800-M600	16 – 23		0	0
+M600-M400	24 – 32	Libre	0	0
+M500-M200	33 – 75		18	0
+M200-M150	76 – 106		0	0
+M150	>106		82	100

Fuente: Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

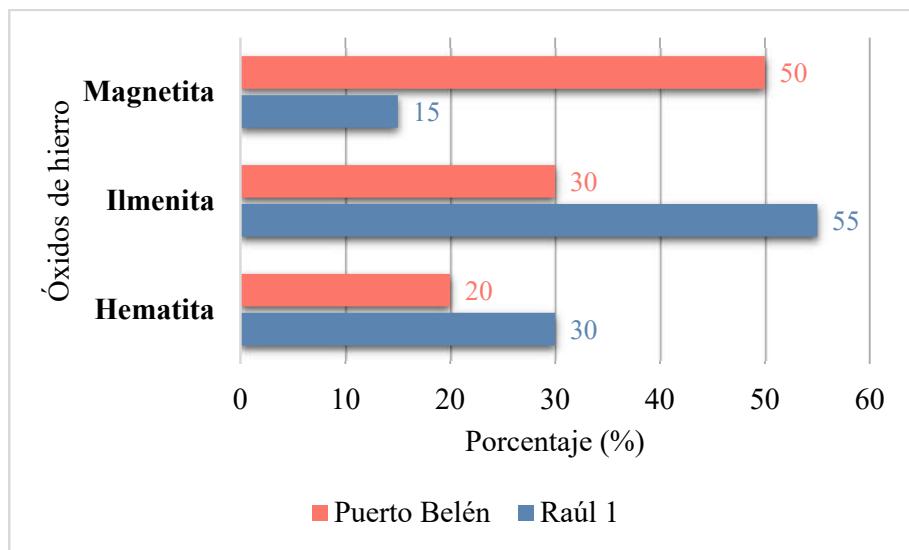


Figura 44: Diagrama de barras horizontales, representa la concentración en porcentajes (%) aproximados de los principales óxidos de hierro que se encuentran distribuidos en cada uno de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1.

De acuerdo a la Microscopía óptica de luz reflejada (RLOM), en ambos depósitos aluviales auríferos, la mayoría de las partículas adoptan formas subangulosas y subredondeadas (distancia de transporte intermedia a baja), concentraciones mayores al 70 % aproximadamente, son óxidos de hierro, en Puerto Belén predomina la magnetita (mt) con 50 %, seguida por ilmenita (il) con 30 % y en menor concentración hematita (hm) con 20%, mientras que en Raúl 1, predomina la ilmenita (il) con 55 %, seguida por hematita (hm) con 30 % y en menor concentración magnetita (mt) con 15 %. Respecto al tamaño de las partículas de oro nativo libre (asociación), en Puerto Belén, se identifican partículas que están distribuidas en un rango de mayor alcancé, lo que significa que no guardan una relación constante en cuanto a su tamaño, encontrándose partículas finas, intermedias y gruesas, por otro lado, en Raúl 1, existe una homogeneidad en cuanto al tamaño y forma de las partículas de oro, el 100 % son partículas de oro mayores a malla Tyler 150 ($>106 \mu\text{m}$).

- **Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)**

Se analizaron tres (3) muestras, Dai-02 Cbz, Dai-Hg 06 (Puerto Belén) y Cqi-04 Cbz (Raúl 1), los ensayos mineralógicos se enfocaron en la búsqueda de minerales metálicos con énfasis en oro y fases brillantes (compuestos mineralógicos con elementos químicos de alto número atómico), complementándose con imágenes de microscopio óptico de luz reflejada.

Estos análisis comprenden la determinación de los elementos entre berilio (Z=4) y uranio (Z=92).

Puerto Belén: Los minerales identificados en los campos determinados son los siguientes, para la muestra Dai-02 Cbz: oro nativo (Au + Ag), magnetita (Fe_3O_4), ilmenita ($FeTiO_3$), hematita (Fe_2O_3), goetita (FeO_2H), ulvoespinela ($TiFe_2O_4$), casiterita (SnO_2), ferberita ($FeWO_4$), esfalerita (ZnS), galena (PbS), pirita (FeS_2), pirrotina (Fe_7S_8) y baritina ($BaSO_4$), y en otra distribución elemental, fosfato de itrio (YPO_4), fosfato de Ce, La y Ag ($((Ce,La,Ag)PO_4$), fosfato de Ce, La y Nd ($((Ce,La,Nd)PO_4$), fosfato de Ce y La ($((Ce,La)PO_4$), óxido de Y y Nb (Y_2O_3 / Nb_2O_5), óxido de Pb y Nb (PbO / Nb_2O_5), silicato de itrio ($Y_2Si_2O_7$), torianita (ThO_2), torita ($(Th,U)SiO_4$), zircón ($ZrSiO_4$), resaltando minerales portadores o compuestos por tierras raras (La, Ce, Nd e Y); para la muestra Dai-Hg 06: oro nativo (Au + Ag), magnetita (Fe_3O_4), cuarzo (SiO_2), casiterita (SnO_2), monacita ($((Ce,La,Nd)PO_4$) y xenotima (YPO_4), y en otra distribución elemental, ilmenita ($FeTiO_3$), ulvoespinela ($TiFe_2O_4$), hematita (Fe_2O_3), zircón ($ZrSiO_4$), fergusonita-Y ($((Dy,Y)NbO_4$), silicato de Fe y Al ($FeSi_2, Al_2SiO_5$), silicato de Al (Al_2SiO_5), destacando la presencia de minerales portadores o compuestos por tierras raras (Ce, La, Nd, Y y Dy). Los espectros de los análisis realizados muestran la energía de las partículas o radiación electromagnética (keV) versus la intensidad de un espectro en función de la energía (cps/eV) lo que expresa en porcentajes la composición de un mineral; en la primera muestra (Dai-02 Cbz) se registró 100 % de oro (A) y en otro espectro (B), se registró 93.84 % de Au y 6.16 % de Ag, ver Figura 45, según Marsden & House, (2006), para el caso del Au, éste se encuentra generalmente asociado químicamente con Ag, formando una solución sólida, por tanto, en función a su composición química, se le denominará oro nativo cuya composición en Ag sea inferior al 25% y electrum sobre o igual al 25%; en la segunda muestra (Dai-Hg 06) se registró 95.12 % de Au y 4.88 % de Ag (C), así como también 96.23 % de Au y 3.77 % de Ag (D), ver Figura 46.

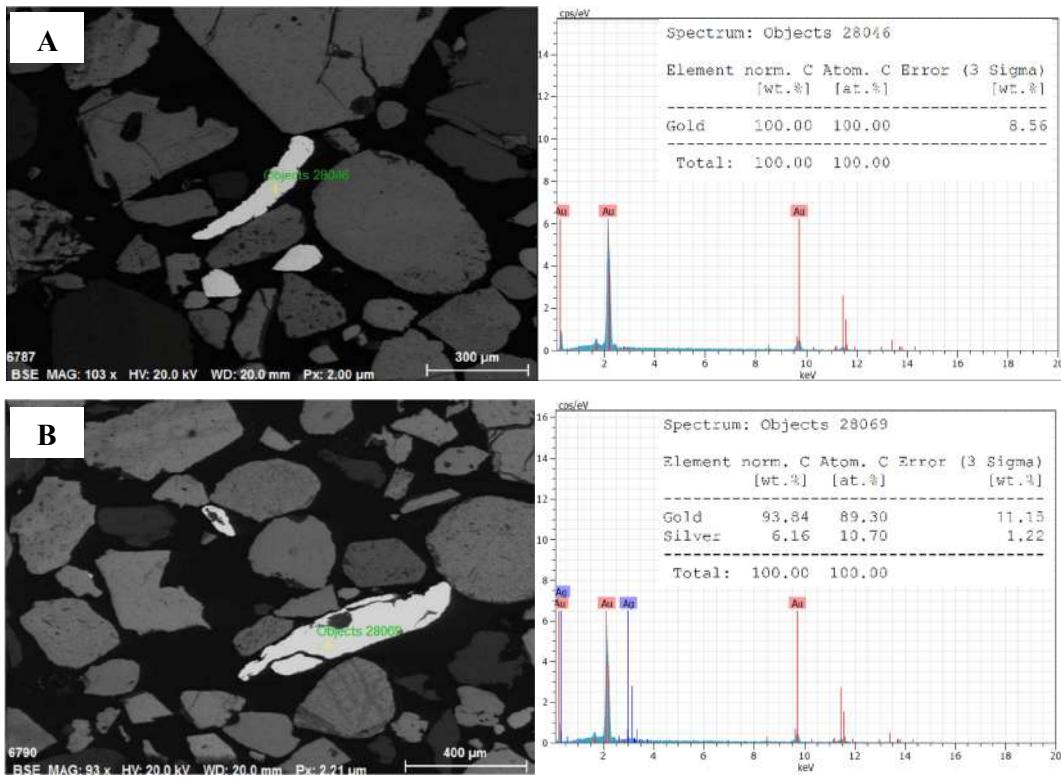


Figura 45: Imagen, composición y espectro de oro nativo registrados a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM), para la muestra Dai-02 Cbz; A) 100 % contenido de Au, B) 93.84 % de Au y 6,16 de Ag.

Fuente: Fotomicrografías y espectro reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

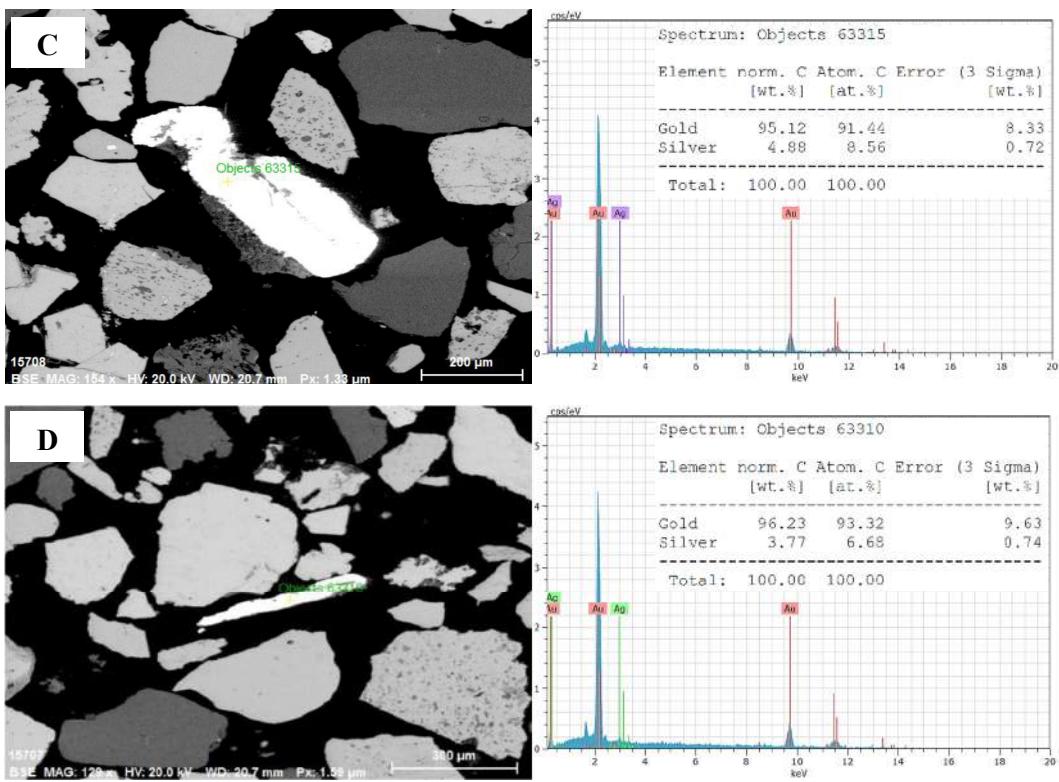


Figura 46: Imagen, composición y espectro de oro nativo registrados a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM), para la muestra Dai-Hg 06; C) 95.12 % de Au y 4.88 % de Ag, D) 96.23 % de Au y 3.77 % de Ag.

Fuente: Fotomicrografías y espectro reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Tabla 42: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Dai-02 Cbz (Bloque I), a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).

Mineral	Fórmula	Composición química: Porcentaje en peso de cada elemento (Wt%) normalizado											Total
		Au	Ag	Ba	Fe	Mn	O	Pb	S	Sn	Ti	W	
Baritina	BaSO ₄			67.58			16.11		16.31				100
Casiterita	SnO ₂						21.08			78.92			100
Esfalerita	ZnS				7.92				33.82			58.26	100
Ferberita	FeWO ₄				16.60	2.46	16.42					64.52	100
Galena	PbS							86.40	13.60				100
Goetita	FeO ₂ H				63.25		36.75						100
Hematita	Fe ₂ O ₃				70.63		28.38			0.99			100
Ilmenita	FeTiO ₃				34.80	0.85	31.12			33.23			100
Magnetita	Fe ₃ O ₄				74.89		24.99			0.12			100
Oro nativo	Au	99.09	0.91										100
Pirita	FeS ₂				47.28			52.72					100
Pirrotina	Fe ₇ S ₈				60.09			39.91					100
Ulvoespinela	TiFe ₂ O ₄				52.71		30.79			16.50			100

Fuente: Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Tabla 43: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Dai-02 Cbz (Bloque II), a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).

Mineral	Fórmula	Composición química: Porcentaje en peso de cada elemento (Wt%) normalizado													Total	
		Ag	Ca	Ce	Fe	La	Nb	Nd	O	P	Pb	Si	Ti	Th	Zr	
Fosfato de Y	YPO ₄								39.28	20.32				40.40	100	
Fosfato de Ce, La y Ag	(Ce,La,Ag)PO ₄	4.61	0.62	34.62		17.10			26.15	16.78		0.12			100	
Fosfato de Ce, La y Nd	(Ce,La,Nd)PO ₄			24.48		6.47		30.07	23.61	15.37					100	
Fosfato de Ce y La	(Ce,La)PO ₄			42.42		11.46			26.5	19.62					100	
Óxido de Y y Nb	Y ₂ O ₃ / Nb ₂ O ₅			0.26		43.72			30.23					25.79	100	
Óxido de Pb y Nb	PbO / Nb ₂ O ₅			1.79		40.71			24.56	30.28		2.66			100	
Silicato de Y	Y ₂ Si ₂ O ₇							36.89			16.29			46.82	100	
Torianita	ThO ₂							18.05					81.95		100	
Torita	(Th,U)SiO ₄							16.35			8.68		71.38	2.86	0.73	100
Zircón	ZrSiO ₄							29.21			13.47		0.36		56.96	100

Fuente: Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Tabla 44: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Dai-Hg 06 (Bloque I), a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).

Mineral	Fórmula	Composición química: Porcentaje en peso de cada elemento (Wt%) normalizado											Total
		Au	Ag	Ce	Fe	La	Nd	O	P	Si	Sn	Ti	
Oro nativo	Au	99.02	0.98										100
Magnetita	Fe ₃ O ₄				69.83			30.17					100
Ti – magnetita	Ti - Fe ₃ O ₄				63.19			30.78			6.03		100
Cuarzo	SiO ₂							49.95		50.05			100
Casiterita	SnO ₂							21.39			78.61		100
Monacita	(Ce,La,Nd)PO ₄			30.51		15.93	13.84	24.97	14.75				100
Xenotima	YPO ₄							42.29	19.93			37.78	100

Fuente: Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Tabla 45: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Dai-Hg 06 (Bloque II), a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).

Mineral	Fórmula	Composición química: Porcentaje en peso de cada elemento (Wt%) normalizado										Total
		Ag	Al	Dy	Fe	Mn	Nb	O	Si	Ti	Y	
Ilmennita	FeTiO ₃				32.93	1.96		33.18		31.93		100
Ulvoespinela	TiFe ₂ O ₄				47.47			35.69		16.84		100
Hematita	Fe ₂ O ₃				69.08			29.91		1.01		100
Zircón	ZrSiO ₄							30.81	14.65		54.54	100
Fergusonita - Y	(Dy,Y)NbO ₄	0.32		2.51	2.13		40.43	29.11			25.50	100
Silicato Fe, Al	-		25.58		6.20			45.91	22.31			100
Silicato de Al	Al ₂ SiO ₅		26.38					47.41	26.21			100

Fuente: Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Raúl 1: Los minerales identificados en los campos determinados son los siguientes, para la muestra Cqi-04 Cbz: oro nativo (Au + Ag), ilmenita (FeTiO₃), cuarzo (SiO₂), zircón (ZrSiO₄), ulvoespinela (TiFe₂O₄) y monacita ((Ce,La,Nd)PO₄). Los espectros de los análisis realizados que muestran la energía de las partículas o radiación electromagnética (keV) versus la intensidad de un espectro en función de la energía (cps/eV) lo que expresa en porcentajes la composición de un mineral; se registró 100 % de oro (A) y en otro espectro (B), se registró 98.5 % de Au y 1.5 de Ag, ver Figura 47, según Marsden & House, (2006), para el caso del Au, éste se encuentra generalmente asociado químicamente con Ag, formando una solución sólida, por tanto, en función a su composición química, se le denominará oro nativo cuya composición en Ag sea inferior al 25% y electrum sobre o igual al 25%.

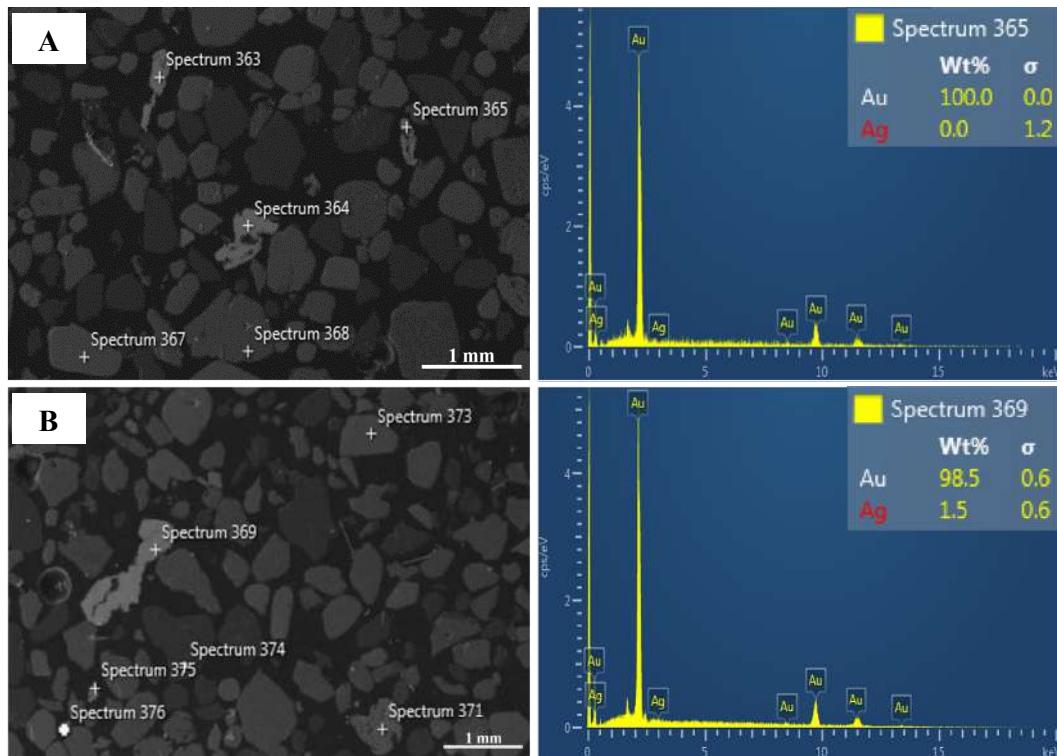


Figura 47: Imagen, composición y espectro de oro nativo registrados a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM), para la muestra Cqi-04 Cbz; A) 100 % de Au, B) 98.5 % de Au y 1.5 % de Ag.

Fuente: Fotomicrografías y espectro reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Tabla 46: Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra Cqi-04 Cbz, a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM).

Mineral	Fórmula	Composición química: Porcentaje en peso de cada elemento (Wt%) normalizado										Total
		Au	Ag	Ce	Fe	La	Nd	O	P	Si	Ti	
Oro nativo	Au	99	1		51.90							100
Ulvoespinela	TiFe ₂ O ₄						29.70			18.40		100
Cuarzo	SiO ₂						52.80		47.20			100
Zircón	ZrSiO ₄						33.20		16.70		50.10	100
Monacita	(Ce,La,Nd)PO ₄		28.50		14.60	14.20	26.50	16.20				100
Ilmenita	FeTiO ₃		36.40				31.80			31.80		100

Fuente: Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

Mediante el análisis por Microscopía electrónica de barrido (SEM), se corroboró que en las muestras del depósito aluvial Puerto Belén predominan los óxidos de hierro (hematita, ilmenita, hematita, goetita), mientras que en Raúl 1, predomina el óxido de silicio (cuarzo) y concentraciones de óxidos de hierro y titanio (ilmenita). En la lectura de los análisis con énfasis en oro nativo, se registraron en su mayoría, espectros cuya composición es Au y Ag (93.84 % Au + 6.16 % Ag, 96.23 % Au + 3.77 % Ag, 95.12 % Au + 4.88 % Ag, 98.5 % Au + 1.5 % Ag), y en algunos casos es 100 % Au. Gracias a este análisis (SEM), se identificaron minerales portadores o compuestos por tierras raras (REEs), registrándose presencia de Lantano, Cerio, Neodimio (tierras raras ligeras), Itrio y Disprosio (tierras raras pesadas); también se identificó Niobio, además de elementos químicamente radiactivos como Torio y Urano (solamente registrados en las muestras del depósito Puerto Belén).

Tabla 47: Elementos químicos relevantes, registradas mediante el análisis por Microscopía electrónica de barrido (SEM).

Muestra	REEs					“Coltán”			Radiactivos	
	LREEs			HREEs		Columbita+Tantalita			Th	U
	La	Ce	Nd	Y	Dy	Ta	Nb			
Dai-02	*	*	*	*			*	*	*	
Dai-06	*	*	*	*	*			*	*	
Cqi-04	*	*	*							

(*) Elementos químicos que se encuentran formando parte de algún mineral.

Fuente: Datos reportados por Laboratorio BIZALab SAC.

4.2.4. Granulometría

Se incluyen los siguientes ensayos de análisis granulométrico valorado (GSAv o malla valorada), realizados a muestras representativas de preconcentrados de los depósitos aluviales auríferos, con lo que se busca conocer la distribución (granulometría) y concentración (g/t Au) de las partículas de oro, clasificándolas de acuerdo al número de mallas seleccionadas.

- **Análisis Granulométrico Valorado (GSAv)**

Puerto Belén: Se ensayaron dos muestras representativas, utilizándose cinco mallas ASTM: 60, 100, 140, 200 y 325, haciendo empleo de un tamizador analítico eléctrico y posteriores

ensayos al fuego para el análisis de oro. En la primera muestra (Dai-01 Cbz), la distribución de oro es la siguiente: 82.31 % de partículas de oro libre se encuentran sobre malla 60 (+M60), 2.23 % bajo malla 60 (-M60) y sobre malla 100 (+M100), 1.49 % bajo malla 100 (-M100) y sobre malla 140 (+M140), 1.99 % bajo malla 140 (-M140) y sobre malla 200 (+M200), 4.66 % bajo malla 200 (-M200) y sobre malla 3250 (+M325) y el 7.32 % se encuentra por debajo de malla 325 (-M325). En la segunda muestra (Dai-29 Cbz), la distribución de oro es la siguiente: 57.35 % de partículas de oro libre se encuentran sobre malla 60 (+M60), 19.56 % bajo malla 60 (-M60) y sobre malla 100 (+M100), 8.52 % bajo malla 100 (-M100) y sobre malla 140 (+M140), 5.84 % bajo malla 150 (-M140) y sobre malla 200 (+M200), 4.54 % bajo malla 200 (-M200) y sobre malla 3250 (+M325) y el 4.18 % se encuentra por debajo de malla 325 (-M325).

Tabla 48: Resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para la muestra Dai-01 Cbz, ejecutado en Laboratorio Metasil SAC.

Malla ASTM	μm	Masa (g)	Distribución		Ley Au (g/t)	Distribución Au		Masa Au (mg)
			% (g)	% Pst		% Au	% Pst	
+M60	248	25	34.53	65.47	62191.30	82.31	17.69	1554.80
-M60+M100	147	10	13.81	51.66	1685.90	2.23	15.46	16.86
-M100+M140	104	10	13.81	37.85	1123.40	1.49	13.97	11.23
-M140+M200	74	10	13.81	24.03	1505.90	1.99	11.98	15.10
-M200+M325	44	15	20.72	3.31	3521.13	4.66	7.32	52.82
-M325		2.40	3.31	0	5528.03	7.32	0	13.27
Total		72.40	100			100		1664.04

Fuente: Datos reportados por Laboratorio CJV SAC (g/t Au).

Tabla 49: Resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para la muestra Dai-29 Cbz, ejecutado en Laboratorio Metasil SAC.

Malla ASTM	μm	Masa (g)	Distribución		Ley Au (g/t)	Distribución Au		Masa Au (mg)
			% (g)	% Pst		% Au	% Pst	
+M60	248	54.95	24.98	75.02	6968.31	57.35	42.65	382.90
-M60+M100	147	41.20	18.73	56.29	2376.36	19.56	23.09	97.90
-M100+M140	104	29.90	13.59	42.69	1035.53	8.52	14.57	30.96
-M140+M200	74	31.70	14.41	28.28	709.97	5.84	8.73	22.50
-M200+M325	44	31.60	14.37	13.91	551.77	4.54	4.18	17.44
-M325		30.60	13.91	0	508.48	4.18	0	15.56
Total		219.95	100			100		567.28

Fuente: Datos reportados por Laboratorio CJV SAC (g/t Au).

Raúl 1: Se ensayaron dos muestras representativas, utilizándose cinco mallas ASTM: 60, 100, 140, 200 y 325, haciendo empleo de un tamizador analítico eléctrico y posteriores ensayos al fuego para el análisis de oro. En la primera muestra (Cqi-05 Cbz), la distribución de oro es la siguiente: 23.12 % de partículas de oro libre se encuentran sobre malla 60 (+M60), 31.19 % bajo malla 60 (-M60) y sobre malla 100 (+M100), 18.14 % bajo malla 100 (-M100) y sobre malla 140 (+M140), 13.36 % bajo malla 150 (-M140) y sobre malla 200 (+M200), 5.07 % bajo malla 200 (-M200) y sobre malla 3250 (+M325) y el 9.12 % se encuentra por debajo de malla 325 (-M325). En la segunda muestra (Cqi-08 Cbz), la distribución de oro es la siguiente: 17.52 % de partículas de oro libre se encuentran sobre malla 60 (+M60), 2.80 % bajo malla 60 (-M60) y sobre malla 100 (+M100), 1.87 % bajo malla 100 (-M100) y sobre malla 140 (+M140), 2.50 % bajo malla 150 (-M140) y sobre malla 200 (+M200), 5.85 % bajo malla 200 (-M200) y sobre malla 3250 (+M325) y el 69.45 % se encuentra por debajo de malla 325 (-M325).

Tabla 50: Resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para la muestra Cqi-05 Cbz, ejecutado en Laboratorio Metasil SAC.

Malla ASTM	μm	Masa (g)	Distribución		Ley Au (g/t)	Distribución Au		Masa Au (mg)
			% (g)	% Pst		% Au	% Pst	
+M60	248	43.93	10.98	89.02	2630.06	23.12	76.88	115.55
-M60+M100	147	91.48	22.86	66.16	3547.23	31.19	45.69	324.50
-M100+M140	104	75.87	18.96	47.20	2063.49	18.14	27.55	156.55
-M140+M200	74	96.22	24.05	23.15	1519.12	13.36	14.19	146.17
-M200+M325	44	82.54	20.63	2.52	576.97	5.07	9.12	47.62
-M325		10.10	2.52	0	1037.55	9.12	0	10.48
Total		400.14	100			100		800.87

Fuente: Datos reportados por Laboratorio CJV SAC (g/t Au).

Tabla 51: Resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para la muestra Cqi-08 Cbz, ejecutado en Laboratorio Metasil SAC.

Malla ASTM	μm	Masa (g)	Distribución		Ley Au (g/t)	Distribución Au		Masa Au (mg)
			% (g)	% Pst		% Au	% Pst	
+M60	248	129.70	32.78	67.22	10538.20	17.52	82.48	1366.80
-M60+M100	147	133.90	33.84	33.38	1685.90	2.80	79.68	225.74
-M100+M140	104	52.50	13.27	20.12	1123.40	1.87	77.81	59
-M140+M200	74	53.60	13.55	6.57	1505.90	2.50	75.31	80.72
-M200+M325	44	23.60	5.96	0.61	3521.10	5.85	69.45	83.10
-M325		2.40	0.61	0	41779	69.45	0	100.27
Total		395.70	100			100		1915.63

Fuente: Datos reportados por Laboratorio CJV SAC (g/t Au).

De acuerdo a los resultados del Análisis granulométrico valorado (GSAv); en el depósito aluvial Puerto Belén, se obtuvo retención parcial de 82.31 % y 57.35 % sobre malla 60 (+M60), 2.23 % y 19.56 % sobre malla 100 (+M100), 1.49 % y 5.84 % sobre malla 140 (+M140), y que expresado en porcentaje acumulado representa el 86.03 % y 85.43 % sobre malla 140 (+M140), lo que significa que el oro distribuido en del depósito aluvial Puerto Belén es grueso, ya que más del 85 % de las partículas son mayores a malla 140 ($>104 \mu\text{m}$), siendo esto un indicador de que estos depósitos están relativamente cerca de su fuente primaria, ya que no sufrieron demasiado transporte.

En el depósito aluvial Raúl 1, se obtuvo retención parcial de 23.12 % y 17.52 % sobre malla 60 (+M60), 31.19 % y 2.8 % sobre malla 100 (+M100), 18.14 % y 1.87 % sobre malla 140

(+M140), y que expresado en porcentaje acumulado representa el 72.45 % y 22.19 % sobre malla 140 (+M140), mientras que el porcentaje acumulado bajo malla 140 (-M140) es de 27.55 % y 77.8 %, lo que significa que el oro presente en el depósito aluvial Raúl 1, de acuerdo a su granulometría se distribuye de forma similar entre finos y gruesos, en la primera muestra (Cqi-05 Cbz), el 72.45 % es oro grueso ($>104 \mu\text{m}$), mientras que en la segunda (Cqi-08 Cbz), el 77.8 % representa a oro fino ($<104 \mu\text{m}$), los porcentajes equivalentes, indican que las partículas sufrieron las mismas condiciones al ser transportadas, así como también que la distancia de transporte es mucho mayor (fuente primaria más alejada) comparada con la que sufrieron las partículas en Puerto Belén.

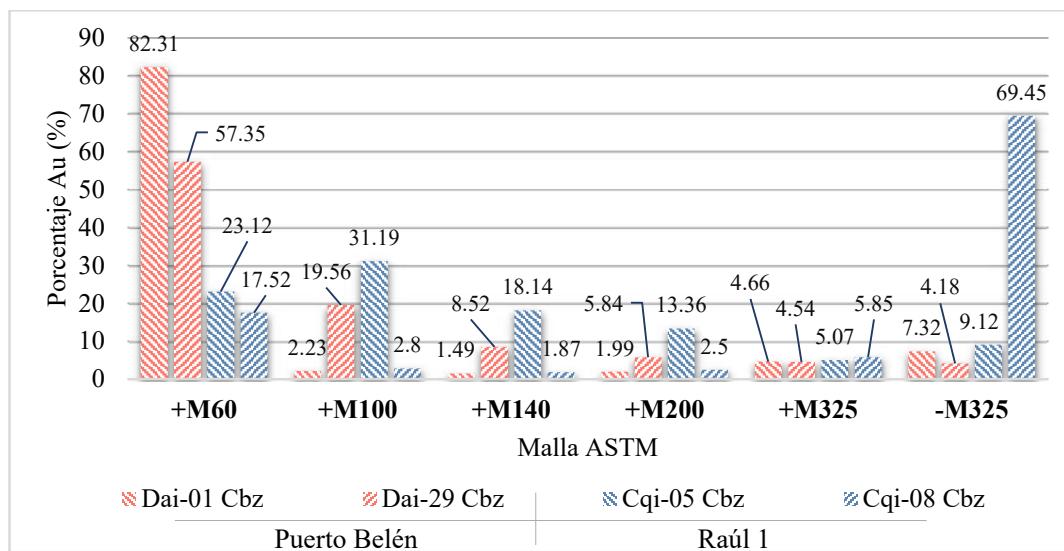


Figura 48: Diagrama de barras horizontales que representa los resultados del análisis granulométrico valorado (GSAv) para las muestras representativas de los depósitos aluviales auríferos estudiados. – Datos reportados por Laboratorio CJV SAC (g/t Au).

De la clasificación realizada a los sedimentos (arenas negras o muestra representativa) en el análisis granulométrico valorado, se aprovecha la distribución de masas expresada en porcentajes, para estimar un rango de distribución granulométrica de estos sedimentos. Se obtuvieron los siguientes datos: Puerto Belén, la mayor concentración de sedimentos está sobre malla 60 (+M60) registrándose 34.53 % y 24.98 %, en cada una de las muestras ensayadas; mientras que en Raúl 1, la mayor concentración de sedimentos está entre malla 100 (+M100) y malla 60 (-M60) registrándose 22.86 % y 33.84 % en Cqi-05 Cbz y Cqi-08 Cbz, respectivamente.

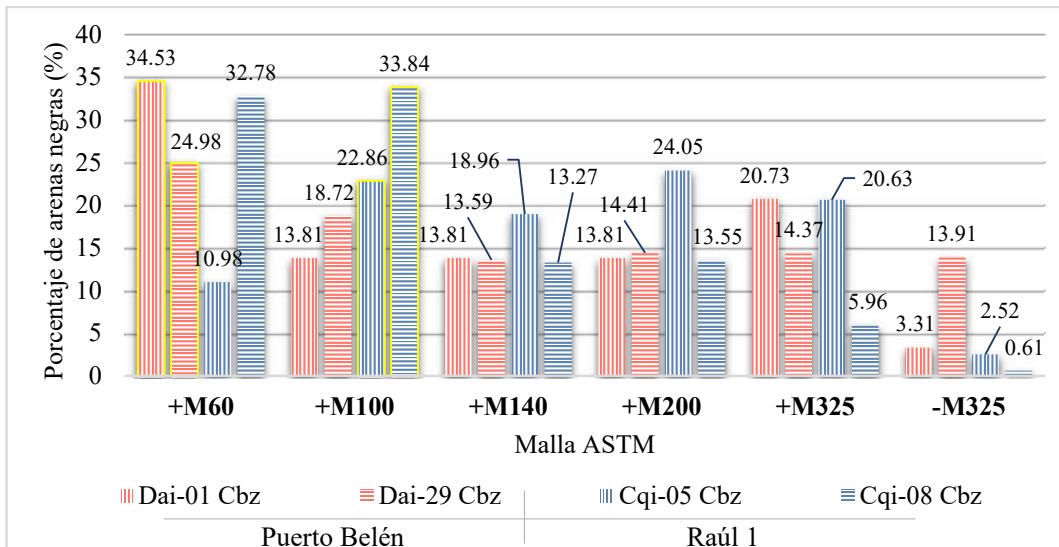


Figura 49: Diagrama de barras horizontales que representa la distribución granulométrica de arenas negras expresada en porcentajes para las muestras representativas de los depósitos aluviales auríferos estudiados.

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La investigación permitió determinar que los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1, están constituidos por gravas, arenas, limos, arcillas y minerales de interés económico. Puerto Belén, conformado por gravas limo-arcillosas arenosas, clastos mal seleccionados y predominio de óxidos de hierro (50.04 %), la ley promedio de oro en preconcentrados es 1885.55 g/t, el 70 % > 106 μm ; mientras que Raúl 1, compuesto por gravas arenosas arcillo-limosas, clastos bien seleccionados y predominio de óxido de silicio (42.28 %), la ley promedio de oro en preconcentrados es de 2579.13 g/t, el 96.5 % > 106 μm . Con toda esta información, la hipótesis planteada ha sido contrastada y validada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La estructura vertical generalizada de los depósitos aluviales auríferos Puerto Belén y Raúl 1, está conformada por una secuencia típica, sobrecarga de 0.5 a 4 m, seguida por niveles de gravas (bloques, cantos y guijarros) en matriz compuesta por arenas, limos y arcillas, además de otros minerales.

La mineralogía y procedencia de las gravas en los depósitos aluviales analizados están determinadas por las formaciones geológicas paleozoicas a través de las cuales fluyen los ríos Inambari, Colorado y tributarios, por lo que se atribuye como fuente principal de oro a las formaciones Ananea, Sandia y las anfibolitas del Complejo Iscaybamba.

Los procesos de formación de los depósitos se desarrollaron de distinta manera, Puerto Belén muestra evidencia de energía elevada en un tiempo de deposición corto, además la abundancia de bloques indica menor distancia de transporte; en contraste, Raúl 1 presenta características de baja energía en tiempo de deposición largo y mayor distancia de transporte, evidenciada por el predominio de cantos y guijarros.

La concentración de oro en los depósitos presenta una distribución heterogénea: Puerto Belén con 1885.55 g/t Au y Raúl 1 con 2579.13 g/t Au, esta variabilidad se relaciona directamente con las diferencias geomorfológicas, estructurales e hidrográficas de cada depósito, lo que evidencia la influencia del contexto geológico en la concentración de metales preciosos.

El análisis mineralógico reveló diferencias composicionales notables entre ambos depósitos, en Puerto Belén predominan los óxidos de hierro (ilmenita, magnetita, hematita), seguidos por óxidos de silicio (cuarzo); mientras que en Raúl 1 predomina el óxido de silicio, seguido por ilmenita, hematita y zircón.

La caracterización mineralógica de los preconcentrados no solo permitió estimar el potencial aurífero de los depósitos, sino que también evidenció la presencia de minerales industriales y estratégicos como hierro y tierras raras; esta detección sugiere un potencial de diversificación mineral en la región, fortaleciendo la viabilidad de un aprovechamiento más integral y sostenible de los recursos.

5.2. RECOMENDACIONES

Para las autoridades ambientales, como OEFA, ANA, MINAM, establecer protocolos para monitoreos geoquímicos periódicos en zonas de explotación aluvial como Puerto Belén y Raúl 1, para detectar y controlar de forma anticipada la presencia de metales pesados, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, porque el estudio ha demostrado presencia de minerales pesados como ilmenita, magnetita y rutilo, que pueden estar asociados a elementos potencialmente tóxicos.

Para los mineros, implementar tecnologías limpias de preconcentración (centrífugas, mesas gravimétricas, concentradores helicoidales) y evitar el uso de mercurio en la etapa de beneficio, para reducir la carga contaminante sobre cuerpos de agua y evitar la dispersión de mercurio en el ambiente, puesto que en la tesis se caracteriza mineralógicamente los depósitos y muestra que es viable separar oro y otros minerales mediante métodos gravimétricos excluyendo los químicos contaminantes.

Para instituciones e investigadores, profundizar los estudios geoambientales, incorporando análisis de contaminación de aguas, sedimentos y bioacumulación de metales, para generar líneas base científicas que respalden medidas regulatorias y tecnológicas específicas para minería aluvial, debido a que la caracterización geológica y mineralógica es una etapa base, es necesario integrar indicadores ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). 2021. Standard Method of Test for Particle-Size Analysis of Soils. Washington, D.C. 13 p.
- Alcantara, O., Fernández, C., Huamán, F. & Torres, J. 2016. Auriferous placer sampling and dimensioning – Caychive river area. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Alvarado, A. 2019. Exploración geológica de un yacimiento de placer de oro en la cuenca baja del río Marañón. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2011. Diagnóstico y Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca de Madre de Dios – Fase I. Lima, Perú. p. 87-150.
- Arcos, F. & Calderón, C. 2019. Actividad minera artesanal en las regiones de Áncash y Cusco. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Boletín N° 13, Serie E: Minería. Lima, Perú. 145 p.
- Becerra, I. 2017. Caracterización estructural de la cuenca mesozoica Arequipa en Pachía (36v) y Palca (36x) mediante análisis microtectónico e integración con información sísmica del subsuelo. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. 26 p.
- Blair, T. & McPherson, J. 1999. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*. Vol. 69. No. 1. p. 6-19.
- Bustamante, O., Gaviria, A. & Restrepo, O. 2008. Concentración de minerales. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Minerales CIMEX. Medellín, Colombia. 15 p.
- Campanini, O., Campos, V. & Jiménez, G. 2019. El caso de la minería aluvial del oro en Bolivia. LaLibre. Cochabamba, Bolivia. 4 p.
- Carabajal, C. & Chávez, A. 2015. Estudio del concentrador gravimétrico helicoidal hecho con fibra de vidrio y sus parámetros de funcionamiento. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 16 p.
- Chirif, H. 2010. Microscopía óptica de minerales. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Boletín N° 1, Serie J: Tópicos de geología. Lima, Perú.
- Cohen, K., Finney, S., Gibbard, P. & Fan, J. 2023. The ICS International Chronostratigraphic Chart. International Commision on Stratigraphy (IUGS). Episodes 36: 199-204.
- Cornejo, J. 2009. Yacimientos de tipo placer. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real, España. p. 2-7.

- Corrales, I., Rosell, J., Sánchez, L., Vera, J. & Vilas, L. 1977. Estratigrafía. Editorial Rueda. Madrid, España. p. 49-52.
- Cuenca, D., Carranco, J., Cuesta, G. & Cabrera, G. 2022. Prospección de placeres aluviales en el Río Upano ubicado en la parroquia Alshi 9 de octubre, cantón Morona, provincia de Morona Santiago. Escuela Superior de Chimborazo. Polo del Conocimiento (Edición número 67) Vol. 7, No. 2. Macas, Ecuador.
- Dávila, J. 2011. Diccionario geológico. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Lima, Perú. 373 p.
- Earle, S. 2015. Physical Geology. BCcampus. Second edition. Vancouver, USA. p. 148-329.
- Eloung, D., Ndjigui, P., Yene, J., Nyangono, A. & Ndongue, C. 2020. Sedimentological characterization of alluvial gold deposits of Betrare-Oya and its surroundings (Cameroon Eastern Region). International Journal of Geosciences. Los Angeles, California, USA. p. 783-799.
- Folk, R. 1980. Petrology of Sedimentary Rock. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas, USA. 23-28 p.
- Griem, W. 2016. Apuntes de geología general. Geovirtual2. Chile.
- Henley, K. 1975. Gold ore mineralogy and its relation to metallurgical treatment. Minerals Science and Engineering. Vol. 7, No. 4. Sudáfrica.
- INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico). 2019. Evaluación geológica – geodinámica en las quebradas Chaupimayo y Paucar. Informe Técnico N° A6894. Lima, Perú. 3-5 p.
- Johnson, M. 1984. Placer gold deposits of Nevada. Geological Survey Bulletin 1356. Washington, D.C. USA.
- Jones, B. 2017. Gold placer geology. Gold Prospectors Association of America. Azusa, California, USA.
- Kartashov, I. 1971. Geological features of alluvial placers. Economic Geology, Volumen 66, Number 6. Moscow, USSR. p. 879-885.
- Ledesma, P. 2021. Caracterización de oro y minerales de tierras raras en depósitos fluviales tipo placer del río Madre de Dios. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- León, W., Palacios, O., Vargas, L. & Sánchez, A. 2000. Memoria explicativa del Mapa Geológico del Perú escala 1:1000000 1999. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Boletín N° 136, Serie A: Carta Geológica Nacional. Lima, Perú. 12 p.

- Loaiza, E. & Calderón, C. 2021. Actividad minera artesanal en la región Madre de Dios. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Boletín N° 15, Serie E: Minería. Lima, Perú.
- Lobe, C. 2018. Concentración de magnetita y oro libre, en los suelos aluviales de Inguro (Bellavista, Jaén, Cajamarca) por el método gravimétrico, como una alternativa ambiental. Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de Posgrado. Perú.
- Lunar, R. & Oyarsun, R. 1991. Yacimientos minerales - técnicas de estudio, tipos, evolución metalogénica, exploración. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces (CEURA). Madrid, España.
- Marsden, J. & House, L. 2006. The chemistry of gold extraction. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME). Second Edition. Colorado, USA. p. 19-21.
- Mupaya, B. 2020. Alluvial gold – Exploration and investment policies – aninterplay, Zimbabwe. University of Zimbabwe. Harare, Zimbabwe. 14 p.
- Norton, M. 2012. Sedimentary environment. Wikipedia-electronic download versión.
- O'Neill, J. & Telmer, K. 2017. Estimating Mercury Use and Documenting Practices in Artisanal and Small-scale Gold Mining (ASGM)-Methods and Tools. Artisanal Gold Council and UN Environment Global Mercury Partnership. Geneva, Switzerland. p. 1-5.
- Orche, E. 2001. Manual de geología y prospección de yacimientos minerales. Gráficas Arias Montano S.A. Madrid, España. p. 126-141.
- Palacios, O., Molina, O., Galloso, A. & Reyna, C. 1996. Geología de los cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Tambopata. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Boletín N° 81, Serie A: Carta Geológica Nacional. Lima, Perú.
- Pereira, R., Ávila, C. & Lima, P. 2005. Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação. Oficina de textos. São Paulo, Brasil.
- Pérez, C., Castro, M. & Loaiza, E. 2003. Reconocimiento de las actividades mineras y metalúrgicas en la cuenca de los ríos Madre de Dios e Inambari. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Lima, Perú.
- Pettijohn, F. 1975. Sedimentary Rocks. Harper and Row Publishers. 2nd Edition. New York, USA. 169-171 p.
- Plummer, C., Carlson, D. & Hammersley, L. 2016. Physical Geology. McGraw-Hill Education. Fifteenth edition. New York, USA. p. 112-150.

- Rodríguez, R. 2016. Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo – Corisorgona Cajamarca – Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Rodríguez, I., Acosta, J., Tumialán, P., Sempere, T., Huanacuni, D., Villarreal, E., Trelles, G., Torre, J. & Bustamante, C. 2023. Compendio minería y yacimientos minerales del Perú. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Boletín N° 86, Serie B: Geología Económica. Lima, Perú. p. 305-306.
- Tapia-Varela & López-Blanco 2001. Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 19, núm. 1, p. 50 – 65.
- Tarbuck, E., Lutgens, F. & Tasa, D. 2005. Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física. Pearson Educación S.A. Octava edición. Madrid, España. p. 610-671.
- Terry, R. & Chilingar, G. 1955. Summary of “Concerning some additional aids in studying sedimentary formations”, by M. S. Shvetsov. Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 25. No. 2. p. 229-234.
- Toscano, M., Pérez-López, R. & Sáez, R. 2012. Enseñanza de las ciencias de la tierra. Universidad de Huelva. España. p. 164-169.
- Tupiza, J. 2019. Tecnologías limpias para el aprovechamiento de depósitos detríticos (oro aluvial) ubicados en la Provincia del Napo. Universidad Central del Ecuador. Quito.
- Valdivia, F. 2019. Evaluación geológica – económica del yacimiento aurífero aluvial Okara, cantón Ancona, distrito de Sorata, provincia de Larecaja, departamento de La Paz, (Bolivia). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.
- Viladevall, M. 2004. La prospección de placeres de oro y otros minerales densos. Universidad de Barcelona. España. p. 9-16.
- Viladevall, M. 2007. La prospección del oro (La prospección aluvionar y el uso de la batea). Universidad de Barcelona. España. p. 6-15.

ANEXOS

A. MAPAS

Mapa 01: Mapa de Ubicación y Accesibilidad.

Mapa 02: Modelo Digital de Elevaciones.

Mapa 03: Mapa Geomorfológico.

Mapa 04: Mapa Geológico.

Mapa 05: Mapa Morfoestructural.

Mapa 06: Mapa de Unidades Hidrográficas.

Mapa 07: Mapa Hidrogeológico.

Mapa 08: Mapa de Estaciones Litoestratigráficas.

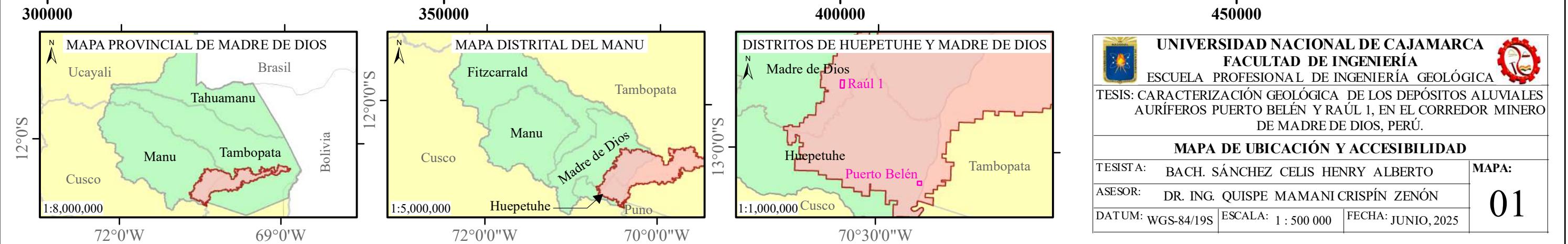
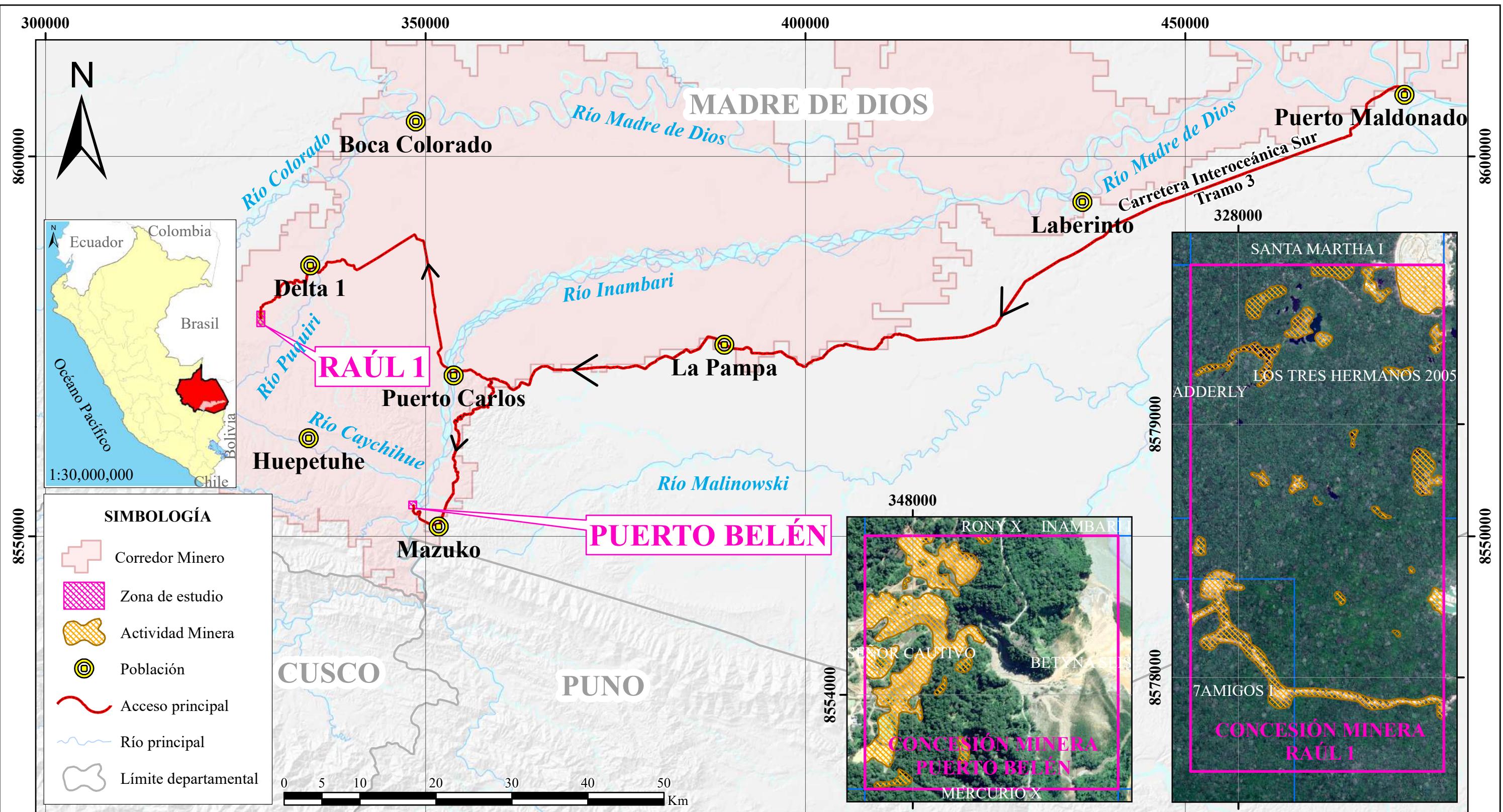
B. DIAGRAMAS

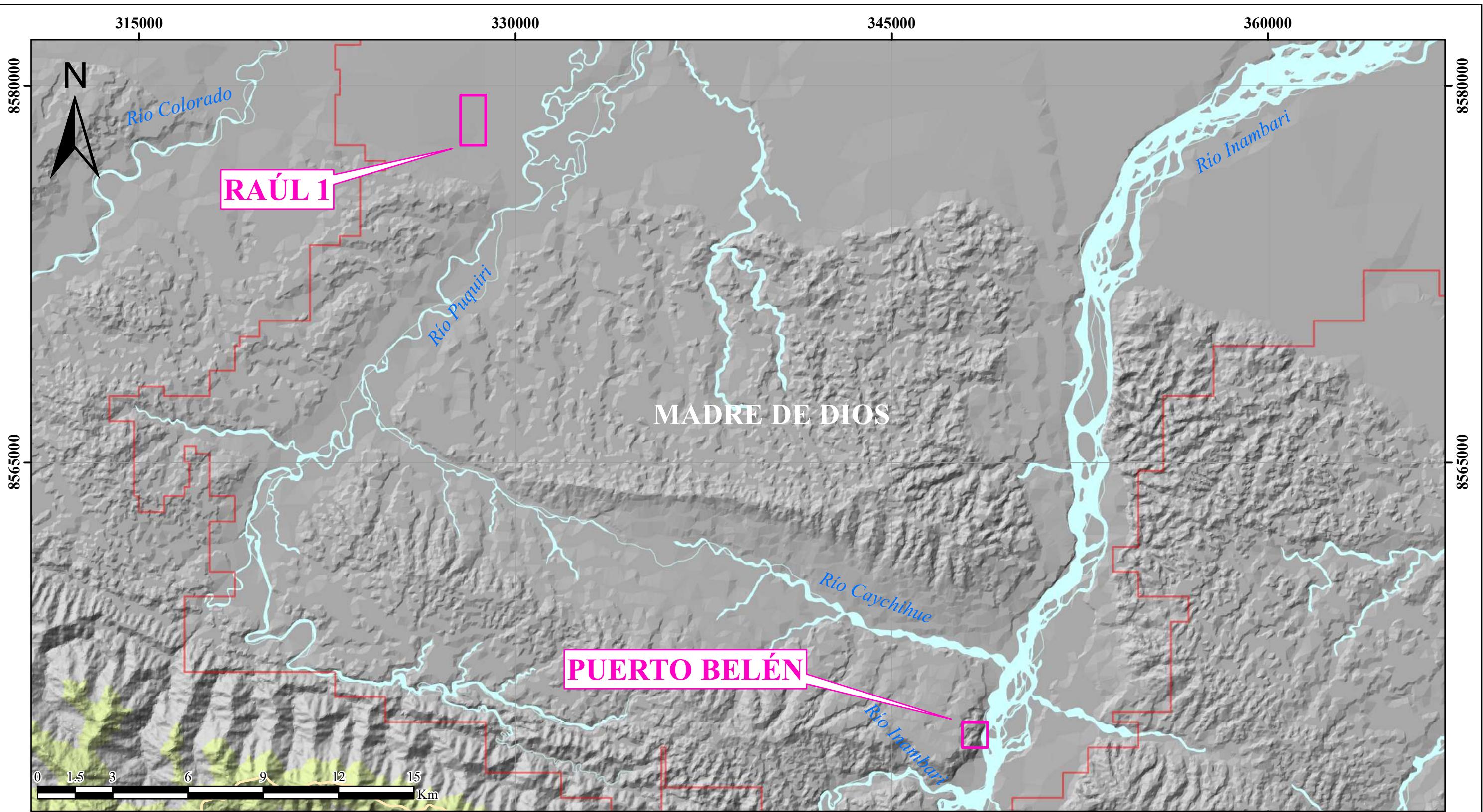
Diagrama 01: Clasificación y composición textural.

C. COLUMNAS

Columna 01: Columna Litoestratigráfica Puerto Belén.

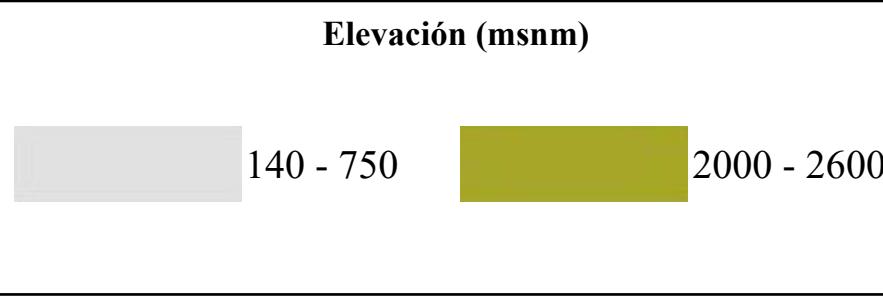
Columna 02: Columna Litoestratigráfica Raúl 1.





SIMBOLOGÍA

- + Corredor Minero
- Zona de estudio
- ~ Río principal
- Límite departamental



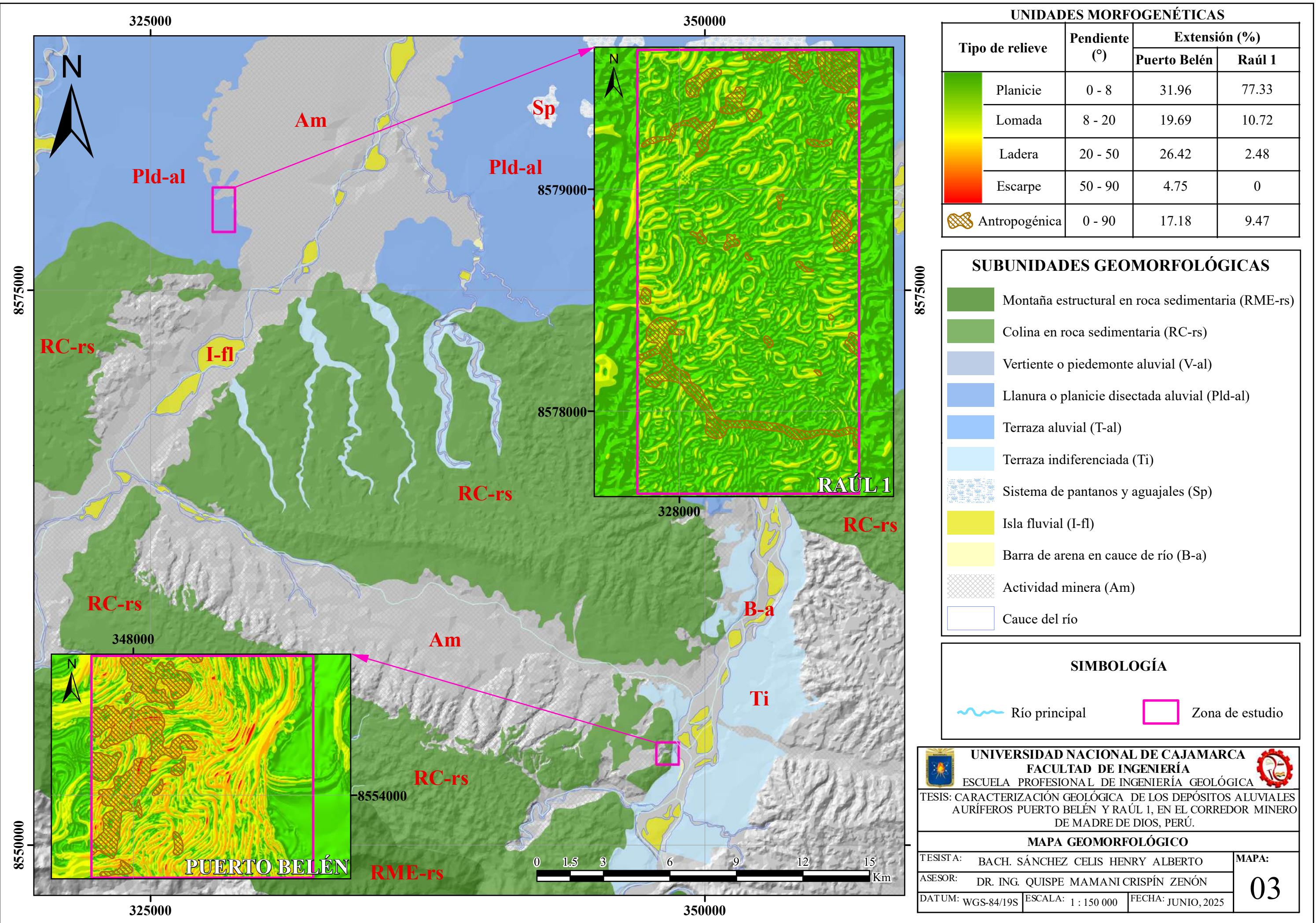
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

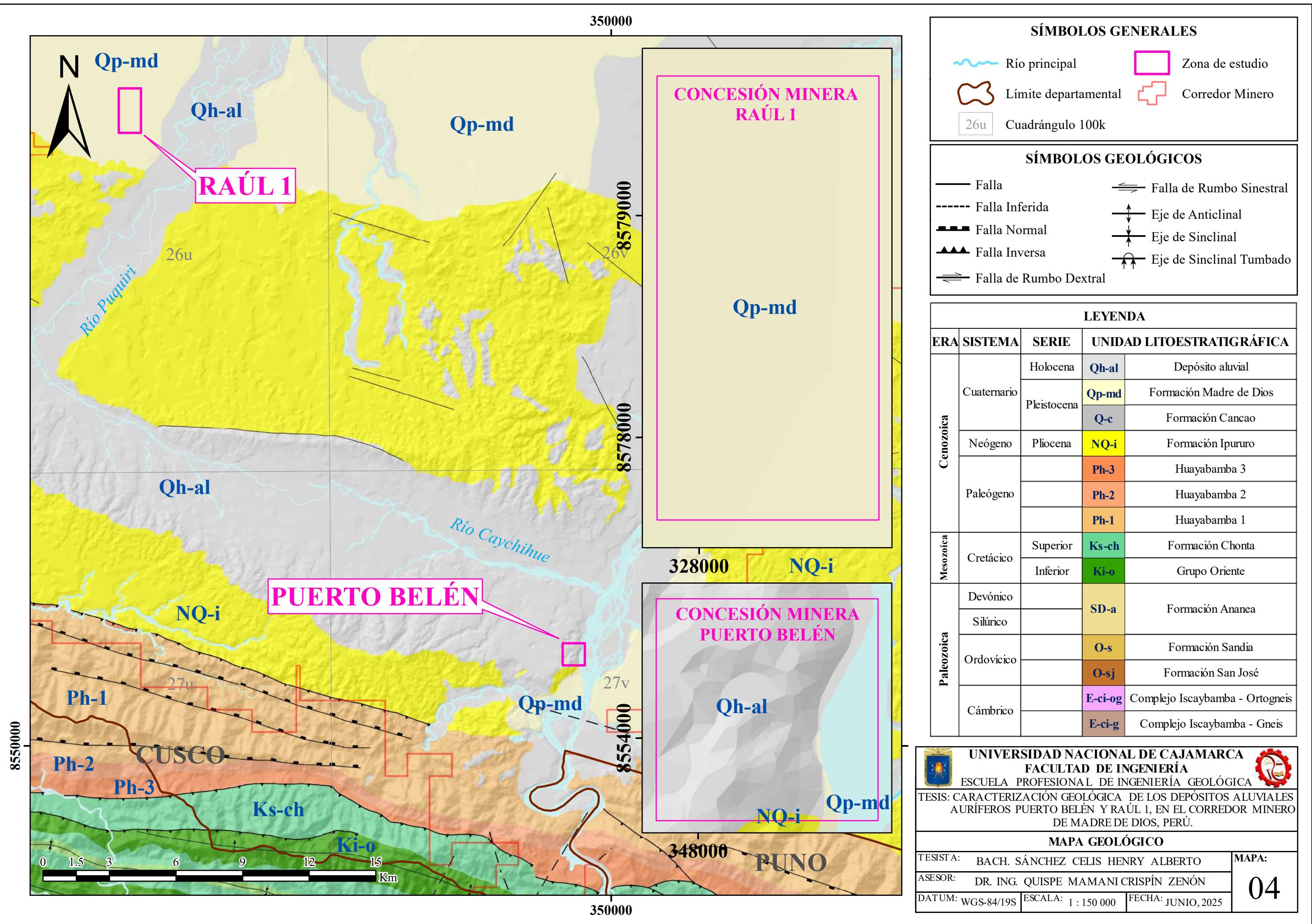
TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES AURÍFEROS PUERTO BELÉN Y RAÚL 1, EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS, PERÚ.

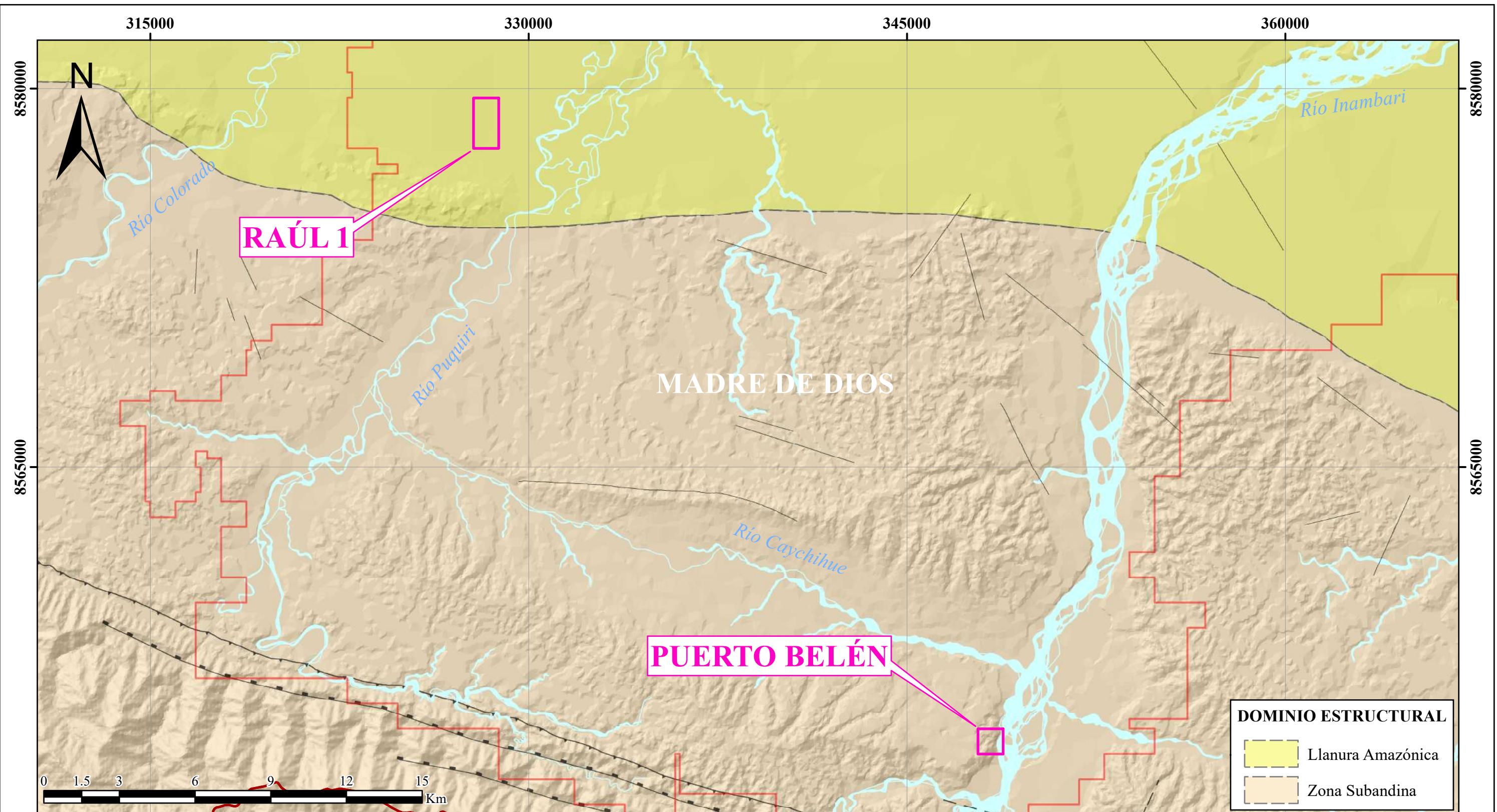
MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

TESISTA:	BACH. SÁNCHEZ CELIS HENRY ALBERTO	MAPA:
ASESOR:	DR. ING. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN	
DATUM:	WGS-84/19S	ESCALA: 1 : 150 000
		FECHA: JUNIO, 2025

02







SIMBOLOGÍA

- Corredor Minero
- Zona de estudio
- Río principal
- Límite departamental

SÍMBOLOS GEOLÓGICOS ESTRUCTURALES

- Falla
- - - Falla Inferida
- Falla Normal
- ▲▲ Falla Inversa

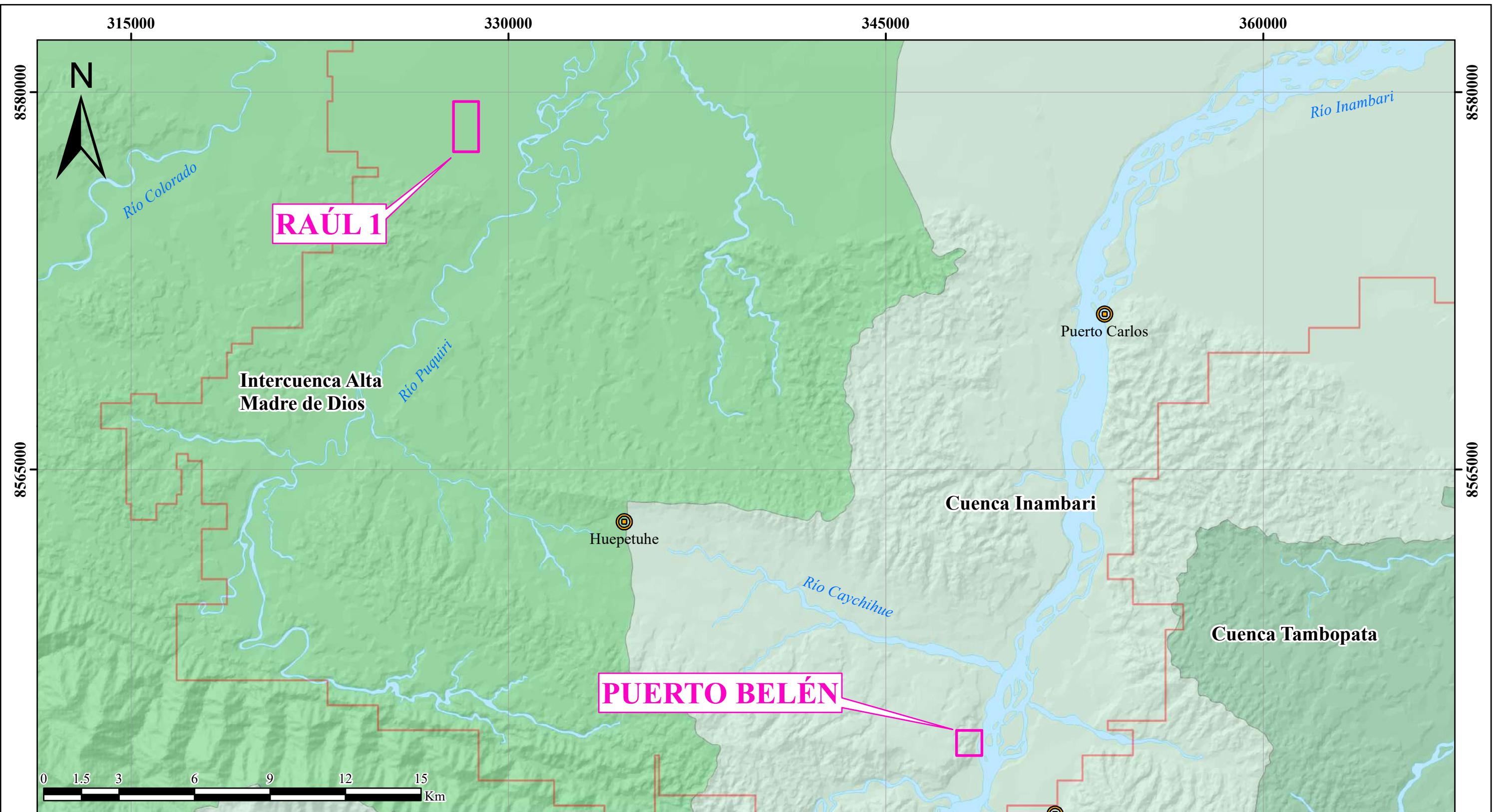


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES
AURÍFEROS PUERTO BELÉN Y RAÚL 1, EN EL CORREDOR MINERO
DE MADRE DE DIOS, PERÚ.

TESISTA:	BACH. SÁNCHEZ CELIS HENRY ALBERTO	MAPA:
ASESOR:	DR. ING. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN	
DATUM:	WGS-84/19S	ESCALA: 1 : 150 000
		FECHA: JUNIO, 2025

05



330000

345000

360000

Regiones Hidrográficas	
	Región Hidrográfica del Pacífico
	Región Hidrográfica del Amazonas
	Región Hidrográfica del Titicaca

SIMBOLOGÍA	
	Corredor Minero
	Zona de estudio
	Población
	Río principal



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

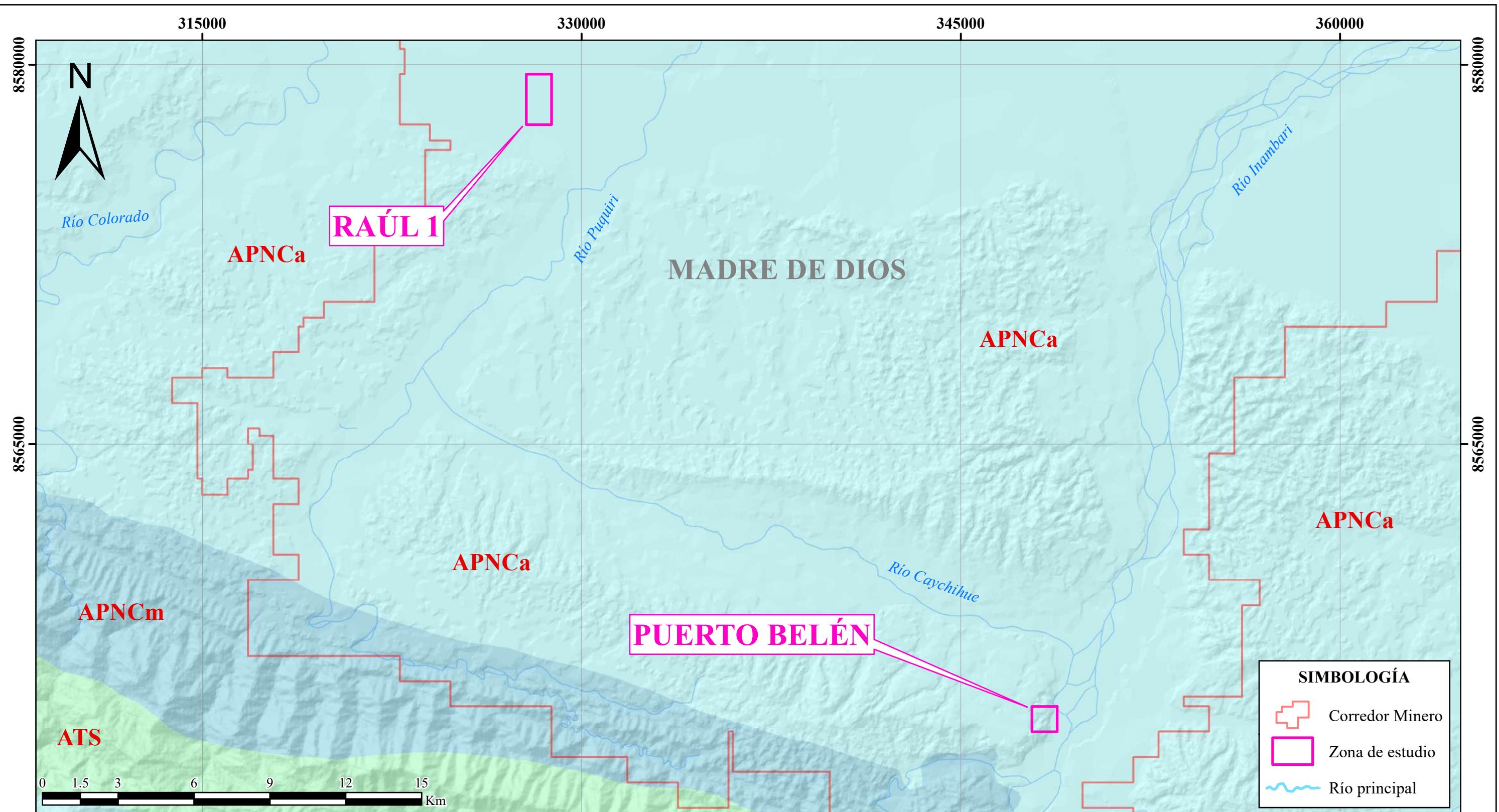


TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES AURÍFEROS PUERTO BELÉN Y RAÚL 1, EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS, PERÚ.

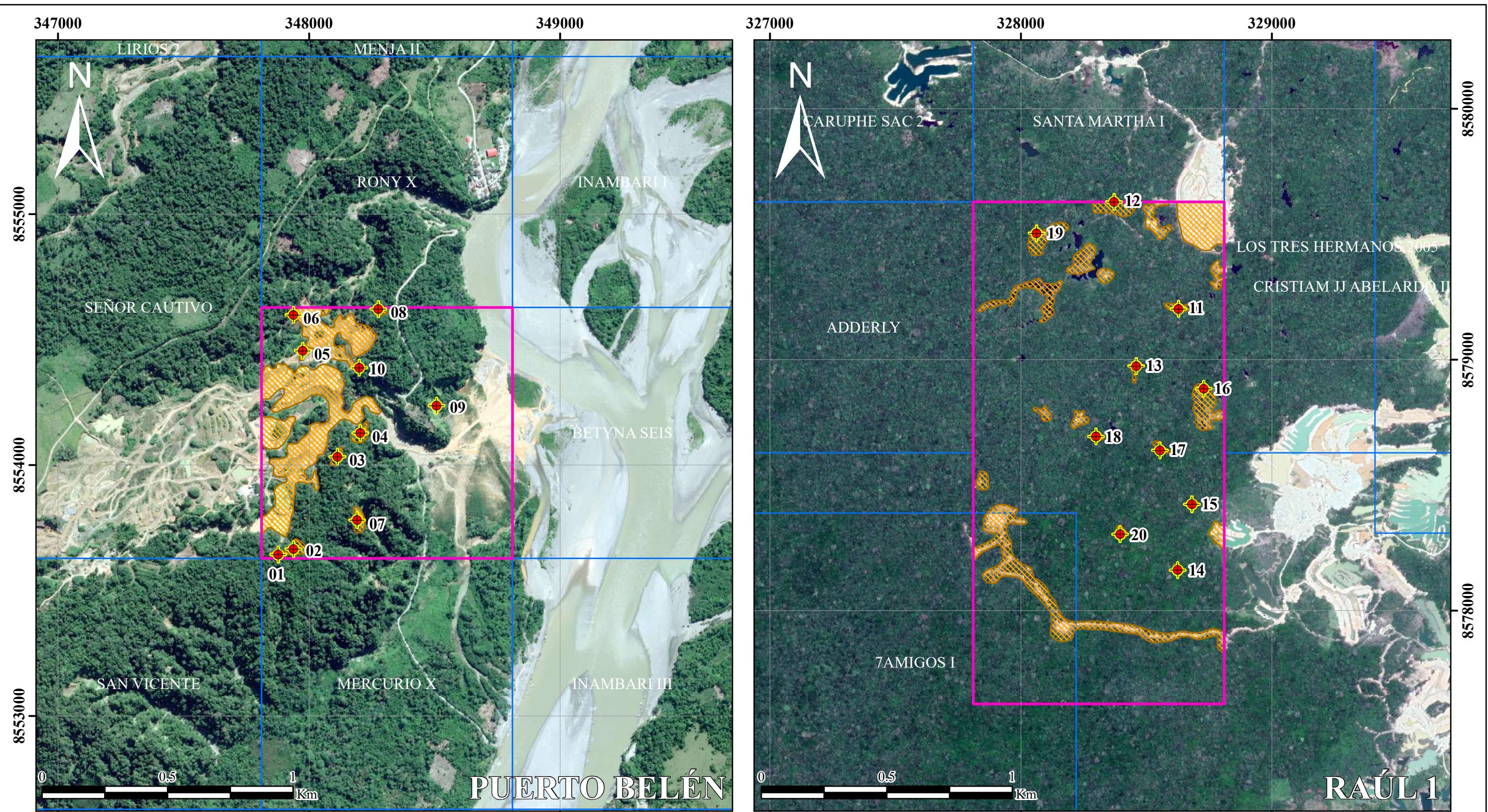
MAPA DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS

TESISTA:	BACH. SÁNCHEZ CELIS HENRY ALBERTO	MAPA:
ASESOR:	DR. ING. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN	
DATUM:	WGS-84/19S	ESCALA: 1 : 150 000
		FECHA: JUNIO, 2025

06



CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA	
	Acuitardo Sedimentario (ATS)
	Acuífero Poroso No Consolidado Alta (APNCa)
	Acuífero Poroso No Consolidado Media (APNCm)



EST.	ESTE	NORTE	MSNM
01	347877	8553643	470
02	347938	8553665	463
03	348113	8554033	433
04	348205	8554128	402
05	347975	8554456	430
06	347938	8554599	426
07	348192	8553781	441
08	348276	8554622	425
09	348508	8554237	360
10	348200	8554388	417

EST.	ESTE	NORTE	MSNM
11	328628	8579203	268
12	328371	8579629	270
13	328459	8578975	301
14	328625	8578162	272
15	328681	8578424	296
16	328728	8578884	266
17	328554	8578639	280
18	328299	8578694	264
19	328062	8579504	298
20	328395	8578305	268

SIMBOLOGÍA

- Estación Litoestratigráfica
- Zona de estudio
- Actividad Minera
- Catastro Minero



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



TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES AURÍFEROS PUERTO BELÉN Y RAÚL 1, EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS, PERÚ.

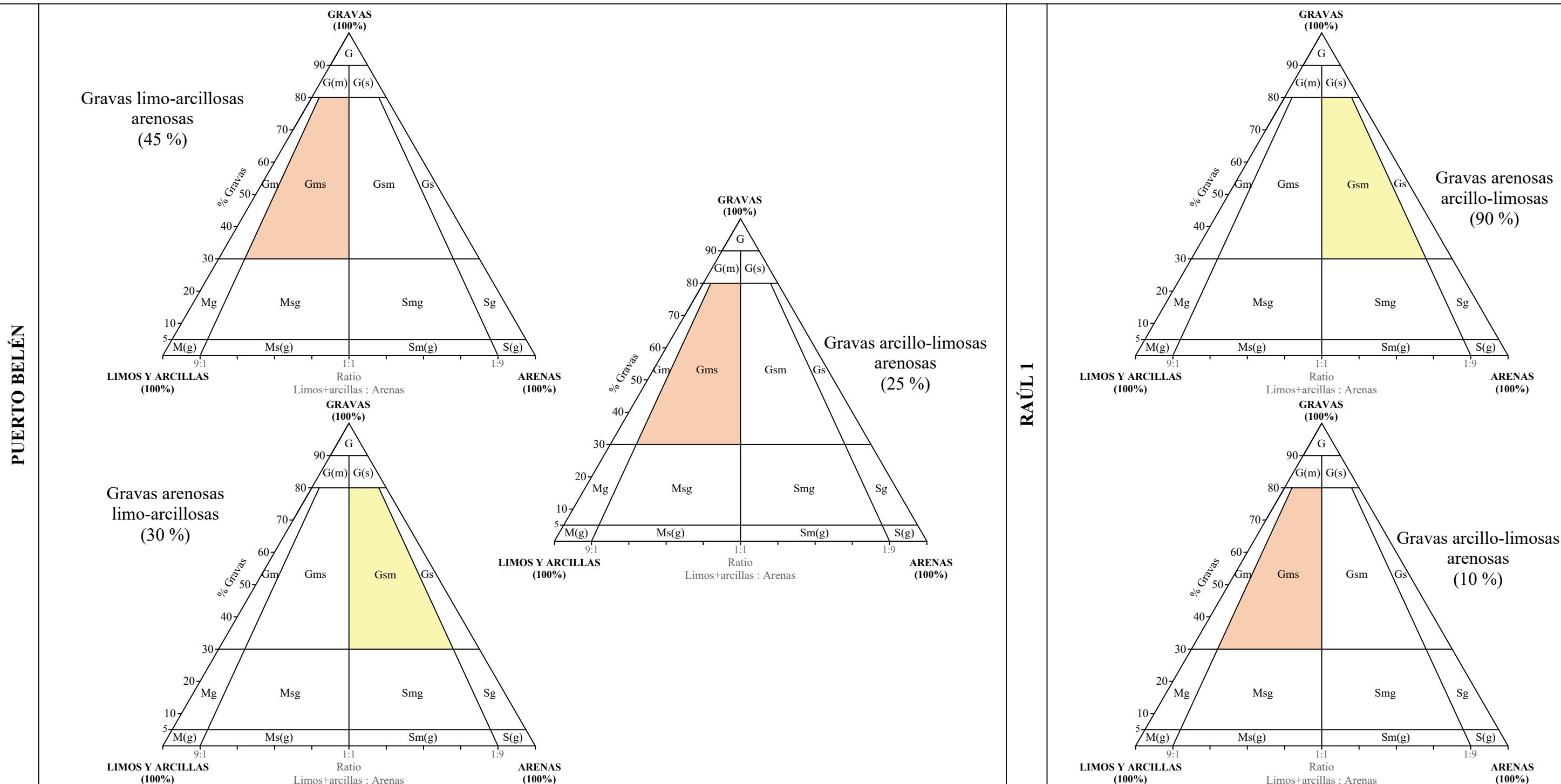
MAPA DE ESTACIONES LITOESTRATIGRÁFICAS

TESISTA:	BACH. SÁNCHEZ CELIS HENRY ALBERTO	MAPA:
ASESOR:	DR. ING. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN	
DATUM:	WGS-84/19S	ESCALA: 1 : 15 000
		FECHA: JUNIO, 2025

08

ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN TEXTURAL DE SEDIMENTOS DE FOLK

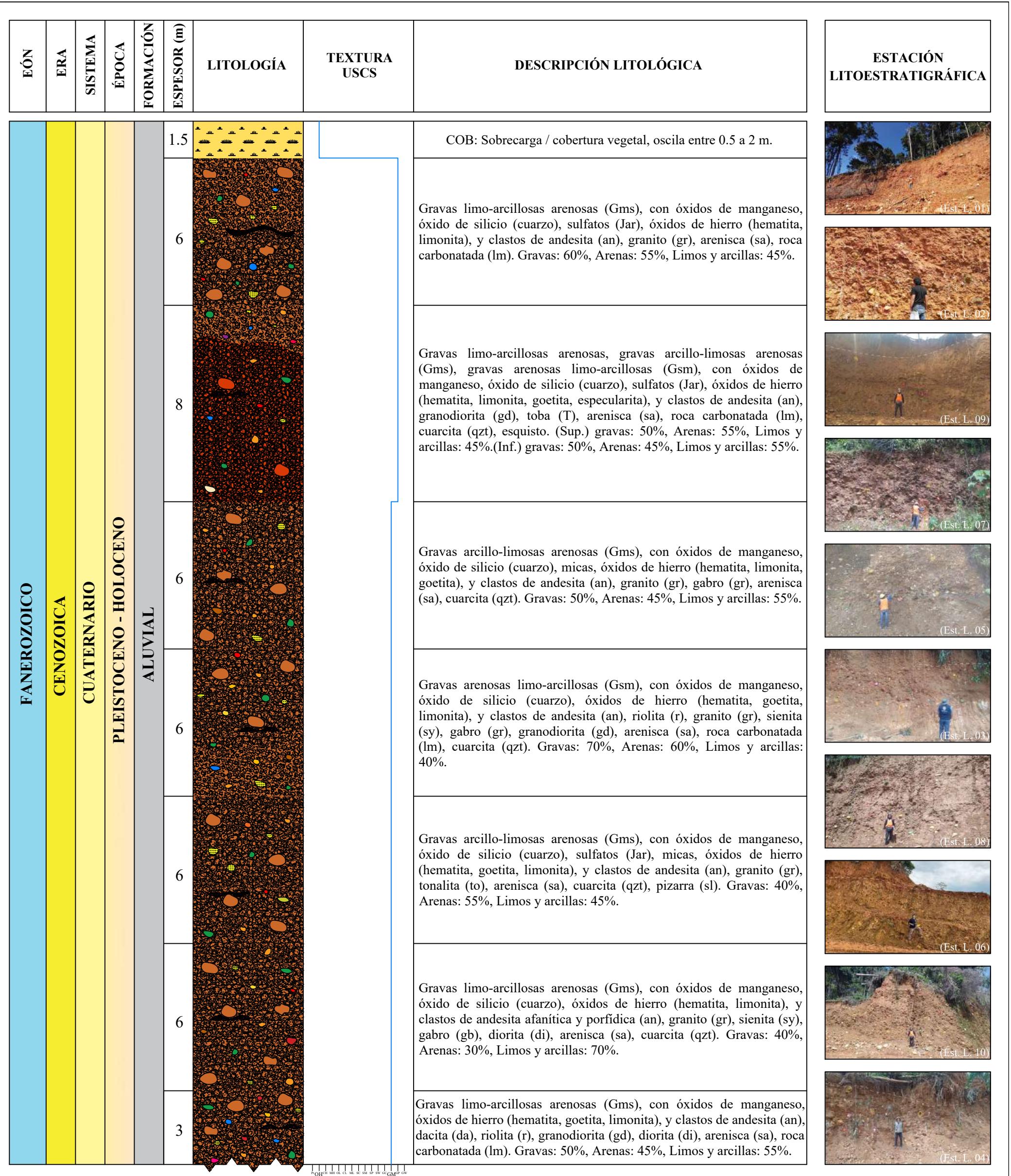
(Diagrama modificado por Blair & McPherson, 1999)



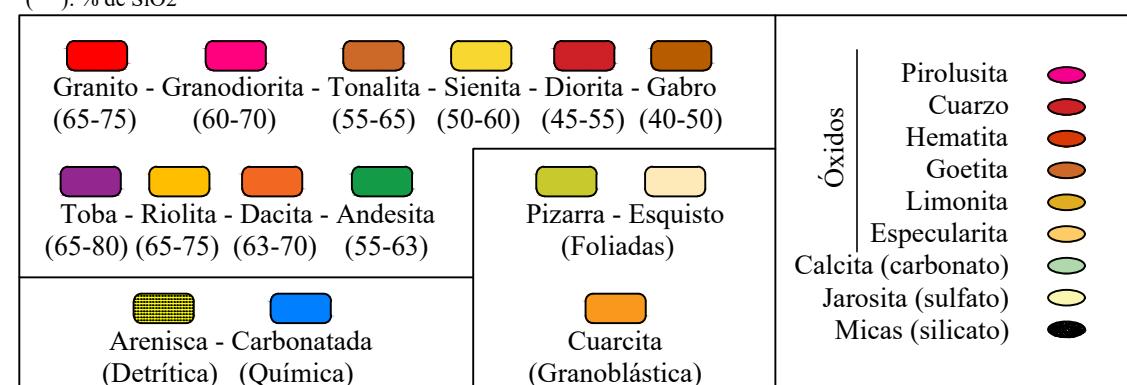
ABREVIATURAS

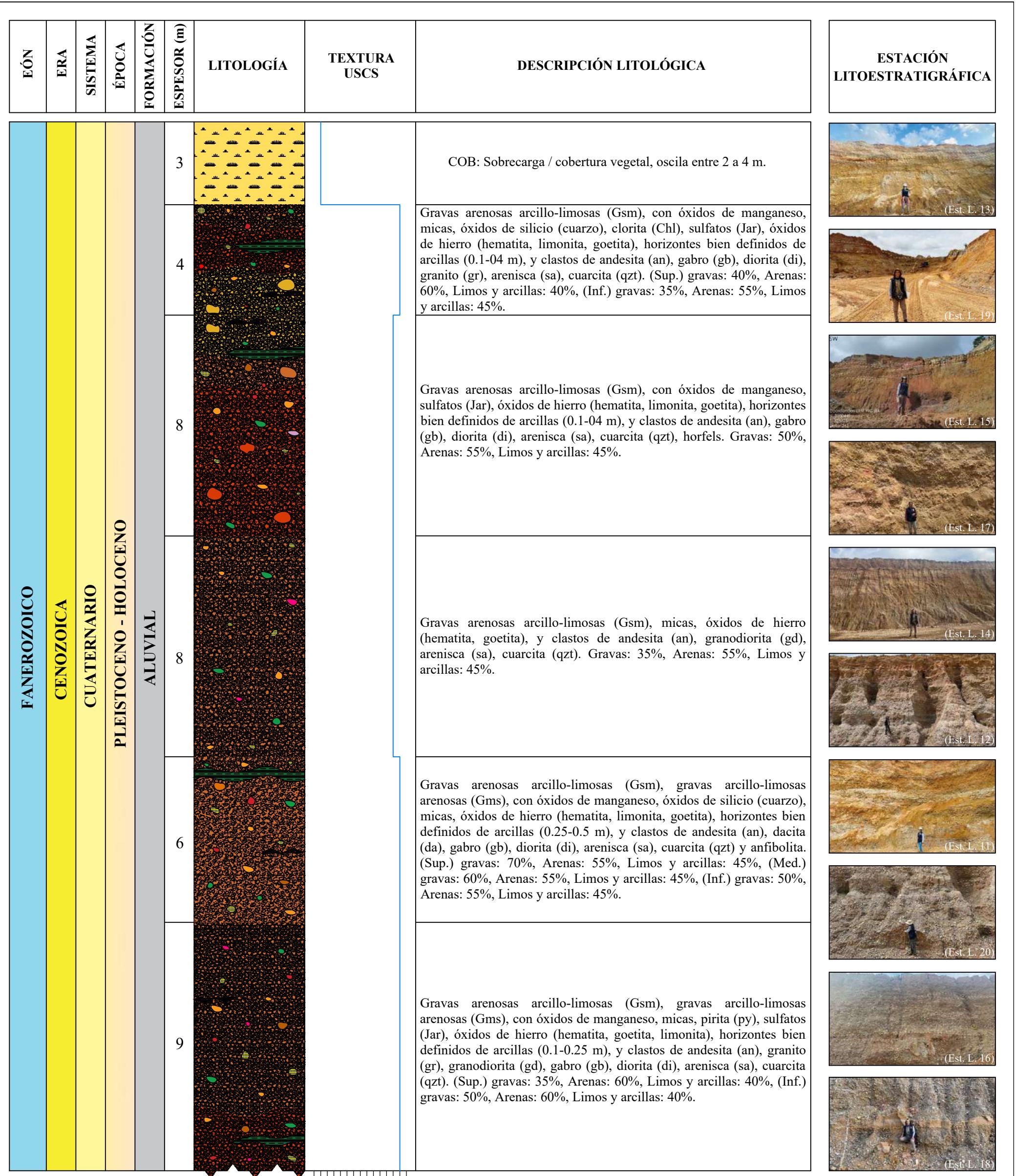
G: Gravas
G(m): Gravas ligeramente con limos y arcillas
G(s): Gravas ligeramente arenosas
Gm: Gravas con limos y arcillas
Gs: Gravas arenosas
Gms: Gravas con limos y arcillas arenosas
Gsm: Gravas arenosas con limos y arcillas
Mg: Limos y arcillas con gravas

Sg: Arenas con gravas
Msg: Limos, arcillas y arenas con gravas
Smg: Arenas, limos y arcillas con gravas
M(g): Limos y arcillas ligeramente gravosas
Ms(g): Limos y arcillas arenosas ligeramente gravosas
Sm(g): Arenas con limos y arcillas ligeramente gravosas
S(g): Arenas ligeramente gravosas

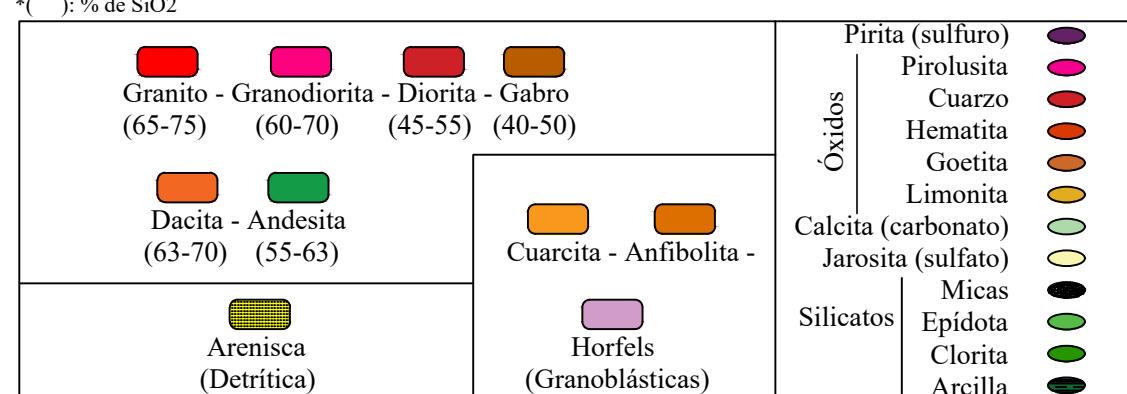


*(%): % de SiO₂





*(%): % de SiO₂



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES AURÍFEROS PUERTO BELÉN Y RAÚL 1, EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS, PERÚ.
LITOESTRATIGRAFÍA GENERALIZADA RAÚL 1
TESISTA: BACH. SÁNCHEZ CELIS HENRY ALBERTO
ASESOR: DR. ING. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN
DATUM: WGS-84/19S ESCALA: 1:130 FECHA: JUNIO, 2025
COLUMNAS:
02