



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“INTERPRETACION DE ESTRUCTURAS MINERALIZADAS DEL
PROYECTO BETANIA – PROVINCIA DE SAN ANTONIO DE
PUTINA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. DERSUN JESUS QUISPE AGUILAR

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO - PERÚ

2022



DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis apreciados padres LA MAGNA AGUILAR CUENTAS y SEGUNDO QUISPE URRUTIA, por haberme forjado e inculcado los buenos valores y el apoyo incondicional para lograr ser profesional; mis logros se los debo a ellos.

A todos mis hermanos, por el constante apoyo y aliento para seguir el camino del éxito.

A mis queridas hijas: ARIANA NAHIL QUISPE CONDORI y SOFIA PATRICIA QUISPE PINEDA a mi compañera de vida THANIA NISMETH MACEDO ATAMARI, por ser un pilar fundamental de mi vida, por el constante aliento de seguir adelante y su apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros con quienes compartí gratas experiencias, a los que me brindaron constantemente su apoyo moral.

Dersun J. Quispe Aguilar.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios, creador de este universo.

En segundo lugar, agradecer a los docentes de la Escuela Profesional de ingeniería geológica, por formar profesionales competentes, por las exigencias para el desarrollo del estudiante y al personal que labora en nuestra querida Escuela.

En tercer lugar, un profundo agradecimiento a la persona que me brindo sus enseñanzas y experiencias en mi formación profesional, el Ing. Roberto F. Zegarra Ponce.

En cuarto lugar, mi profundo agradecimiento a mi asesora Dr. Sofía L. Benavente Fernández, a los miembros del respetable Jurado de este proyecto de Tesis, al M.Sc. Ernesto Samuel Machaca Hanco, al Dr. Héctor Raúl Machaca Condori e Ing. Roberto F. Zegarra Ponce. Por su apoyo brindado, sugerencias y comentarios en la elaboración de este trabajo de investigación

Dersun J. Quispe Aguilar.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 15

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 15

1.2.1. Problema General..... 16

1.2.2. Problemas Específicos 16

1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION 17

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 17

1.4.1. Objetivo General 17

1.4.2. Objetivos Específicos..... 17

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEORICO 19

2.1.1. Geomorfología 19

2.1.2. Estudio petrográfico del sector de Vetaspata 21

2.1.3. Columna litoestratigráfica entre Totorá y Vetaspata 25

2.1.4. Geoquímica de rocas sedimentarias 27

2.1.5. Rocas ígneas intrusivas y subvolcánicas..... 30



2.1.6. Geología regional.....	30
2.1.7. Geología estructural.....	47
2.1.8. Geología económica.....	55
2.1.9. Prospección geoquímica.....	59
2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	60
2.2.1. Mina Purumpata (AU).....	60
2.2.2. Prospecto Pablobamba Oro.....	61
2.2.3. Mina Chunchusmayo (AU).....	61
2.2.4. Mina Cuchilla (AU).....	62
2.2.5. Mina Titán (AU).....	62
2.2.6. Mina Peñón del Oro (AU).....	63
2.2.7. Mina Aporoma (AU).....	63
2.2.8. La empresa minera CORI PUNO S.A.C.....	65

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES.....	66
3.1.1. Instrumento y materiales en campo.....	66
3.1.2. Equipos y materiales en gabinete.....	67
3.2. MÉTODOLOGIA DE INVESTIGACION.....	67
3.2.1. Etapa de gabinete I.....	67
3.2.2. Segunda etapa de campo.....	68
3.2.3. Trabajo de gabinete II.....	74

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN.....	75
4.2. ACCESIBILIDAD.....	75
4.3. CLIMA Y METEOROLOGÍA.....	77
4.3.1. Clima.....	78



4.3.2 Vegetación y fauna.....	79
4.3.3. Geología del yacimiento	79

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. INTERPRETACION DE ESTRUCTURAS.....	82
5.1.1. Caracterizacion geologia local	82
5.1.2. Secciones delgadas.....	82
5.1.3. Clasificación del yacimiento	95
5.2. VALOR ECONÓMICO DEL PROYECTO	96
5.2.1. Geologia economica.....	96
5.2.2. Valor económico de los mantos mineralizados.....	101
5.3. ZONAS ECONOMICAS DEL PROYECTO	106
5.3.1. Mapeo subterraneo	106
5.3.2. Muestreo geoquimico en labores subterraneas	107
5.3.3. Programa de perforacion diamantina.	113
V. CONCLUSIONES.....	120
VI. RECOMENDACIONES	121
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	122

Área: Geología de minas

Tema: Interpretación de estructuras mineralizadas del proyecto BETANIA – provincia de san Antonio de Putina

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de diciembre de 2022



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Muestras del Grupo San José con valores de Ni, Ti y Zr en ppm (Laboratorio del INGEMMET).....	28
Tabla 2. Muestras de la Formación Sandia con valores de Ni, Ti y Zr en ppm (Laboratorio del INGEMMET).....	28
Tabla 3. Descripción del acceso a la zona de investigación.	76
Tabla 4. Se observa los datos tomados de las muestras obtenidas en interior mina.	109
Tabla 5. Programa de Perforación del proyecto Betania.....	114
Tabla 6. Impacto del taladro VT – 05, con la ley ponderada por Mantos.....	115
Tabla 7. Impacto del taladro VT – 06, con la ley ponderada por Mantos.....	116
Tabla 8. Impacto del taladro VT – 01, con la ley ponderada por Mantos.....	117
Tabla 9. Impacto del taladro VT – 01, con la ley ponderada por Mantos.....	117
Tabla 10. Impacto del taladro VT – 03, con la ley ponderada por Mantos.....	118
Tabla 11. Impacto del taladro VT – 04, con la ley ponderada por Mantos.....	119



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Geomorfología del Target Betaspata.....	19
Figura 2. Columna litoestratigráfica de la Formación Sandía en la localidad de Totora - Vetaspata. Se inicia en (486057E, 8402203N) y termina en (485410E, 8398982N) y ha sido dividida en dos miembros y tressecuencias. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).	26
Figura 3. Diagrama de discriminación de procedencia de sedimento Winchester (1987) para el Grupo San José (Formaciones Iparo y Purumpata) y la Formación Sandía.	29
Figura 4. Sills andesítico, metido entre la esquistosidad (476938E, 8422482N)	30
Figura 5. Sección NE-SO. Vista tomada desde la margen izquierda del río Sandía mirando en dirección al sureste (449928E, 8420292N), donde se muestra la disposición de las unidades metamórficas, que integran los cuadrángulos de Sandía 29y y San Ignacio 29z.	32
Figura 6. Vista tomada mirando al NO desde el punto (467724E, 8433115N), donde se observa la Formación Iparo, que forma el núcleo de un anticlinal	35
Figura 7. Columna litoestratigráfica de la Formación Iparo, levantada en la carretera Yanahuaya – Sina, desde el río Jeguarchaca (473862E, 8417501N) hasta el río Locaria (474985E, 8418745N).....	35
Figura 8. Vista tomada mirando al NO en la quebrada del río Quebrada Jehuarchaca (474541E, 8419187N), donde A) muestra pizarras y filitas que se exfolian en lajas grandes. B) Nódulos de pirita que se alinean en dirección de la esquistosidad. C) Detalle de la forma lenticular que adoptan las piritas en la parte inferior de la Formación Iparo.....	36
Figura 9. Pizarras esquistosas oxidadas de colores pardo-amarillentos con lentes de pirita y vetas de cuarzo que cortan de forma perpendicular a los estratos, sobre todo en el núcleo del anticlinal (474080E, 8417524N).....	37
Figura 10. A) Afloramientos de la Formación Purumpata. Vista tomada desde la margen izquierda del río Sandía (466112E, 8432623N), mirando al SE, en dirección al cerro Pacaypunta. B) y C) Pizarras.	40



- Figura 11.** Vista mirando al NO, tomada desde la carretera Yahahuaya Sina (474318E, 8415856N), donde muestra la Formación Purumpata debajo de la Formación Sandia en aparente concordancia. 41
- Figura 12.** Columna litoestratigráfica de la Formación Purumpata, levantada en la carretera Yanahuara – Sina, donde el punto de inicio fue la quebrada del río Jahuarchaca (474985E, 8418745N). 41
- Figura 13.** Secuencia inferior y superior de la Formación Sandia. Vista mirando al NO, tomada desde el cerro Ancañan (453216E, 8419387N). 46
- Figura 14.** Columna lito estratigráfica de la Formación Sandia en la localidad de Totora - Vetaspata. Se inicia en (486057E, 8402203N) y termina en (485410E, 8398982N) y ha sido dividida en dos miembros y tres secuencias..... 47
- Figura 15.** Mapa estructural de los cuadrángulos de Sandia 29y y San Ignacio 29z..... 54
- Figura 16.** Contexto metalogénico de los cuadrángulos de Sandia 29y y San Ignacio 29z..... 57
- Figura 17.** Mapa de los principales depósitos mineros de los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio..... 58
- Figura 18.** A) Se observa en color negro un manto mineralizado del proyecto Vetaspata, el cual tiene 40 cm de espesor y se emplaza entre las cuarcitas de la Formación Sandia (485606E, 8402079N). B) Muestra de veta de cuarzo mineralizado, mina Purumpata. C) Depósitos aluviales oxidados en el sector de Buena Vista que pertenecen a la mina Chunchusmayo (484818E, 8447028N). D) Brecha hidrotermal observada en la mina Cuchilla..... 64
- Figura 19.** A) Se observa el sill alterado de la mina Peñón del Oro, el cual tiene 1 m de espesor y se emplaza entre las pizarras de la Formación Purumpata (476938E, 8422482N). B) Planta de recuperación de oro por gravimetría en la mina Aporoma (447407E, 8449423N). 65
- Figura 20.** Posición de la palma de la mano derecha, para poder tomar el dato correcto de la regla de la mano derecha..... 69
- Figura 21.** Muestreo con punta (cincel) y comba de 4 libras..... 71
- Figura 22.** En la imagen se muestra la homogenización de la muestra. 71
- Figura 23.** Cuarteo con Manta. Reducir (Toma 2 cuartos opuestos por vértice). 72
- Figura 24.** Se observa a los muestreos realizando el trabajo de etiquetado, sellado y registro de la muestra obtenida. 72
- Figura 25.** Pintado y codificación del canal para ubicarlo en el plano de muestreo..... 73



Figura 26. En la imagen se puede apreciar la ubicación de labores mineras dentro del target Betania.	73
Figura 27. Mapa de ubicación del Proyecto Betania.	75
Figura 28. Imagen satelital a la zona de investigación	76
Figura 29. Plano de ubicación, mencionando los decretos mineros del Proyecto Betania	77
Figura 30. Vista panorámica de la parte Noreste del proyecto BETANIA.	78
Figura 31. Clima típico de la zona de investigación, siempre con presencia de neblina.	78
Figura 32. Plano de concesiones del proyecto indicando las Zonas de interés.	80
Figura 33. En la figura se puede apreciar el Área 1, el cual comprende los 4 mantos de estudio.	81
Figura 34. Las fotos del 1 al 20 muestran la vista en el microscopio de las secciones delgadas WP – 11, WP – 12, WP – 8B. (Gagliuffi – 2019).	94
Figura 35. Se observa en afloramiento los 4 mantos definido (Elaboración propia).	97
Figura 36. Se puede apreciar la intercalación de Metarenisca con bandas de lutitas. (Warren T Pratt, 2019).	99
Figura 37. En la imagen se puede apreciar nódulos de sílice dentro de la lutita. (Warren T Pratt, 2019).	100
Figura 38. Plano geológico del Proyecto Betania (área 1). (Minera Pukamani).	101
Figura 39. En la imagen se puede apreciar limonitas con pequeñas esferas mal definidas. (Warren T Pratt, 2019).	102
Figura 40. Se pueden apreciar socavones dentro del manto. (Warren T Pratt, 2019).	103
Figura 41. Mantos identificados en el Proyecto Betania (área 1).	103
Figura 42. Proyección de los mantos identificados en el Proyecto Betania (área 1)...	104
Figura 43. Estructuras de cuarzo gris con un Azimut 330° y Buzamiento de lechoso con una potencia de 1.80 metros con OxFe.	104
Figura 44. Plano geológico subterráneo, de labores artesanales (Minera Pukamani).	106
Figura 45. Plano geológico, de labores Subterráneas (Minera Pukamani).	107
Figura 46. Plano de muestreo en canales en labores artesanales, recolectadas en labores Subterráneas.	108
Figura 47. Plano geoquímico de muestreo de las 79 muestras, realizadas en labores subterráneas (Minera Pukamani)	108
Figura 48. En la imagen se observa, la toma de muestra tipo canal en interior mina..	110



Figura 49. Plano de Isovalores por el método (Inverso a la distancia), a partir del reporte de muestras del laboratorio (Minera Pukamani).....	110
Figura 50. Plano de Isovalores por el método (Inverso a la distancia), a partir del reporte de muestras del laboratorio. En escala 1/500. (Minera Pukamani).....	111
Figura 51. Mapa geoquímico del proyecto Betania (Minera Pukamani).....	112
Figura 52. Mapa geoquímico de los 4 mantos del área 1 (Minera Pukamani).	112
Figura 53. Plataforma de Perforación Diamantina. (Minera Pukamani).....	113
Figura 54. Plano de Programa de Perforación Diamantina del área 1 del Proyecto Betania (Minera Pukamani).	114
Figura 55. Se observa una sección de los taladros VT-5 y VT-6 (Minera Pukamani).115	
Figura 56. Se observa una sección de los taladros VT-1 y VT-2 (Minera Pukamani).116	
Figura 57. Se observa una sección de los taladros VT-3 y VT-4 (Minera Pukamani).118	



RESUMEN

El proyecto de exploración Betania está ubicado en el distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina y departamento de Puno, en el flanco Este de la cordillera oriental del Sur del Perú, muy cerca del límite internacional con la República de Bolivia. El objetivo de este trabajo de investigación consiste en identificar y determinar la continuidad de estructuras mineralizadas del Proyecto Betania, de modo que contribuya a entender la importancia de definir las estructuras mineralizadas, con potencial económico y determinar las leyes que puedan tener dichas estructuras. Así como contabilizar los horizontes mineralizados que puedan presentar en el proyecto Betania. Para tener una mayor idea del potencial económico que pueda ofrecer el proyecto Betania, identificando las mejores zonas de estudio, con la finalidad de que el Proyecto Betania sea viable para su posterior explotación. De igual manera ayudará a comprender la geología local. La investigación presenta un análisis cualitativo y cuantitativo, la cual es de un método científico, la investigación se realizó a partir de cartografiado geológico de estructuras, muestreos geoquímicos, secciones geológicas y perforación diamantina. A partir de ello, se procedió a delimitar zonas de interés para realizar muestreos geoquímicos (método de muestreo de canales), dando valores favorables y rentables. De acuerdo al resultado, de la perforación diamantina, se perforó 6 sondaje con un total de 1000 metros y las secciones que se realizó a partir de ellas, se pudo observar 4 mantos definidos, las cuales tienen una continuidad de 450 metros lineales. Con una ley promedio 4.20 g/tn Au. Se concluye, que el proyecto es viable por tener una rentabilidad económica, por los interceptos encontrados, con altos valores en contenido de oro (Au) Siendo el Manto 3 y 4, los más rentables, por tener una potencia entre 0.80m a 1.50m, con una ley entre 2.21 g/tn Au y 3.95 g/tn Au. Las cuales tienen una continuidad en la estructura del manto.

Palabras Clave: Continuidad estructural, estructuras mineralizadas, horizonte mineralizado, potencial económico.



ABSTRACT

The Betania exploration project is located in the district of Sina, province of San Antonio de Putina and department of Puno, on the eastern flank of the eastern mountain range of southern Peru, very close to the international border with the Republic of Bolivia. The objective of this research work is to identify and determine the continuity of mineralized structures of the Betania Project, so that it contributes to understand the importance of defining mineralized structures, with economic potential and determining the grades that these structures may have. As well as accounting for the mineralized horizons that may occur in the Betania project. To have a better idea of the economic potential that the Betania project can offer, identifying the best study areas, in order to make the Betania Project viable for its subsequent exploitation. Likewise, it will help to understand the local geology. The research presents a qualitative and quantitative analysis, which is of a scientific method, the research was carried out from geological mapping of structures, geochemical sampling, geological sections and diamond drilling. From this, we proceeded to delimit areas of interest to carry out geochemical sampling (channel sampling method), giving favorable and profitable values. According to the result, from the diamond drilling, 6 cores were drilled with a total of 1000 meters and the sections that were made from them, it was possible to observe 4 defined mantles, which have a continuity of 450 linear meters. With an average grade of 4.20 g/tn Au. It is concluded that the project is viable because it has an economic profitability, due to the intercepts found, with high values in gold content (Au) Being Manto 3 and 4, the most profitable, for having a power between 0.80m to 1.50m, with a grade between 2.21 g/tn Au and 3.95 g/tn Au. Which have a continuity in the structure of the mantle.

Keywords: Economic potential, mineralized structures, mineralized horizon, structural continuity.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente estudio “Interpretación de estructuras mineralizadas del proyecto Betania – provincia de san Antonio de Putina”. Teniendo los parámetros fundamentales de la productividad, objetivo clave de las empresas mineras, de igual manera se utilizan para la identificación. y clasificar zonas económicamente rentables en la zona de San Antonio de Putina.

El proyecto Betania, presenta evidencias de mineralización que requiere de evaluación y sustento de carácter geológico, entendemos que no es suficiente con información referencial como imágenes satelitales y estructuras aparentemente mineralizadas. Es por ello, que se debe considerar que la exploración de yacimientos auríferos ha incrementado la demanda de inversiones nacionales y extranjeras, cuya economía nacional está presente en un momento de crisis que no ha permitido el desarrollo de investigaciones geológicas y exploratorias en el territorio peruano, entre ellas la Asociación Minera Argos. Con capital peruano, motivado por la necesidad de expansión, decide realizar estudios de exploración en la cordillera Oriental, enmarcado dentro del departamento de Puno.

Bajo las premisas de la Empresa Argos. Se procede a identificar y determinar la interpretación de estructuras mineralizadas del Proyecto Betania de la Provincia de San Antonio de Putina; los estudios geológicos realizados fueron comprendidas en dos etapas, la primera campaña tuvo una duración de 12 meses (enero – diciembre 2019), El segundo se realizó en un período de 18 meses (febrero 2020 - agosto de 2021).



El trabajo realizado dentro de la propiedad del Proyecto Betania fueron trabajos de campo, como el mapeo geológico, toma de muestras para análisis geoquímico, toma de datos estructurales, mapeo, corte geológico y elaboración del informe final, realizado en septiembre del 2021 en la sede de la empresa.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el aumento de los precios del oro en el mercado internacional hace que las empresas mineras decidan invertir en la exploración de nuevos yacimientos. a nivel Nacional y por ende la Empresa Minera: ARGOS S.A.C, decide invertir en el rubro de la exploración para realizar una Interpretación Geológica en sus concesiones, ubicadas al Norte de Puno. Dichas concesiones se encuentran ubicadas dentro de la franja Orogenética de importantes y numerosos yacimientos minerales de oro.

Es por ello que es de suma importancia definir las estructuras mineralizadas con potenciales económicos del proyecto BETANIA, y determinar las leyes que pueda tener, así como contabilizar los mantos presentes en dicho proyecto, para tener una mayor idea del potencial económico que se tenga del mismo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto Betania, presenta evidencias de mineralización que requiere de evaluación y sustento de carácter geológico, entendemos que no es suficiente con información referencial como imágenes satelitales y estructuras aparentemente mineralizadas, los parámetros contemplados para determinar si el proyecto BETANIA es viable o no, provendrán de la interpretación y estudio geológico que se propone realizar, el cual comprende principalmente de identificar y determinar el potencial económico que pueda tener, así mismo se identificará los patrones estructurales y eventos tectónicos. En el target BETANIA, se determinará la mineralización, con ayuda de patrones



estructurales, identificando los diferentes eventos tectónicos producidos hasta la fecha, además se identificará los “mantos” mineralizados del proyecto, para un mejor entendimiento del proyecto.

Este proyecto presenta características de un tipo de yacimiento Orogénico que muestra evidencias de mineralización altamente económica, el cual requiere una interpretación y continuidad de estructuras mineralizadas, para determinar los movimientos estructurales que ocurrieron en el target BETANIA entendemos que no es suficiente con información referencial, es por ello la importancia de la interpretación de estructuras del proyecto BETANIA.

1.2.1. Problema General

¿Cuál será el efecto de la interpretación y continuidad de estructuras de los mantos del Proyecto Betania, de la provincia de San Antonio de Putina?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿De qué manera será el efecto positivo de la interpretación y continuidad de estructuras de los “mantos” del Proyecto Betania de la Provincia de San Antonio de Putina?
- ¿Cuál será el valor económico, al realizar la interpretación y continuidad de estructuras de los “mantos” del Proyecto Betania de la Provincia de San Antonio de Putina?
- ¿Cuáles son las mejores zonas de acuerdo a la interpretación y continuidad de estructuras de los “mantos” del Proyecto Betania de la Provincia de San Antonio de Putina?



De esta forma se ha planteado realizar diferentes métodos de estudio para determinar los parámetros necesarios que la Empresa Minera. Necesita evaluar de forma económica el potencial mineralógico del Proyecto Betania.

1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

Es posible realizar mejoras y obtener efectos positivos al proyecto con interpretaciones estructurales a partir de mapeos geológicos, muestreos geoquímicos, secciones, que nos dará una mejor idea de los lugares mineralizados que podamos encontrar en las diferentes zonas del target Betania.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Identificar y determinar la continuidad de estructuras mineralizadas del Proyecto Betania, de la Provincia de San Antonio de Putina.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la continuidad e interpretación de estructuras mineralizadas del proyecto Betania de la Provincia de San Antonio de Putina.
- Establecer el valor económico del proyecto con la interpretación y continuidad de estructuras de los “mantos” del proyecto Betania de la Provincia de San Antonio de Putina.
- Identificar las mejores zonas económicas del proyecto con la interpretación y continuidad de estructuras mineralizadas del proyecto Betania de la Provincia de San Antonio de Putina.



1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los proyectos pasaron por diferentes modelos de prospección y algunos modelos idealizados que marcaban geológicamente diferentes condiciones genéticas a lo largo del tiempo y el espacio. Y la relación de todo ello es que su idealización conduce a la consideración de la idoneidad espacial referida al tonelaje y tiempo considerado en relación con las características mineralógicas o concentración mineral del mismo.

El proyecto Betania, presenta evidencias de mineralización que requiere de evaluación y sustento de carácter geológico, entendemos que no es suficiente con información referencial como imágenes satelitales y estructuras aparentemente mineralizadas, los parámetros contemplados para determinar si el proyecto Betania es viable o no. Considero por ende que LA EMPRESA MINERA ARGOS SA, la cual está ubicada en la Provincia de San Antonio de Putina, está considerado dentro de las Mineras con futuro en la Región de Puno y como concesión, identifique las condiciones necesarias para la expansión de la producción y considere que el proyecto Betania puede resaltar la necesidad de justificar la evaluación geológica y los programas de producción posteriores si es necesario para determinar el potencial económico de las estructuras de mineralización que se requiere en estos tiempos de inversión para la Región y el País, es por ello se motiva a realizar esta investigación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. Geomorfología

El rasgo fisiográfico más importante lo constituye el Flanco Oriental de la Cordillera Oriental, orientado de SE a NO, dentro del cual se puede diferenciar las siguientes subunidades geomorfológicas: Cumbres Altas, Zona Altamente Disectada, Valles Profundos, Zona de Laderas Abruptas, desarrolladas sobre suelos de naturaleza cuarcítica, pizarrosa y/o pelítica. (Boletín 29y – INGEMMET por Natalio De La Cruz B. y Mario Carpio R.).

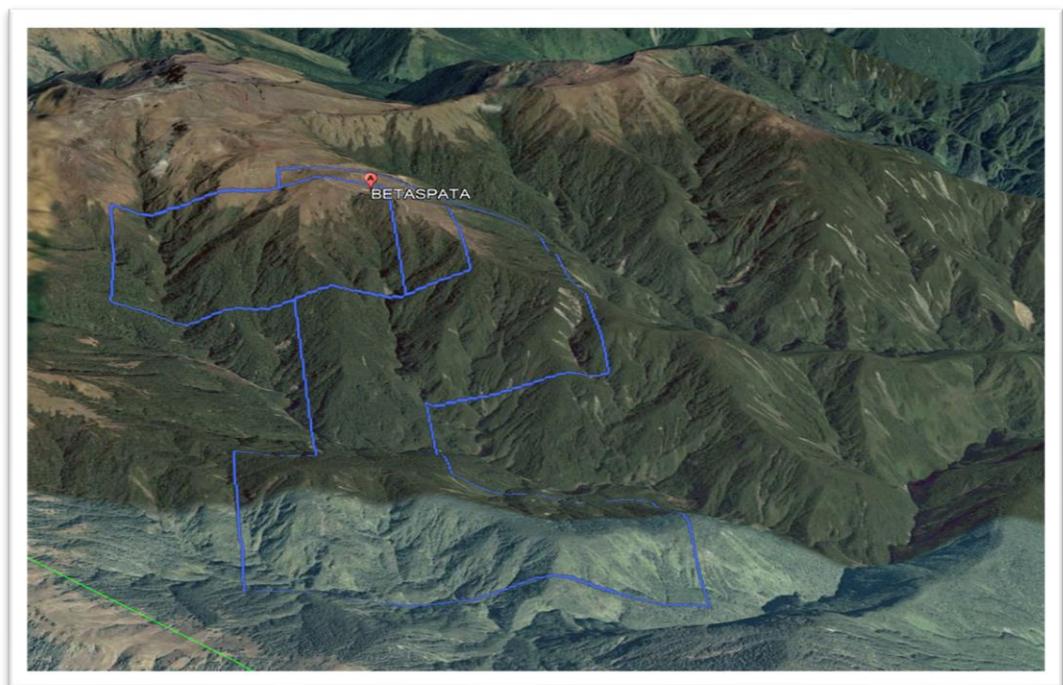


Figura 1. Geomorfología del Target Betaspata

Fuente: Google Earth



2.1.1.1. Flanco este de la cordillera oriental

La geoforma regional y principal que cubre toda el área de trabajo. Laubacher (1978) lo denominó vertiente Amazónica de la Cordillera Oriental, en el presente trabajo también podría denominarse «Estribaciones Andinas de la Cordillera Oriental». (Boletín 29y – INGEMMET por Natalio De La Cruz B. y Mario Carpio R.)

2.1.1.2. Cumbres altas

Denominadas así a la cadena de nevados orientados de NO-SE que alcanzan altitudes de hasta 6000 m.s.n.m. en el sector sur a suroeste del cuadrángulo de Sandia. En el área de estudio está conformado por cerros elevados cuyas altitudes fluctúan entre los 4910 m.s.n.m. y los 3100 m.s.n.m. Hacia el NE forman digitaciones que siguen direcciones NE, cuyas elevaciones en altitud representan una disminución casi sistemática de la altitud hacia el NE.

Dentro de esta unidad se encuentran geoformas menores desarrollados como resultado de la acción dinámica de los glaciares, uno de ellos son los valles en «U» probablemente formado durante el Pleistoceno; se encuentran al Sur de Quiaca y Oeste de Sina, en Sina han sido relativamente erosionado o cubierto por material Holocénico. Otro testigo de esta actividad glacial son las superficies pulidas o estriadas que se encuentran en el camino entre Sina y Jirigachi, en la carretera Sina-Juliaca en las inmediaciones del paraje Tansana en las quebradas de Talapaca, Huallatune, en el cuadrángulo de la Rinconada límite con el cuadrángulo de Sandia.



En el valle de Totora (8399-486) las geoformas que aún se pueden ver son los restos de morrenas laterales y frontales, actualmente están siendo erosionadas por el río del mismo nombre y los que todavía se pueden ver permanecen cubiertas por depósitos aluviales.

En los valles, arriba mencionados también se pueden encontrar pequeños depósitos morrénicos frontales no cartografiados debido al volumen reducido que presentan, ellos han quedado depositados como consecuencia de la acción regresiva de los glaciares que al parecer estos no fueron tan voluminosos.

Actualmente, estas morrenas pequeñas están siendo fácilmente erosionadas por la acción fluvial o cubiertas por depósitos aluviales (Boletín 29 y – INGEMMET por Natalio De La Cruz B. y Mario Carpio R.)

2.1.2. Estudio petrográfico del sector de Vetaspata

- Muestra GR45A-19-87, UTM (485674E, 8399412E). Corresponde a una cuarzoarenita con textura clástica soportada de granos redondeados a subredondeados, bien seleccionados de alta y baja esfericidad. Los granos corresponden a cuarzo monocristalino, feldespatos, láminas de moscovita, minerales opacos y zircón. Además, se reconocen escasos fragmentos líticos de origen metamórfico. Estos granos presentan contactos, principalmente, del tipo cóncavo-convexo, sin deformación relevante, salvo la presencia de algunos con bordes suturados y extinción ondulante. La moscovita se encuentra ligeramente flexionada. Matriz escasa y compuesta por agregados microfibrosos de sericita, cloritas y materia



orgánica que ocupan intersticios y por sectores ocurre formando laminaciones, granos cementados por cuarzo sintaxial, arcillas y materia orgánica. Por sectores se observan finas vetillas de limonitas (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).

- Muestra GR45A-19-97B, UTM (486130E, 8402477N). Corresponde a una metarenisca de textura granoblástica, que muestra escasos porfidoblastos de Cuarzo I, que presenta formas subredondeadas con sericita dentro de oquedades y microfracturas, englobados por blastos de cuarzo II. El cuarzo II, son irregulares y presentan contactos suturados entre sí con zircón, sericita y arcillas intersticiales englobando cuarzo I, minerales opacos, agregados fibrosos de cloritas y óxidos de hierro. Zircón, presenta formas irregulares a subredondeadas que aparecen entre los intersticios del cuarzo II y como relictos entre los agregados fibrosos de cloritas que rellenan fracturas. También se observan agregados microescamosos de sericita en oquedades de cuarzo I y entre los intersticios de blastos de cuarzo II. Arcillas, se aprecian entre los intersticios de blastos de cuarzo II. Minerales opacos con formas irregulares y alterados a óxidos de hierro que ocurren como relleno de fracturas. Óxidos de hierro que han alterado incipientemente a los minerales opacos y han ingresado por los intersticios de blastos de cuarzo II. Como relleno de fracturas se observa cloritas que le dan una apariencia brechoide a la roca (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica



Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).

- Muestra GR45A-19-97C, UTM (486130E, 8402477N). Corresponde a una metarenisca de textura granoblástica. Presentan algunos porfidoblastos de cuarzo I, de formas irregulares a subredondeadas, englobados por los blastos de cuarzo II. Asimismo, por sectores se aprecian a manera de lentes el cuarzo II de formas irregulares y con contactos suturados entre sí con zircón, sericita y arcillas intersticiales que han englobado al cuarzo I. Zircón con formas irregulares a subredondeadas, en ocasiones de hábitos prismáticos que se encuentran entre los intersticios de cuarzo II. Arcillas y microescamas de sericita, se observan entre el cuarzo II. Minerales opacos han ingresado a través de los intersticios del cuarzo II, los que han sido alterados incipientemente a óxidos de hierro. Cloritas han invadido la roca ingresando a través de los intersticios del cuarzo II, por sectores con ligeras impregnaciones de óxidos de hierro. Como rellenos de finas venillas se observan de óxidos de hierro que han alterado a los minerales opacos e impregnado a los agregados fibrosos de cloritas (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).
- Muestra GR45A-19-97E, UTM (486130E, 8402477N). Corresponde a una metacuarzoarenitas con textura granoblástica y estructura bandeada, conformada por tres niveles: Nivel A contiene cuarzo, donde el 95% presenta extinción ondulante, mala selección, bordes recristalizados, contactos suturados y evidencia de formación de subgranos poligonales



unidos en puntos triples y disseminaciones de zircón con intersticios ocupados por cloritas subradiadas, esfena, minerales opacos, epidota y rutilo. El nivel B está conformado por un mosaico de cristales microfibrosos de cloritas, con minerales opacos como parches, material orgánico y cuarzo. El nivel C contiene cuarzo con extinción ondulante, buena selección, bordes levemente recristalizados y contactos débilmente suturados muy poco feldespatos, apatito y zircón (en zonas se observa como invasiones del nivel B) (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).

No se reportan restos paleontológicos, sin embargo, secuencias encontradas en la mina Santo Domingo, entre las metareniscas, presentan graptolites, según Laubacher (1978) en Martínez (1998), y describe las siguientes especies:

- *Climarograptus scharenbergi*, *Glyptograptus* cf. *G. teretusculas*, *Hallograptus* cf. *H. mucrunatus*, *Leptograptus*, *Nemagraptus* y *Orthograptus*

Que inicialmente Berry & Boucot (1972) las atribuyo al Caradociano inferior. Además, este mismo autor al Este del río Inambari, sobre el río la Pampa, reporta metareniscas con filitas que contienen fauna de trilobites, braquípodos y cefalópodos de posible edad Caradociana; por lo tanto, los fósiles descritos anteriormente corresponderían a los pisos sandbiense-katiense del Ordovícico superior (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).



2.1.3. Columna litoestratigráfica entre Totora y Vetaspata

Presenta un espesor de 675 m, de base a tope, se inicia en (E486057, N8402203) y termina en (E485410, N8398982) y ha sido dividida en dos miembros y tres secuencias (figura 2) (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).

2.1.3.1. Miembro inferior

Secuencia A.- Grano decreciente estrato-creciente, que comprende 215 m de espesor compuesto en la base por metareniscas de color gris blanquecina con ripples (sr) de grano medio, en estratos de 10 cm a 20 cm, que se intercalan con pelitas negras (Fl) y pasan progresivamente a una secuencia de metareniscas de color gris con ripples (sr) y termina en la parte superior con una secuencia de pelitas negras, los que son afectados por vetas de cuarzo hialino. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).

2.1.3.2. Miembro superior

Secuencia B.- Grano estrato creciente, que reporta un espesor de 245 m y está compuesta principalmente por metareniscas de grano fino a medio con laminación paralela (sh) y presencia de convolutas; estas van evolucionando a secuencias de metareniscas en estratos delgados de grano fino a medio con ripples (sr). En la parte superior se observa un manto mineralizado que puede estar relacionado con una falla inversa.

Secuencia C.- Grano-decreciente estrato-creciente, que muestra un espesor de 225 m, conformado por secuencias de metareniscas grises claras a oscuras de grano grueso a fino con laminación horizontal (sh) y secuencias de metareniscas con ripples (sr) y convolutas, intercalados con pelitas negras (Fl) bioturbados y con presencia de concreciones. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).

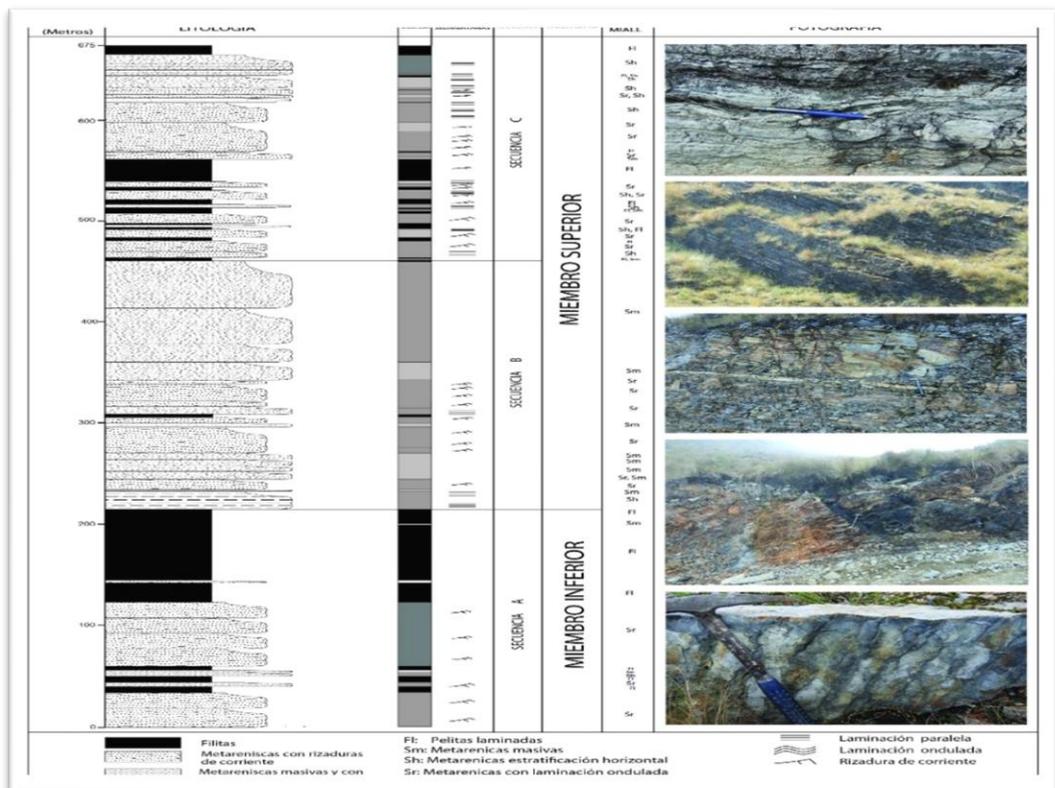


Figura 2. Columna litoestratigráfica de la Formación Sandia en la localidad de Tora - Vetaspata. Se inicia en (486057E, 8402203N) y termina en (485410E, 8398982N) y ha sido dividida en dos miembros y tres secuencias. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).



2.1.4. Geoquímica de rocas sedimentarias

Para determinar el protolito de las pizarras y filitas del Grupo San José (Ordovícico inferior a medio) y las metareniscas de la Formación Sandia (Ordovícico superior), se ha realizado la geoquímica de 20 muestras, 10 de las cuales se obtuvieron del Grupo San José (tabla 01) y otras 10 muestras de la Formación Sandia (tabla 02), los cuales fueron plotados en el diagrama de Winchester (1987), según la relación Zr/Ti (en las ordenadas) vs. Ni (en las abscisas), del que se obtiene el diagrama de discriminación (figura 2.25), donde se observa que las muestras plotadas del Grupo San José se encuentran dispersas y caen en el campo de rocas ígneas y sedimentarias y las muestras de la Formación Sandia caen todas en el campo de rocas sedimentarias. Por lo tanto, según estos datos proporcionados por el laboratorio de geoquímica del INGEMMET, el protolito del Grupo San José correspondería a la erosión de rocas sedimentarias e ígneas antiguas; mientras que el protolito de la Formación Sandia corresponde exclusivamente a la erosión de rocas sedimentarias antiguas. Estas características hacen pensar que la proveniencia de estos sedimentos sean de rocas precámbricas que provienen del escudo brasileño. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)



Tabla 1. Muestras del Grupo San José con valores de Ni, Ti y Zr en ppm
(Laboratorio del INGEMMET)

N°	Codigos	Unidad	Ni ppm	Ti %	Ti ppm	Zr ppm	Zr/Ti
1	GR45A-19-59	Gpo. San Jose	341	0.45	4500	132.0	0.029
2	GR45A-19-60	Gpo. San Jose	9	0.71	7100	224.0	0.032
3	GR45A-19-72	Gpo. San Jose	10	0.06	600	2.5	0.004
4	GR45A-19-80	Gpo. San Jose	30	0.65	6500	207.0	0.032
5	GR45A-19-81	Gpo. San Jose	58	0.07	700	2.5	0.004
6	GR45A-19-82	Gpo. San Jose	57	0.06	600	2.5	0.004
7	GR45A-19-85	Gpo. San Jose	212	0.89	8900	306.0	0.034
8	GR45A-19-89B	Gpo. San Jose	382	0.72	7200	169.0	0.023
9	GR45A-19-104	Gpo. San Jose	38	0.18	1800	337.0	0.187
10	GR45A-19-105	Gpo. San Jose	35	0.11	1100	37.0	0.034

Tabla 2. Muestras de la Formación Sandia con valores de Ni, Ti y Zr en ppm
(Laboratorio del INGEMMET)

N°	Codigos	Unidad	Ni ppm	Ti ppm	Zr ppm	Zr/Ti
1	GR45A-19-14B	Fm. Sandia	33	3900	441.0	0.113
2	GR45A-19-24	Fm. Sandia	38	5200	185.0	0.036
3	GR45A-19-33	Fm. Sandia	279	4300	198.0	0.046
4	GR45A-19-64	Fm. Sandia	23	1600	472.0	0.295
5	GR45A-19-93	Fm. Sandia	19	500	76.0	0.152
6	GR45A-19-97A	Fm. Sandia	41	3900	561.0	0.144
7	GR45A-19-97D	Fm. Sandia	35	8400	319.0	0.038
8	GR45A-19-98	Fm. Sandia	6	2300	611.0	0.266
9	GR45A-19-99	Fm. Sandia	32	4600	453.0	0.098
10	GR45A-19-106A	Fm. Sandia	32	4400	569.0	0.129

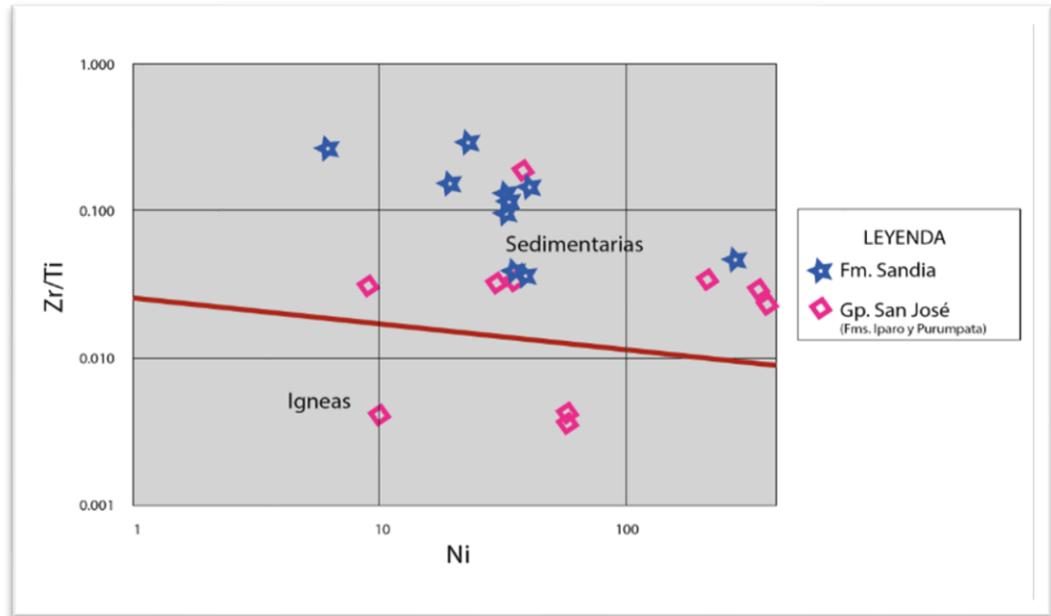


Figura 3. Diagrama de discriminación de procedencia de sedimento Winchester (1987) para el Grupo San José (Formaciones Iparo y Purumpata) y la Formación Sandia.

Basados en estos datos, se recomienda que en el futuro se realicen trabajos de investigación más puntuales sobre esta unidad debido a que las metareniscas de la Formación Sandia vienen a ser un metalotecto que alberga importantes mantos y diseminados de oro, cuya procedencia se infiere del magmatismo triásico que afectó la Cordillera Oriental de los Andes sur peruanos. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

2.1.5. Rocas ígneas intrusivas y subvolcánicas

No se tiene evidencias de la presencia de rocas ígneas; pero sí se evidencian diques y sills andesíticos en el sector de Yanahuaya (figura 4), no cartografiados, lo que hace pensar que el magmatismo en esta zona no se desarrolló en su magnitud como sí lo hizo en el cuadrángulo de Limbani, donde afloran cuerpos grandes de granitos triásicos; sin embargo, esto sugiere que en esta parte del cuadrángulo puede estar en profundidad, lo cual favorece la presencia de mineralización de oro en la zona. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)



Figura 4. Sills andesítico, medido entre la esquistosidad (476938E, 8422482N)

Fuente: INGEMMET - Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional

2.1.6. Geología regional

El área de estudio se encuentra dentro de la primera franja metalogénica de oro en rocas metasedimentarias del Ordovícico y Silúrico – Devónico. Podemos



decir que a principios del Paleozoico inferior se originaron procesos extensionales (rifting) y adelgazamiento cortical, en donde actualmente se encuentra en el flanco Este de la Cordillera Oriental, formando una extensa cuenca sedimentaria marina (cuenca paleozoica: Fm. San Jose, Fm. Sandia, Fm. Ananea), posteriormente eventos tectónicos compresivos y transpresivos en el margen de la placa convergente ocasionaron una orogénesis colisional y acresional, donde estos eventos ocasionaron la mineralización del oro con la removilización de eventos termales (Valencia et al., 2013).

2.1.6.1. Paleozoico

El Paleozoico aflora ampliamente en la Cordillera Oriental de la región de Puno, específicamente en los cuadrángulos de Sandia 29y y San Ignacio 29z; en la sección se muestran afloramientos del Paleozoico que afloran en la zona de estudio (figura 5). (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021) (Martínez - 1998).



Figura 5. Sección NE-SO. Vista tomada desde la margen izquierda del río Sandia mirando en dirección al sureste (449928E, 8420292N), donde se muestra la disposición de las unidades metamórficas, que integran los cuadrángulos de Sandia 29y y San Ignacio 29z.

2.1.6.2. Grupo San José (Arenigiano-Llanvirniano)

Originalmente descrita por G. Laubacher (1978) como la Formación San José, una cadena sedimentaria ampliamente distribuida que se extiende y continúa hacia el NO y SE del sitio de construcción. Además, ha sido reconocido por Douglas (1932), Dávila y Ponce de León (1971) en los ríos Quitari e Inarnbari. Esta unidad, que se extiende ampliamente a lo largo de toda la Cordillera Occidental, agrupa a las formaciones Iparo y Purumpata. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)



2.1.6.3. Formación Iparo (OI-I)

Está definida en el valle de Sandia por De La Cruz (1996). Los afloramientos de esta unidad se encuentran en la quebrada Azalaya de la Hoja 29y4 y se extienden hacia el SE hasta la quebrada Maymini, como una franja alargada, y forma parte del eje de un anticlinal que se prolonga hacia la localidad de Lulimachay y los ríos Jehuarchaca, Tambopata, lugar en la que la inmersión del pliegue se mete por debajo de la Formación Purumpata en área de la Hoja 29y1. Muy cerca de estos afloramientos, y casi paralelos cerca de la localidad de Iparo, se observa otro núcleo de un anticlinal (figura 6). Cabe mencionar, además, que en la localidad de Iparo se definió como estratotipo de la Formación Iparo, los afloramientos de este lugar se extienden hacia el NO hasta el cuadrángulo de Limbani 29x, donde se restringe esta unidad y se desconoce su presencia más hacia el norte. Se ha levantado una columna litoestratigráfica (figura 7) tomándose como base cerca al río Jehuarchaca (474985E, 8418745N) y el tope cerca al río Calzada (473862E, 8417501N), ambos afluentes del río Tambopata, que reporta un espesor promedio de 945 m, pudiendo ser más potente. No se observa labase, sin embargo, infrayace en aparente ligera discordancia con pizarras y filitas de la Formación Purumpata. La característica de estos afloramientos en campo es la intensa oxidación color rojiza que presentan las superficies de estos afloramientos. La columna litoestratigráfica de esta unidad se ha dividido en miembros (A y B). (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)



Miembro A.- Se caracteriza por ser grano decreciente y estratocreciente y presenta un espesor de 610m. Litológicamente está constituido por metapelitas y pizarras (figura 2.6A) con abundante pirita que se muestra de manera lenticular, a veces metidas a lo largo de los planos de esquistosidad (figura 8 B y figura 8 C), que aparentan interestratificación. La parte media y superior de este miembro presenta pizarras con abundante pirita en forma de nódulos amorfos y en ocasiones se exfolian en lajas grandes. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

Miembro B.- Con un espesor de 395 m, que comprende intercalaciones de metapelitas, pizarras, filitas y delgados niveles de metareniscas de colores gris negruzco a gris oscuro, respectivamente. Esta secuencia está afectada por vetas de cuarzo hialino que cortan perpendicularmente la estratificación (figura 9). (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)



Figura 6. Vista tomada mirando al NO desde el punto (467724E, 8433115N), donde se observa la Formación Iparo, que forma el núcleo de un anticlinal

Fuente: INGEMMET - Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional)

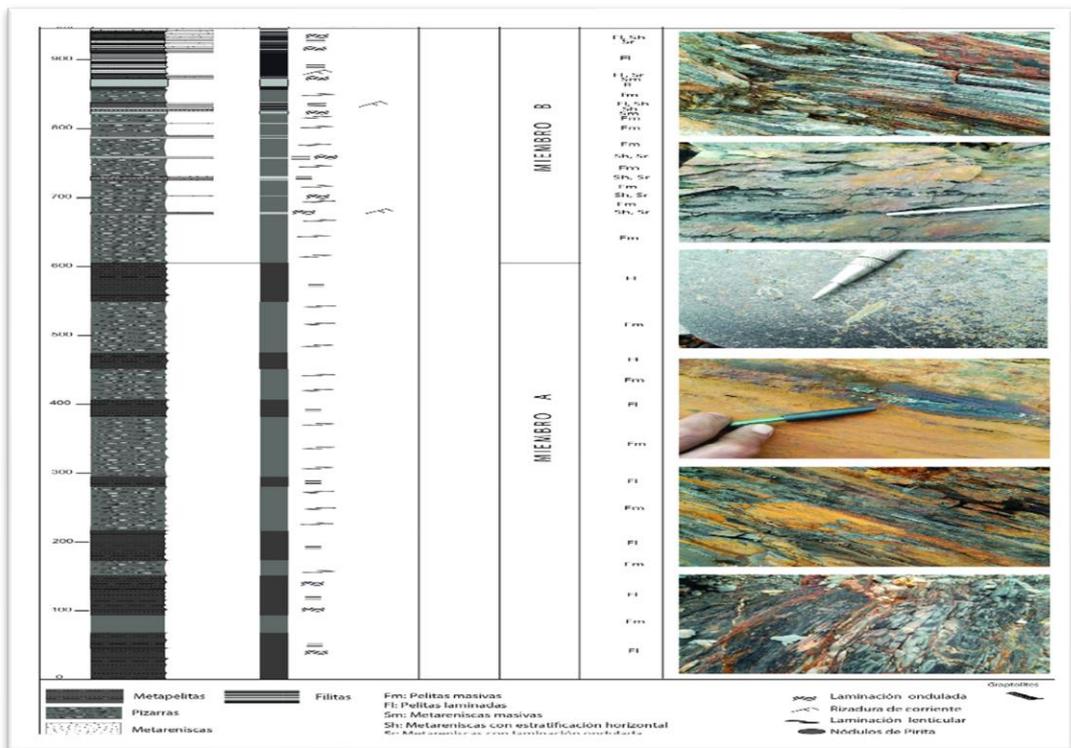


Figura 7. Columna litoestratigráfica de la Formación Iparo, levantada en la carretera Yanahuaya – Sina, desde el río Jeguarchaca (473862E, 8417501N) hasta el río Locaria (474985E, 8418745N)

Fuente: INGEMMET)



Figura 8. Vista tomada mirando al NO en la quebrada del río Quebrada Jehuarchaca (474541E, 8419187N), donde A) muestra pizarras y filitas que se exfolian en lajas grandes. B) Nódulos de pirita que se alinean en dirección de la esquistosidad. C) Detalle de la forma lenticular que adoptan las piritas en la parte inferior de la Formación Iparo.

Fuente: INGEMMET - Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional)



Figura 9. Pizarras esquistosas oxidadas de colores pardo-amarillentos con lentes de pirita y vetas de cuarzo que cortan de forma perpendicular a los estratos, sobre todo en el núcleo del anticlinal (474080E, 8417524N)

Fuente: INGEMMET - Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional)

2.1.6.4. Formación Purumpata (Oi-P)

Definida por De La Cruz (1996) entre las localidades de Purumpata y San Juan del Oro. Posteriormente Martínez (1998) en la localidad de Yanahuaya encuentra los mejores afloramientos con presencia de graptolites, por lo que sugiere que esta localidad sea denominada como localidad tipo y denominar a esta unidad como Formación Yanahuaya.

Esta unidad aflora, principalmente, en la parte central del cuadrángulo de Sandia 29y. En el área de la Hoja 29y1 los afloramientos expuestos están en la margen derecha del río Sandia, comprendida entre el cerro Pacaypunta (figura 10) y las localidades de Masiapo y Camarón. De igual modo, se reportan afloramientos a lo largo de la margen izquierda



el río Tambopata, que comprende las localidades de San Juan del Oro, Santa Rosa, Yanamayo y el río Cruz Pata. En la Hoja 29y2 afloran en su mayor extensión, siendo la localidad de Purumpata lugar donde muestra los mejores cortes estratigráficos, razón por la que ha sido considerada como la localidad tipo de esta unidad. Por otro lado, también se ha evidenciado afloramientos en la localidad de Yanahuaya y entre los ríos San Blas, Pablobamba y muy cerca de estos en las localidades de Pilco, Catarani, Llamillami y Alto Pablobamba. En la Hoja 29y3, donde el acceso es restringido al sector NE, los afloramientos corresponden a la prolongación de las Hojas 29y2 y 29y4, que abarcan las quebradas Huari Huari, Chacachani y el río Sina. Por último, en la Hoja 29y4 aflora a lo largo del río Sandia, el cual se extienden hacia el cuadrángulo vecino de Limbani 29x, donde abarca mayor extensión superficial. Suprayace en aparente concordancia sobre la Formación Iparo e infrayace de la misma manera a la Formación Sandia (figura 11). La litología se describe de la columna litoestratigráfica levantada cerca de la localidad de Purumpata (carretera Yanahuya – Sina) teniendo su punto de inicio como base en (474985E, 8418745N) y el punto final (473862E, 8417501N), que corresponde al tope, donde se reporta un espesor promedio de 775 m (figura 2.10).

Esta unidad suprayace a la Formación Purumpata en aparente débil discordancia e infrayace a metareniscas de la Formación Sandia. La característica de estos afloramientos es la forma de presentarse como superficies suaves producto de la intensa foliación y posterior erosión. La columna litoestratigráfica de esta unidad se ha dividido en tres miembros

A, B y C (figura 10). (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 - Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

Miembro A.- Con un espesor de 200 m, compuesta principalmente por filitas y pizarras color gris clara a beige en estratos, cuyos espesores varían de 5 cm a 10 cm; se caracterizan por ser grano estrato creciente, muy esporádicamente se observan delgados niveles de metareniscas de color blanco grisáceo con estructuras de flaser bedding. Las secuencias finas con textura arcillosa presentan abundante contenido de graptolites (figura 10). (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

Miembro B.- Presenta un espesor de 240 m, donde la parte inferior de este miembro se caracteriza por presentar filitas y delgados niveles de metareniscas, que presentan laminación paralela y laminación ondulada y abundante presencia de restos de graptolites. Al tope de este miembro se observa laminación lenticular y nódulos amorfos de pirita metidos en los planos de esquistosidad (figura 10). (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

Miembro C.- Muestra una secuencia monótona de filitas y pizarras, estrato creciente y grano decreciente color gris oscuro, con niveles esporádicos de pirita cúbica intercalado con laminaciones de metareniscas de color gris clara dispuesta en estructuras horizontales y lenticulares algo

tabulares de 2 cm a 5 cm de espesor. Uno de los mayores atributos de esta secuencia es la presencia de abundante fauna de graptolites y sus diferentes variedades (figura 10). (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).



Figura 10. A) Afloramientos de la Formación Purumpata. Vista tomada desde la margen izquierda del río Sandia (466112E, 8432623N), mirando al SE, en dirección al cerro Pacaypunta. B) y C) Pizarras.

Fuente: INGEMMET - Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional)

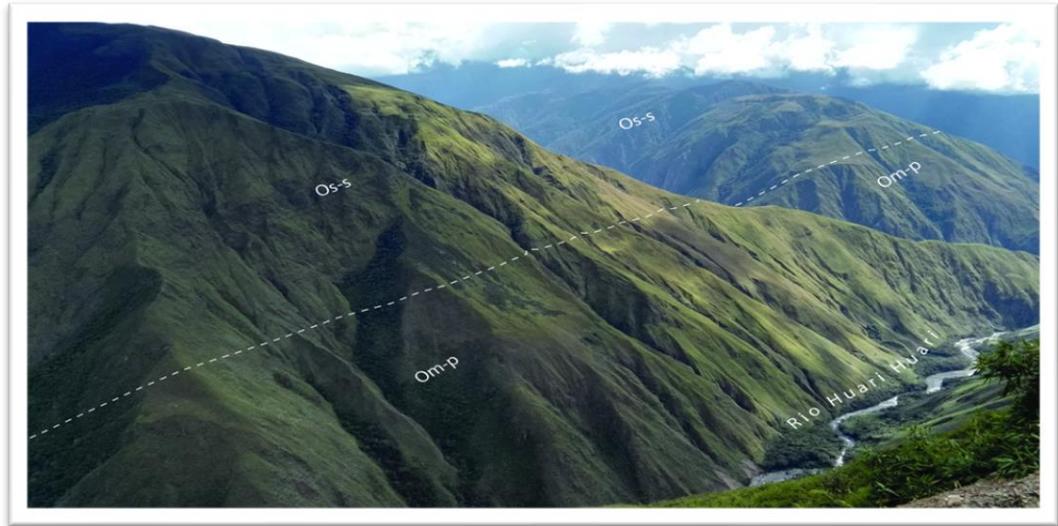


Figura 11. Vista mirando al NO, tomada desde la carretera Yahahuaya Sina (474318E, 8415856N), donde muestra la Formación Purumpata debajo de la Formación Sandia en aparente concordancia.

Fuente: INGEMMET - Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional)

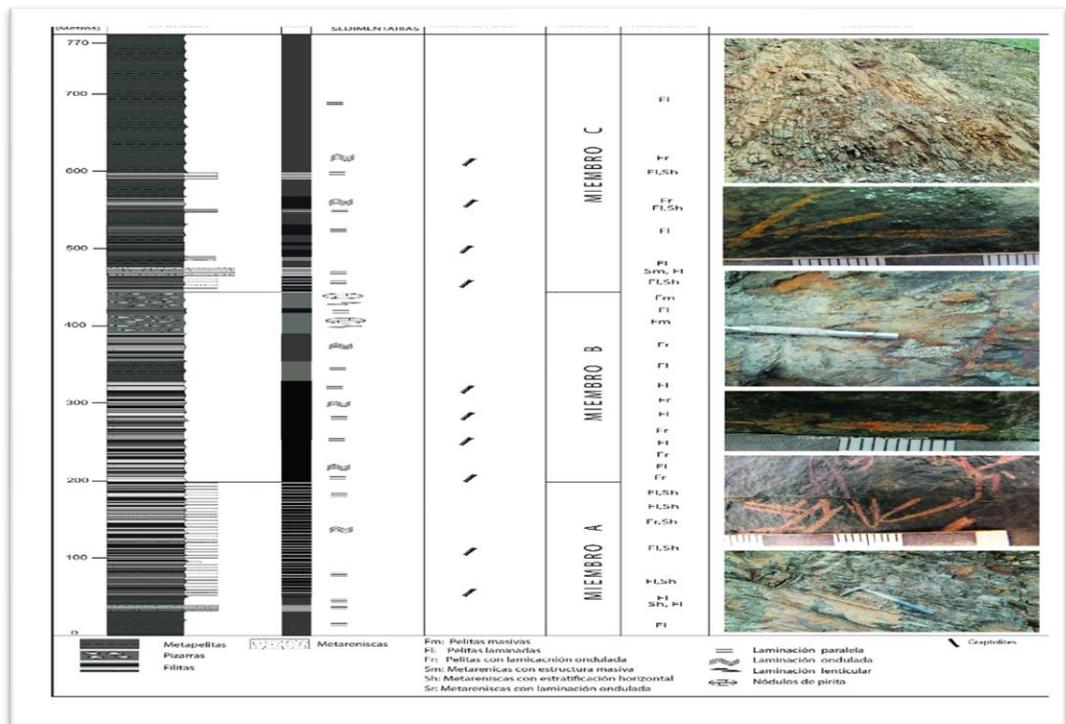


Figura 12. Columna litoestratigráfica de la Formación Purumpata, levantada en la carretera Yanahuara – Sina, donde el punto de inicio fue la quebrada del río Jahuarchaca (474985E, 8418745N).

Fuente: INGEMMET - Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional).



2.1.6.5. Formación Sandia (Os-s)

Esta unidad geológica sobresale en gran parte de la región subcentral al norte de toda la mina, formada por cerros y montañas nevadas, con continuación posterior de: Cuyo Cuyo, Risopata, Vilacota, Sorapata, Huancasayane y Untuca, quienes también tienen un abrigo dorado. (Laubach, 1978).

Denominada como tal por Laubacher (1978) entre las localidades de Cuyo Cuyo y las inmediaciones de Sandia. Aflora en los cuadrángulos de Sandia 29y y San Ignacio 29z como grandes franjas alargadas de dirección NO-SE y se extienden al NO a los cuadrángulos de Limbani 29x, Esquena 28x y Santa Barbara 28y. Para el cartografiado de esta unidad se han realizado cortes transversales a las unidades metamórficas mediante las principales quebradas y ríos, entre las que se mencionan: los ríos Sandia, Lumbara, Sina, Tambopata, que son los que atraviesan transversalmente las unidades del Paleozoico. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

Sección del río Sandia. - Abarca las localidades de Sandia, Iparo, San José, Pilcopata, Tunquimayo, Mayuhuantu, Palmera, Masiapo, Padreyoc, Camarón, Pacaysuizo y Chilcayoc. En el tramo inicial que inicia en la Hoja 29y3 aflora desde la quebrada Chamuco hasta la quebrada Sipasmayo, donde se encuentra en contacto fallado por debajo de la Formación Ananea. En este mismo trayecto se evidencian afloramientos entre la localidad de Sandia, la quebrada Vegamayo, el cerro Ancañan y el cerro Mulo Mulo,



lugares donde forman parte del anticlinal invertido (figura 13) y un sinclinal, cuyo flanco NE se encuentra en contacto sobre la Formación Purumpata. En área de la Hoja 29y4, luego de un tramo largo se recorre sobre la Formación Purumpata y aparece nuevamente afloramientos de la Formación Sandia cerca de la localidad de Carmen y Pilcopata, así como en Palmeras, en ambos lugares formando sinclinales. Continuando la sección, se ingresa al área de la Hoja 29y1, donde encontramos más de estos afloramientos de manera intermitente entre Padreyoc y Pacaysuizo, constituyendo núcleos de sinclinales. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

Sección de Quiaca – Río Lumbara.- Que viene a ser una quebrada casi paralela al río Sandia, donde se han cartografiado secuencias de la unidad en descripción. Los afloramientos se registran a lo largo del río Lumbara y se extiende hasta la confluencia con el río Sina, en cuyo trayecto se observan sinclinales formados en esta unidad. Esta sección tiene como lugar de referencia la localidad de Quiaca y abarca principalmente áreas de la Hoja 29y3 (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

Sección entre Sina-Yanahuaya-San Juan del Oro Putinapunco-San Ignacio y Pampa Grande.- Esta sección abarca las Hojas 29y3, 29y2, 29y1 del cuadrángulo de Sandia y la Hoja 29z4 del cuadrángulo de San Ignacio. En este trayecto los mejores afloramientos se encuentran en el río Sina, área de la Hoja 29y3, donde la unidad se encuentra replegada. Luego



la sección continúa por la carretera Sina-Yanahuaya de la Hoja 29y2 y a la altura del río Huancapata, la Formación Sandia se encuentra en contacto sobre la Formación Purumpata que se extiende hasta San Juan del Oro, lugar donde nuevamente se encuentran afloramientos de la unidad en cuestión. Continúa el cartografiado esta vez por la margen derecha del río Tambopata, del área de la Hoja 29y1, encontrando afloramientos intermitentes como en Yuracmayo, Frente Yanamayo, cerda de Huayrururu, Charuyoc, y Tunquini y Desaguadero; en todos estos lugares forma sinclinales. Posteriormente, esta sección pasa a la Hoja 24z4 del cuadrángulo de San Ignacio y a lo largo del río Tambopata se encuentran más afloramientos cerca de la localidad de San Ignacio y Pampa Grande.

Otra sección de tramo más corto fue realizada entre Saqui (cuadrángulo de la Rinconada 30y) y Vetaspata en área de la Hoja 29y2, donde la Formación Sandia se encuentra replegada a veces con pliegues invertidos. Todas estas secciones han permitido integrar y cartografiar las estructuras de la Formación Sandia, que se presentan como franjas alargadas de dirección NO-SE formando, principalmente, sinclinales kilométricos y a veces anticlinales como en la Hoja 29y2, específicamente al NE de la localidad de Totorá y Vetaspata.

Sobreyace en aparente concordancia sobre secuencias pizarrosas y filitas de la Formación Purumpata e infrayace a pizarras de la Formación Ananea. La litología se describe en base a las columnas litoestratigráficas levantadas en: 1) Quiaca-Ayllu (NE de Sandia). 2) Carretera Sina-Yanahuaya. 3) Vetaspata. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica



Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.1.6.6. Columna Litoestratigráfica entre Tоторa y Vetaspata

Presenta un espesor de 675 m, de base a tope, se inicia en (E486057, N8402203) y termina en (E485410, N8398982) y ha sido dividida en dos miembros y tres secuencias (figura 14). (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.1.6.6.1. Miembro inferior

Secuencia A.- Grano decreciente estrato-creciente, que comprende 215 m de espesor compuesto en la base por metareniscas de color gris blanquecina con ripples (sr) de grano medio, en estratos de 10 cm a 20 cm, que se intercalan con pelitas negras (Fl) y pasan progresivamente a una secuencia de metareniscas de color gris con ripples (sr) y termina en la parte superior con una secuencia de pelitas negras, los que son afectados por vetas de cuarzo hialino. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.1.6.6.2. Miembro superior

Secuencia B.- Grano estrato creciente, que reporta un espesor de 245m y está compuesta principalmente por metareniscas de grano fino a medio con laminación paralela (sh) y presencia de convolutas; estas van evolucionando a secuencias de metareniscas en estratos

delgados de grano fino a medio con ripples (sr). En la parte superior se observa un manto mineralizado que puede estar relacionado con una falla inversa.

Secuencia C.- Grano-decreciente estrato-creciente, que muestra un espesor de 225 m, conformado por secuencias de metareniscas grises claras a oscuras de grano grueso a fino con laminación horizontal (sh) y secuencias de metareniscas con ripples (sr) y convolutas, intercalados con pelitas negras (Fl) bioturbados y con presencia de concreciones. (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).



Figura 13. Secuencia inferior y superior de la Formación Sandia. Vista mirando al NO, tomada desde el cerro Ancañan (453216E, 8419387N).

Fuente: INGEMMET - Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional).

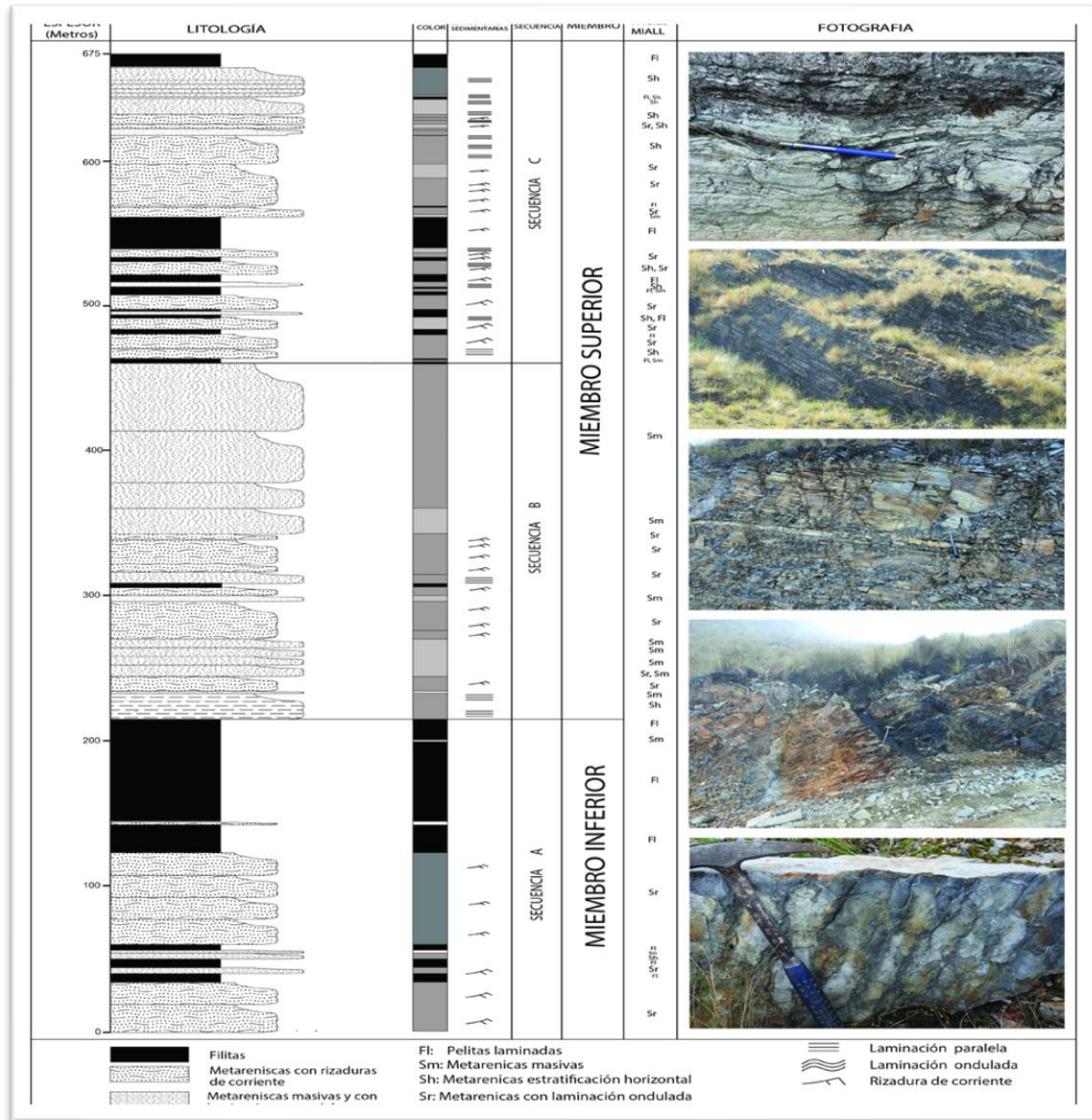


Figura 14. Columna lito estratigráfica de la Formación Sandia en la localidad de Totora - Vetaspata. Se inicia en (486057E, 8402203N) y termina en (485410E, 8398982N) y ha sido dividida en dos miembros y tres secuencias.

Fuente: INGEMMET - Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional).

2.1.7. Geología estructural

Regionalmente, el área de estudio forma parte de la Cordillera Oriental de la región de Puno, donde las estructuras principales tienen una dirección NO-SE, que corresponden a pliegues y fallas regionales (figura 15). Para la descripción de



las estructuras el área lo hemos dividido en tres sectores estructurales (Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7 – Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.1.7.1. Sector occidental

Este sector se caracteriza por presentar afloramientos de metareniscas y metapelitas de la Formación Sandia (Ordovícico superior); pizarrosas, pelíticas y delgados niveles de metareniscas de la Formación Ananea (Siluro-Devoniano), los cuales son afectados por pliegues y fallas principalmente inversas de carácter regional, que ponen en contacto rocas antiguas sobre rocas más recientes. Presentan una dirección general NO-SE, que se prolongan al SE hacia el cuadrángulo de La Rinconada y al NO hacia el cuadrángulo de Limbani. Entre los principales pliegues y fallas de este sector se tiene:

- A. Falla Ñacureque-Jatunchulla.** Tiene una dirección NO-SE, que abarca todo el río Ñacureque y corresponde a una falla inversa, que hace repetir y a la Formación Ananea en su extremo NO y pone a la Formación Sandia sobre la Formación Ananea. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)
- B. Falla Ajosani-Jairani.** Paralelo a la Falla Ñacureque - Jatunchulla de dirección NO-SE, donde hace cabalgar a la Formación Sandia sobre la Formación Ananea y hace repetir a esta última. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)
- C. Falla Chaquimayo.** Corresponde a uno de los ramales de la Falla Ajosani - Jairani que se unen cerca al cerro Japacasani al SE y en



el cuadrángulo de Limbani al NO. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

D. Falla Ayomayo - Queñuane. Se trata de una falla inversa con vergencia al SE, que pone en contacto fallado a la Formación Sandia sobre la Formación Ananea. Tiene un carácter regional de dirección ONO-ESE, que se prolonga a los cuadrángulos vecinos de La Rinconada y Limbani. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

E. Falla Chalimayo. Tiene la misma dirección de las fallas anteriores ONO-ESE, que se prolonga cerca al río Quiaca y al cuadrángulo de Limbani, respectivamente. En su trayecto afecta al eje del anticlinal de Chalimayo, provocando el emplazamiento de vetas de cuarzo con posible mineralización de oro. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

F. Falla Lomayoc. Se encuentra cerca al límite del Sector Occidental y abarca todo el cuadrángulo de Sandia de NO a SE, haciendo repetir a la Formación Purumpata del Grupo San José. Este mismo sector presenta un plegamiento de carácter regional, que se caracteriza por estar invertidos cerca de las fallas inversas, en cuyos núcleos generalmente afloran rocas de la Formación Ananea. A continuación, se describen los principales pliegues de este dominio. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

G. Sinclinal de Chochapata. Corresponde a un pliegue de dirección NO-SE, que afecta a la Formación Ananea y Sandia,



respectivamente. En el río Sandia este sinclinal se encuentra echado; sin embargo, su proyección hacia los ríos Quiaca y Sina va cambiando su configuración y progresivamente se va poniendo de manera normal a un sinclinal simétrico, ligeramente apretado. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

H. Anticlinal de Chalimayo. Es una de las pocas estructuras que muestra la parte inferior de la Formación Sandia (Miembro inferior), el cual aparece intermitentemente a lo largo de este anticlinal como núcleos aislados. Este pliegue se proyecta a los cuadrángulos de Limbani y La Rinconada y afecta principalmente a los dos miembros de la Formación Sandia. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

I. Sinclinal de Chintaorco. Se trata de un sinclinal abierto, que abarca desde el río Sandia y se prolonga hasta los ríos Quiaca, Sina y cortan transversalmente a los mencionados ríos. Este pliegue se cierra en la margen derecha del río Sina al SE del cuadrángulo y se proyecta al NO al cuadrángulo de Limbani. En el núcleo de este sinclinal se encuentran afloramientos de la Formación Ananea que tiene como basamento a la Formación Sandia. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

2.1.7.2. Sector central

Se caracteriza por presentar rocas más antiguas de las formaciones Iparo (Ordovícico inferior) y Purumpata (Ordovícico medio) y muy aislado un afloramiento de la Formación Sandia. Este sector muestra principalmente pliegues muy apretados, que en ocasiones es difícil de distinguirlos por la



monotonía de la litología de estas dos formaciones y el intenso fracturamiento, aunado a la densa vegetación de la zona. Se muestra las principales estructuras que afectan a este dominio. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021)

- A. Anticlinal de Azalaya-Lulimachay.** Esta estructura afecta a la Formación Iparo (Ordovícico inferior), el cual se presenta como núcleo del anticlinal en mención. Se trata de un anticlinal muy apretado, característica que se puede observar en las márgenes del río Sandia; sin embargo, al SE a la altura del río Huari Huari, el pliegue se va abriendo, mostrando flancos más extendidos, que va siendo cubierto por la Formación Purumpata Ordovícico medio. (Fredy Jaimes Salcedo-Gerardo Trelles Vásquez– 2021).
- B. Anticlinal de San Lorenzo.** Se trata de un pliegue muy apretado que hace aflorar a la Formación Iparo (Ordovícico inferior), tiene una dirección NE-SO y se prolonga hasta el cuadrángulo de Limbani, donde se pierde por debajo de la Formación Purumpata. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).
- C. Sinclinal del San Juan del Oro.** Corresponde a un sinclinal abierto en su extremo norte, que se va cerrando o apretando en el extremo sur; esto ocurre precisamente cerca de la localidad de San Juan del Oro. El núcleo del sinclinal está cubierto por la Formación Sandia (Ordovícico superior) y como basamento se tiene a la Formación Purumpata (Ordovícico medio), afectado por una pequeña falla inversa a la altura del río Sandia. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).



D. Sinclinal de Palmera y Sinclinal de Padreyoc. Estos dos sinclinales presentan las mismas características, tienen una dirección NO-SE, afectan las rocas de la Formación Sandia (Ordovícico superior) y presentan un basamento de rocas pizarrosas y filíticas de la Formación Purumpata (Ordovícico medio). (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

E. Anticlinal de Chacuma, Anticlinal de Masiapo y Anticlinal de Camarón.- Estas tres estructuras aparecen como núcleos haciendo aflorar a pizarras y filitas de la Formación Purumpata (Ordovícico medio). Tienen una dirección NO-SE, que se prolongan al cuadrángulo de Santa Barbara (28y).

El Sector Central también presenta fallas inversas y pliegues de longitudes cortas, que es difícil determinar su continuidad debido a lo inaccesible y la densa vegetación de la zona. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.1.7.3. Sector oriental

Este sector se caracteriza por presentar una falla inversa y diversos pliegues entre anticlinales y sinclinales, que afectan principalmente las rocas de las formaciones Sandia (Ordovícico superior) y Ananea (Ordovícico medio), los que se describen a continuación:

A. Falla del río Arcopunco. Se trata de una falla inversa que se caracteriza por tener una dirección NO-SE y una vergencia hacia el NE y abarca gran parte del cuadrángulo de San Ignacio 29z4. En su extremo norte este hace repetir a la Formación Ananea (Hoja



29y1) y pone en contacto a la Formación Sandía sobre la Formación Ananea. Esta falla se prolonga al norte hacia el cuadrángulo de Santa Barbara (28y) y al sur hasta el país vecino de Bolivia. Los pliegues corresponden a un conjunto de anticlinales y sinclinales simétricos cerrados en ocasiones abiertas, que presentan una dirección general NO-SE. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

B. Sinclinal de río Blanco. Tiene una dirección NO-SE, su prolongación de este pliegue corta los ríos Sandía y Tambopata en forma transversal. Afecta a secuencias de pizarras y filitas de la Formación Ananea (Siluro-Devoniano) y al basamento de estas constituidos por metareniscas y metapelitas de la Formación Sandía (Ordovícico superior). (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

C. Sinclinal de Putina Punco. Se trata de un sinclinal ligeramente apretado, que pasa por la misma localidad del mismo nombre. Tiene una dirección NO-SE, este sinclinal se cierra en la margen derecha del río Tambopata y se prolonga hasta el cuadrángulo de Santa Barbara (28Y). Afecta a pizarras y filitas de la Formación Ananea (Siluro-Devoniano) y al basamento de estas constituidos por metareniscas y metapelitas de la Formación Sandía (Ordovícico superior). (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

D. Sinclinal de Chunchumayo. Corresponde a un pliegue abierto de dirección NO-SE, que abarca gran parte del cuadrángulo de San

Ignacio 29z4 y se prolonga al cuadrángulo de Santa Barbara (28y), como los pliegues anteriores afecta las rocas de la Formación Sandia (Ordovícico superior) y a la Formación Ananea (Siluro-Devoniano), en la esquina NO del cuadrángulo de San Ignacio (29z4) y la esquina NE del cuadrángulo de Sandia (29y1), es interrumpida por una falla del río Arcopunco. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

E. Anticlinal de Charuyo y Anticlinal de Tunquini.- Son dos estructuras paralelas que presentan una dirección NO-SE y afectan a metareniscas de la Formación Sandia (Ordovícico superior). (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

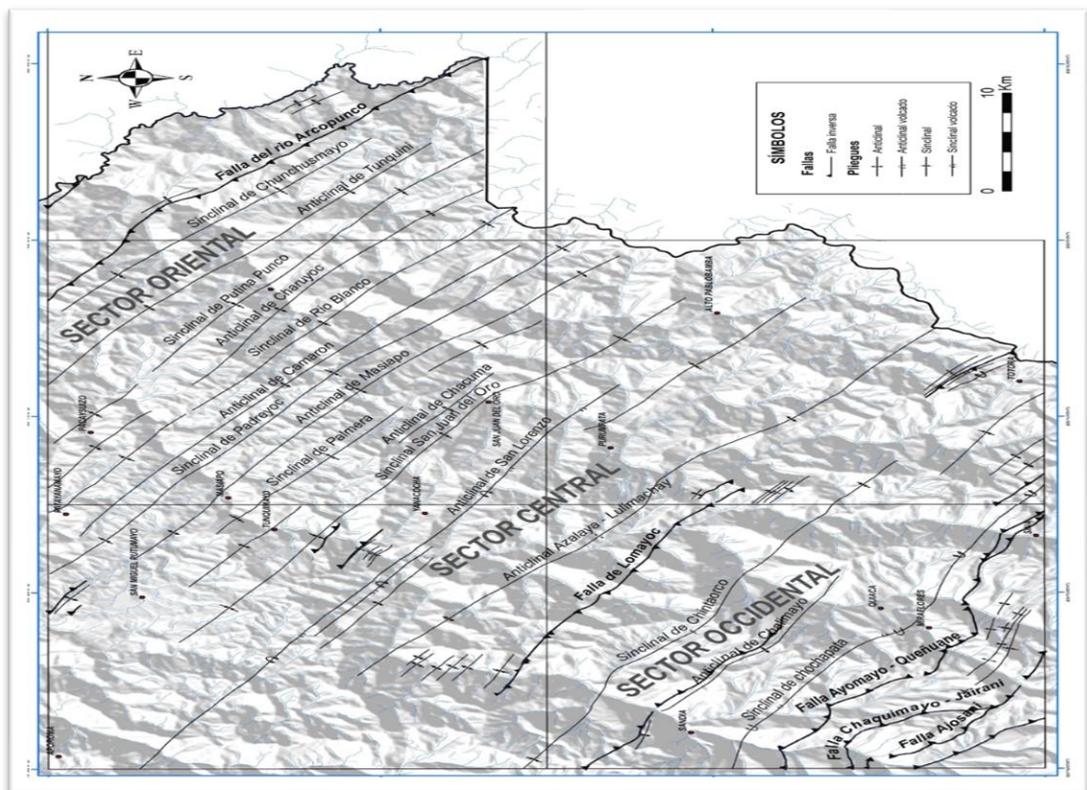


Figura 15. Mapa estructural de los cuadrángulos de Sandia 29y y San Ignacio 29z.

Fuente: INGEMMET -Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional).

2.1.8. Geología económica

Los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio están ubicados dentro de la denominada faja aurífera oriental, siendo la mayor parte de los yacimientos del tipo de placeres aluviales; el otro tipo de yacimiento es el de filón, producto de la acción de fluidos hidrotermales que afectaron la secuencia metamórfica-sedimentaria paleozoica. Los yacimientos de tipo placer aluvial se encuentran distribuidos principalmente en las terrazas del río Huari Huari así como en los ríos Pablobamba y Tambopata; el oro primario igualmente tiene una clara distribución en dos zonas del cuadrángulo de Sandia. En el cuadrángulo de San Ignacio no se conoce presencia alguna de mineralización. (Boletín 29y – INGEMMET por Natalio De La Cruz B. y Mario Carpio R.)

Los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio se localizan dentro de la Franja metalogenética I, según se indica en el Mapa metalogenético elaborado por INGEMMET en el año 2018. Esta franja corresponde a depósitos de Au hospedados en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico y Silúrico-Devónico (figura 16). (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.1.8.1. Franja de Au en rocas meta-sedimentarias del ordovícico y siluro-devónico.

Se localiza a lo largo de la Cordillera Oriental del territorio peruano. Las rocas hospedantes están conformadas por pizarras y filitas del Paleozoico inferior. Las estructuras mineralizadas están conformadas por vetillas y mantos lenticulares de cuarzo - oro, controladas principalmente por fallas inversas NO-SE. La mineralización probablemente está asociada con los eventos magmáticos del Triásico y no como se pensaba



al Ordovícico y del Siluro-Devónico. Entre los principales depósitos se pueden mencionar a Ananea, La Rinconada, Antonieta y Untuca (Acosta et al., 2009, p. 2). Durante los trabajos de campo en este cuadrángulo se identificaron principalmente depósitos del tipo vetas, depósitos aluviales, placeres y orogénicos de oro.

Entre los depósitos visitados podemos mencionar las minas Cuchilla, Peñón de Oro, Purumpata, mina Titán, Chunchusmayo, Vetaspata, Pablobamba y Aporoma; sin embargo, en esta área también se encuentran otros depósitos como son: Delfín Marina, Serpiente de Oro, Flor de Jesús, Estrella del Sur, Lucky Strike, Vilahuma, Santiagopata, Yanacocha, Arizona, Buen Suceso y El Rebelde (figura 17). Se debe resaltar que la mayoría de estos depósitos son explotados de manera artesanal, solo pocos pertenecen a la mediana minería (Cuchilla, Chunchusmayo, Peñón de Oro, Purumpata, Aporoma y Vetaspata). (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

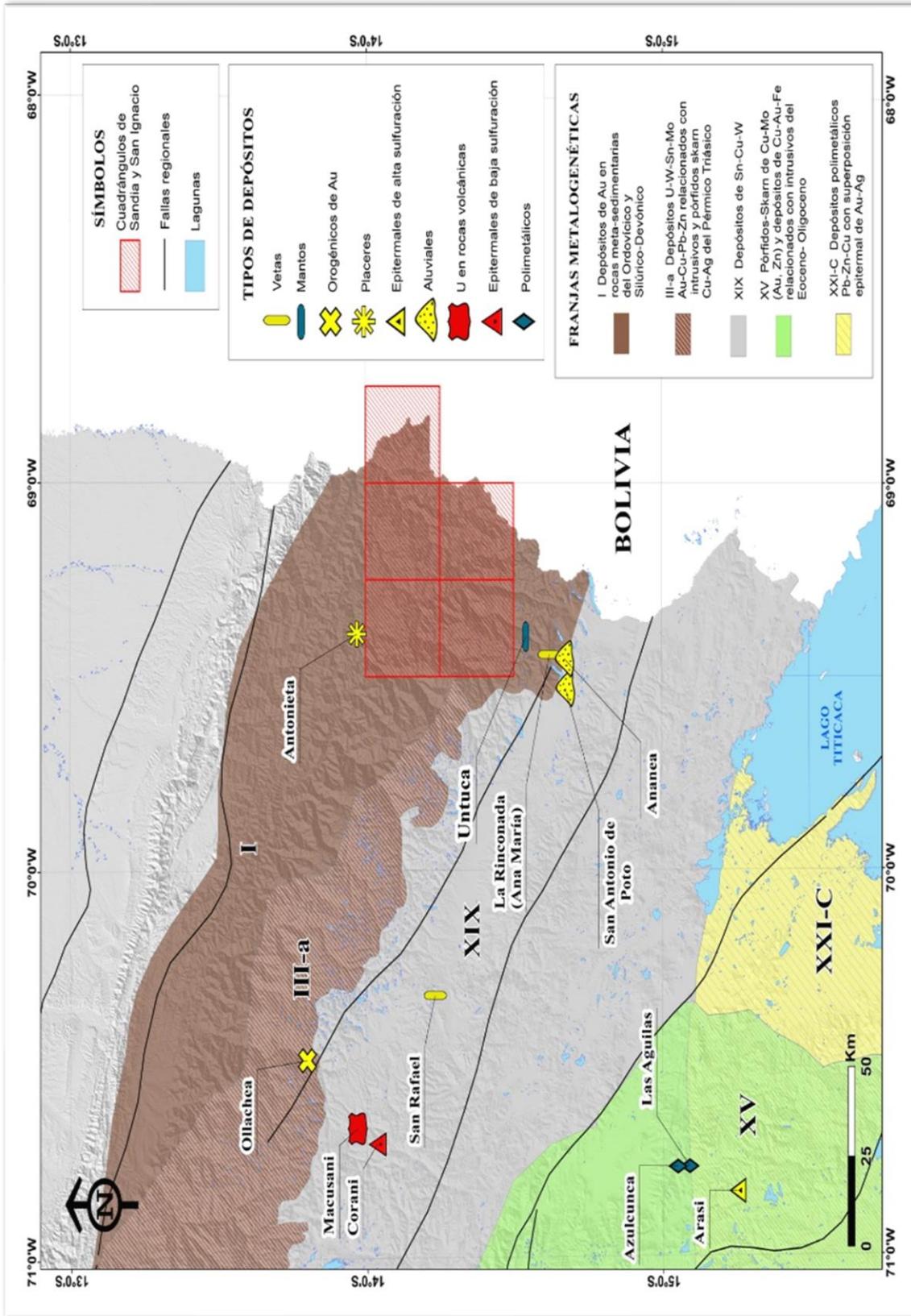


Figura 16. Contexto metalogénico de los cuadrángulos de Sandia 29y y San Ignacio 29z.

Fuente: INGEMMET -Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional).

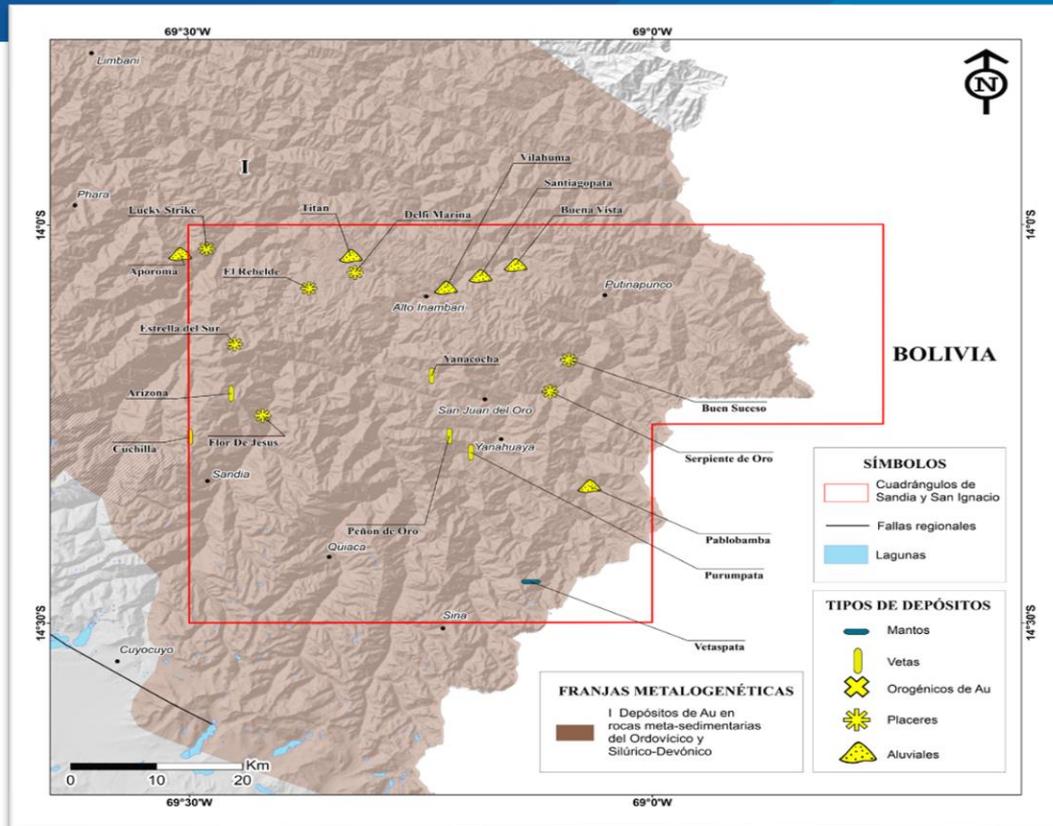


Figura 17. Mapa de los principales depósitos mineros de los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio.

Fuente: INGEMMET-Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional

2.1.8.2. Mineralización aurífera primaria

La mineralización aurífera primaria, consistente de vetas de cuarzo aurífero la que es fuente de los placeres de los ríos Huari Huari y Tambopata, se ubica principalmente en dos zonas, una en el borde occidental del cuadrángulo de Sandia (San Miguel I, Cuchilla, Arizona, Queneque, Apabuco, etc.) y otra en la parte central (Koritonqui, Yanacocha), Vetasmayo (Peñón de Oro N° 1, 2 y 3), etc.

De acuerdo a la distribución de los filones auríferos en el Cuadrángulo de Sandia (minas Cuchilla, Arizona, Koritonqui, Vetasmayo, etc.) se puede observar que estos se presentan en la secuencia paleozoica tanto ordovíciana (Grupo San José y Formación



Sandía) como siluro-devoniana (Formación Ananea). En ese sentido, estas formaciones tienen buenas posibilidades de albergar otros yacimientos económicamente interesantes, los que a su vez han dado lugar a la Formación de placeres auríferos en las partes bajas, esto es, en las cuencas de los ríos Huari Huari, Tambopata y Madre de Dios, entre otros. (Boletín 29y – INGEMMET por Natalio De La Cruz B. y Mario Carpio R.)

2.1.8.3. Mantos. - Los yacimientos tipo estratoligados, conocidos comúnmente como mantos, pueden ser a su vez estratificados si son exactamente concordantes a los estratos y no estratificados si no existe esta concordancia, pero que el eje mayor del cuerpo mineralizado es paralelo a los estratos. (Boletín 29y – INGEMMET por Natalio De La Cruz B. y Mario Carpio R.)

2.1.9. Prospección geoquímica

La prospección geoquímica es la aplicación práctica de los principios geoquímicos en la exploración de yacimientos de minerales e hidrocarburos; Su objetivo específico es encontrar nuevos yacimientos metálicos o no metálicos, para acumular petróleo y gas natural, utilizando métodos químicos, inicialmente en grandes áreas y luego en áreas con tasas de interés cada vez más pequeñas. (Rivera, 2001).

Los métodos que involucraron la medición sistemática de uno o más elementos o compuestos químicos, que a menudo se encuentran en cantidades muy pequeñas. Medición de sustancias fácilmente identificables, como rocas, sedimentos, arroyos, suelo, agua, vegetación o gases. El objetivo es encontrar una



abundancia de elementos mixtos por encima de lo normal, es decir, una anomalía, que indicaría mineralización.

Rivera (2001), indica que los estudios de prospección geoquímicos son adecuados para estudiar sedimentos de baja ley, especialmente aquellos que son difíciles de identificar o que no se pueden identificar a simple vista.

2.1.9.1. Anomalías geoquímicas

Cualquier tipo de anomalía en los materiales encontrados en la superficie terrestre indica la presencia de un cuerpo extraño. Por ejemplo. anomalías radiactivas indican la presencia de minerales radiactivos, anomalías gravitatorias indican la presencia de material pesado en el sótano, anomalías geoquímicas indican la presencia de ciertos elementos (cobre, oro, molibdeno, etc.), anomalía geofísica, anomalía gravitatoria (Atkinson, W. et al., 2007).

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.2.1. Mina Purumpata (AU)

Este depósito se encuentra ubicado en la localidad de Purumpata, distrito de Yanahuaya, provincia de Sandia, exactamente en las coordenadas UTM (478611E, 8421228N) y a una altura promedio de 1650 m s. n. m. En cuanto a la geología de este depósito, se puede indicar que está compuesto básicamente por pizarras y filitas pertenecientes a la Formación Purumpata del Ordovícico medio.

Por otra parte, presenta alteración por oxidación (hematita – limonita – goetita) y silicificación (cuarzo); además la mineralización está dispuesta a manera de vetas de fuerte ángulo y principalmente está compuesta por sulfuros



(piritaarsenopirita) y oro nativo relacionado a estos últimos. Se ha estimado una ley promedio para el proyecto Purumpata de 5g Au/TM (*figura 18-B*). (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.2.2. Prospecto Pablobamba Oro

El yacimiento Pablobamba se encuentra ubicado en la comunidad de Pablobamba, distrito de Yanahuaya, provincia de Sandia, en las coordenadas UTM (492687E, 8415806N), en un rango de altitud que va desde 1600 m s. n. m. a 2000 m s. n. m. Se puede acceder a este proyecto por la ruta Puno-Juliaca-Cuyo Cuyo-Sandia-Yanahuaya-Pablobamba. Este es un depósito de oro del tipo aluvial, donde los clastos son provenientes de la Cordillera Oriental, específicamente de la Formación Sandia. Al ser este un yacimiento del tipo aluvial, la mineralización del oro es de comportamiento libre y se encuentra a manera de pepitas, charpas, laminas y escamas. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.2.3. Mina Chunchusmayo (AU)

Esta se ubica en la margen derecha del río Sandia, en la localidad del mismo nombre, en el distrito de Alto Inambari, en la provincia de Sandia, región Puno. En las coordenadas UTM (484115E, 8446627N) y a una altitud promedio de 1500 m s. n. m. Este es un depósito de tipo aluvial y se extiende dentro de la Formación Titán al igual que las minas Titán y Aporoma; sin embargo, en este sector los clastos provienen principalmente de la Formación Sandia y han sido fuertemente oxidados por la meteorización típica del clima tropical de ceja de selva (*figura 18-C*). La mineralización de esta mina es netamente de oro y se encuentra diseminada en forma de pepitas, laminas y charpas. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).



2.2.4. Mina Cuchilla (AU)

Se encuentra ubicado al NO de la ciudad de Sandia, abarca los sectores de Fundición, Carmencita y Cuchilla, pertenece al distrito de Sandia, provincia Sandia. Localizado exactamente en las coordenadas (445758E, 8422643N) y a una altitud promedio de 3500 m s. n. m. Geológicamente este yacimiento se encuentra emplazado a manera de vetas en pizarras y metareniscas cerca al contacto de las formaciones Sandia y Ananea. Este emplazamiento es de bajo ángulo (30° aproximadamente). Presenta una marcada alteración por oxidación y silicificación (*figura 18-D*). Esto genera que la mineralización esté principalmente conformada por gangas como limonita, hematita, arsenopirita y cuarzo; mientras tanto la mena es de Au. Se ha reportado para este yacimiento una ley promedio de 10 g/TM de oro. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.2.5. Mina Titán (AU)

Se sitúa al NO de la localidad de Masiapo, en el distrito de Alto Inambari, provincia de Sandia. En las coordenadas UTM (464996E, 84447852N) y a una altitud promedio de 1900 m s. n. m. Geológicamente se extiende a lo largo de los afloramientos de la Formación Titán (Neógeno-Plioceno), la cual está constituida por clastos, principalmente de metareniscas de granulometría variable dentro de una matriz areno limosa; estos clastos provienen de la erosión y meteorización de las Formaciones Sandia. La Formación Titán ha sufrido fuerte alteración por oxidación debido a la presencia de pirita en la matriz, aunado a las condiciones climatológicas de la zona. Este depósito es de tipo aluvial de oro y por esta misma razón la mineralización se encuentra diseminada en forma de pepitas, laminas y charpas. (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).



2.2.6. Mina Peñón del Oro (AU)

Esta mina se ubica en la localidad de Huañaraya, distrito de Yanahuaya, provincia de Sandia. Sus coordenadas UTM son (476398E, 8422890N) y se sitúa aproximadamente a una altura de 2000 m s. n. m. La geología de este depósito se basa principalmente en pizarras esquistosas de la Formación Purumpata, las cuales han sido instruidas por sills y diques que se encuentran alterados. Según estudios petrográficos, este cuerpo intrusivo ha sufrido alteración del tipo carbonatación, sericitización, silicificación y cloritización; además estos cuerpos contienen trazas diseminadas de magnetita, calcopirita, pirita y esfena. La mineralización de Au precisamente se encuentra contenida en vetas de cuarzo que se disponen paralelamente al sill mencionado líneas arriba (*figura 19-A*). (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

2.2.7. Mina Aporoma (AU)

Esta mina está ubicada al NE del distrito de Phara, en la provincia del mismo nombre, en la región Puno. En las coordenadas UTM (445046E, 8448165N) y a una altitud promedio de 2300 m s. n.m. Se puede acceder a este depósito mediante la ruta Puno – Juliaca – Ananea – Limbani – Phara - Aporoma.

Este yacimiento, al igual que la mina Titán, se emplaza en conglomerados aluviales de la Formación Titán (Neógeno - Plioceno), la cual está compuesta por sedimentos aluviales constituidos por conglomerados con clastos de metareniscas, provenientes de la Formación Sandia.

Debido a la fuerte erosión y meteorización que sufrieron las rocas de la Formación Sandia en este sector, se formaron extensos promontorios de depósitos aluviales alterados (oxidación). Precisamente la mineralización de oro está

relacionada a estas zonas alteradas y dispuesta a manera de disseminación en pepitas, laminas y charpas (*figura 19-B*). (Fredy Jaimes Salcedo - Gerardo Trelles Vásquez – 2021).

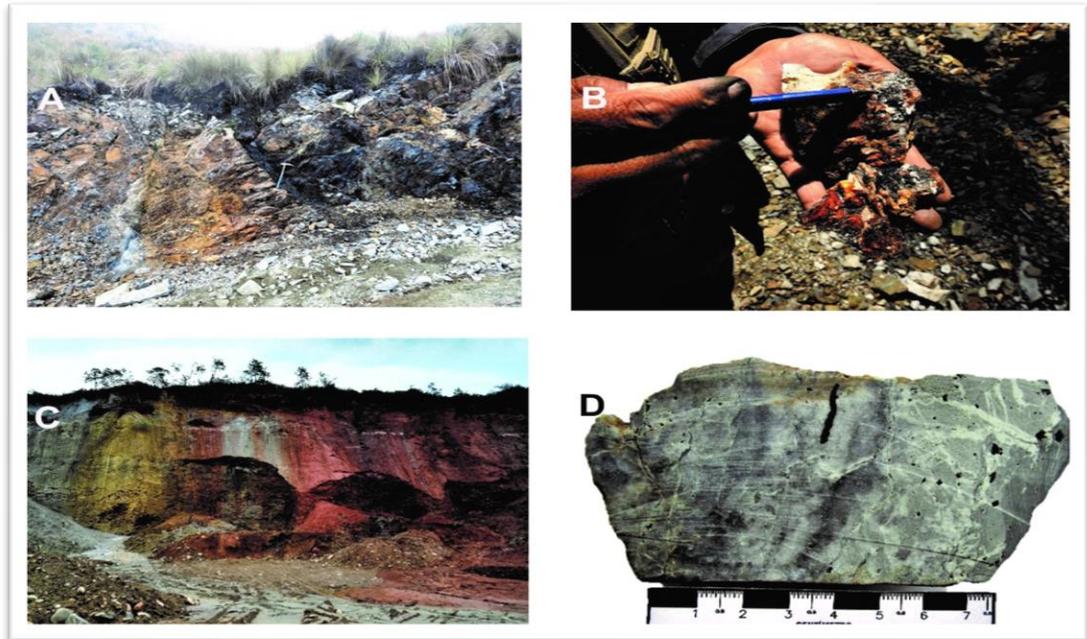


Figura 18. A) Se observa en color negro un manto mineralizado del proyecto Vetaspata, el cual tiene 40 cm de espesor y se emplaza entre las cuarcitas de la Formación Sandia (485606E, 8402079N). B) Muestra de veta de cuarzo mineralizado, mina Purumpata. C) Depósitos aluviales oxidados en el sector de Buena Vista que pertenecen a la mina Chunchusmayo (484818E, 8447028N). D) Brecha hidrotermal observada en la mina Cuchilla.

Fuente: INGEMMET-Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional

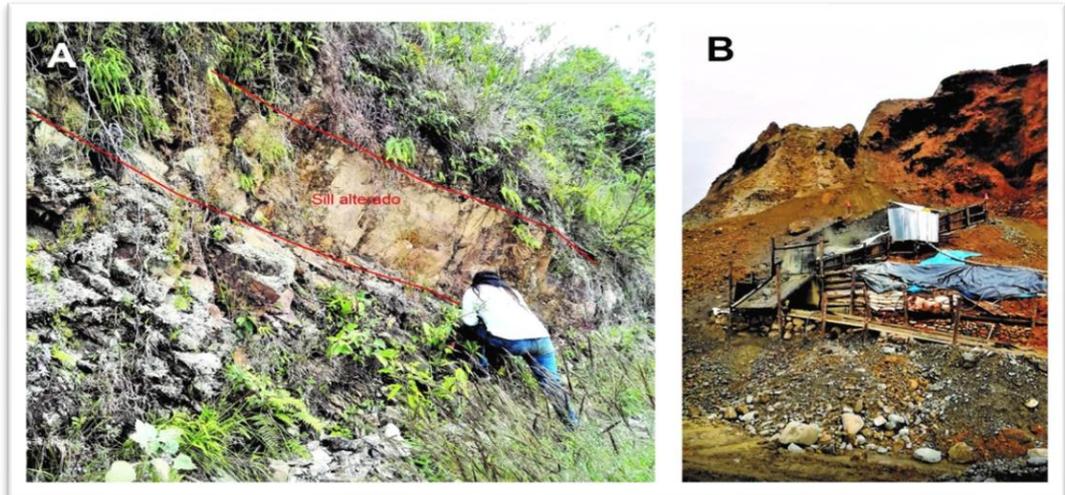


Figura 19. A) Se observa el sill alterado de la mina Peñón del Oro, el cual tiene 1 m de espesor y se emplaza entre las pizarras de la Formación Purumpata (476938E, 8422482N). B) Planta de recuperación de oro por gravimetría en la mina Aporoma (447407E, 8449423N).

Fuente: INGEMMET-Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional

2.2.8. La empresa minera CORI PUNO S.A.C.

Está ubicado en uno de los flancos de la cordillera oriental. La cual es un yacimiento orogénico, manifiesta lo siguiente:

Litológicamente la zona de Untuca, está constituido por cuarcitas grises, suprayacidos por esquistos lodolíticos (cordierita) y esquistos con porfidoblóstos de andalucita; las capas se orientan entre N 210°-230°/25-40° y los planos de esquistosidad tienen una orientación N140°-165°/20-25°, en el contacto entre las filitas esquistosas y el esquisto porfidoblástico ocurre una estructura tipo sills (Marker Litológico). (Ruben Tejada – 2005)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Los materiales utilizados para la investigación del proyecto Betania han sido cuidadosamente seleccionados, por exactitud y precisión, estos materiales definirán los parámetros para el mapeo y análisis de muestreo, localización, detallados a continuación:

3.1.1. Instrumento y materiales en campo

- Base topográfica y satelital. – Utilizamos para poder ubicarnos y poder realizar el mapeo geológico.
- Libreta de campo. – Sirve para anotar datos obtenidos de campo y realizar algunos trazos.
- Picota o martillo de geólogo. - Con el cuál podremos obtener fragmentos de roca fresca.
- Brújula Azimutal tipo Brunton. – Se usa para tomar el Azimut y Buzamiento de las estructuras
- Lupa Iwamoto 20X.- con la cuál podremos tener una visualización amplia de los minerales, rocas y otros.
- Lápiz de dureza. – Nos ayuda para obtener la dureza de los minerales y la roca.
- Lápiz magnético. - Con la cuál diferenciamos algunos minerales que puedan tener algún magnetismo.
- Lápices de colores. – Se utiliza para los mapeos geológicos, secciones y otros.
- Borrador. - Con el cuál podremos borrar algunos trazos o datos erróneos.
- Combo de un peso de 4 libras y cincel con punta diamantina. – Utilizamos para realizar el muestreo de canales y fragmentar la muestra obtenida.



- Bolsas polietileno. - En la cual se transportó la muestra de la estructura, obtenida en el campo
- Precintos de seguridad. - Nos ayudará a brindar seguridad con las bolsas de polietileno al momento de transportar las muestras de campo.
- Plumón indeleble. – Ayudó para el rotulado de muestras.
- Ácido Clorhídrico (HCL). – Con el cual se identifica minerales que tengan carbonatos.
- Tablero de mapeo. - Brindo comodidad al momento de realizar mapeos geológicos.
- GPS Garmin. – Utilizamos para tomar coordenadas UTM.
- Protactor. - Nos ayudó a plotear los Azimut y buzamientos al plano geológico.

3.1.2. Equipos y materiales en gabinete

- Útiles de escritorio. – Para realizar trabajos de gabinete y el informe final.
- Impresora Canon. – Utilizamos para imprimir planos geológicos.

3.2. MÉTODOLOGIA DE INVESTIGACION

La metodología aplicada a este estudio es descriptivo, analítico, incluyendo la realización de investigaciones de escala regional a local en diferentes periodos, aplicando métodos de mapeo, tomando patrones de localización de sistemas, y otros métodos, y de acuerdo a los objetivos, así:

3.2.1. Etapa de gabinete I

Durante esta fase se elaboró el material necesario, se elaboró un plano topográfico básico 1:5000 y se delimitó el área de estudio correspondiente al proyecto BETANIA en el Distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina, en relación a la información con el cuadrilátero 29- Y y según información del



Boletín A082, Sandia-29y San Ignacio 29z, Mapa Geológico Nacional INGEMMET. En este marco, también se recolectó información en el área de estudio, recopilada a partir de monografías, artículos y estudios a nivel local, regional e internacional, respecto a la presencia de oro orogénico.

De igual manera se hace la impresión de imágenes satelitales 1:1000 de los cuadrángulos de Sandia 29y y San Ignacio 29z, fotointerpretación en base a imágenes satelitales, tomando como base las hojas cartografiadas a la escala 1:100 000, buscándose toda la información geológica, geoquímica, geocronológica, paleontológica del área de estudio y su entorno. En esta etapa se hizo la planificación previa de los trabajos de campo con su correspondiente informe precampo. Además, la búsqueda de temas relacionados con la investigación se realiza a través de navegadores virtuales. Análisis de imágenes satelitales, en software Global Mapper, Sas Planet y Google Earth.

3.2.2. Segunda etapa de campo

Con la información de gabinete, se procedió a realizar trabajos de campo, que consistió en el cartografiado geológico a escala 1:5000, toma de datos estratigráficos y estructurales, muestreo de rocas y toma de fotografías. La toma de datos se realizó a través de afloramientos de roca, carreteras, caminos de herradura y quebradas.

3.2.2.1. Método de mapeo

En la geología estructural las orientaciones geológicas son extremadamente importantes, es por ello que el mapeo utilizado en el cartografiado del área de estudio, es el de la regla de la mano derecha. La regla de la mano derecha, es una estandarización arbitraria utilizada por

algunos geólogos, no es una regla universal, por eso el termino regla, es inapropiado. En física se usa para determinar direcciones vectoriales y tiene como bases los planos cartesianos, en la geología se usa para establecer una orientación, el pulgar marca el rumbo, la mano (los otros dedos) marcan el buzamiento.

Uso correcto:

- La palma de la mano derecha bien extendida, la cual se posiciona sobre el plano donde se va a medir.
- El pulgar marca el rumbo en una sola dirección, mientras que los demás dedos marcan la dirección del buzamiento. Los dedos bien extendidos forman un ángulo de 90° , similar al ángulo formado entre rumbo y buzamiento.
- Se posiciona la pindula larga de la brújula en la misma dirección donde apunta el dedo pulgar y se registra en formato azimutal.

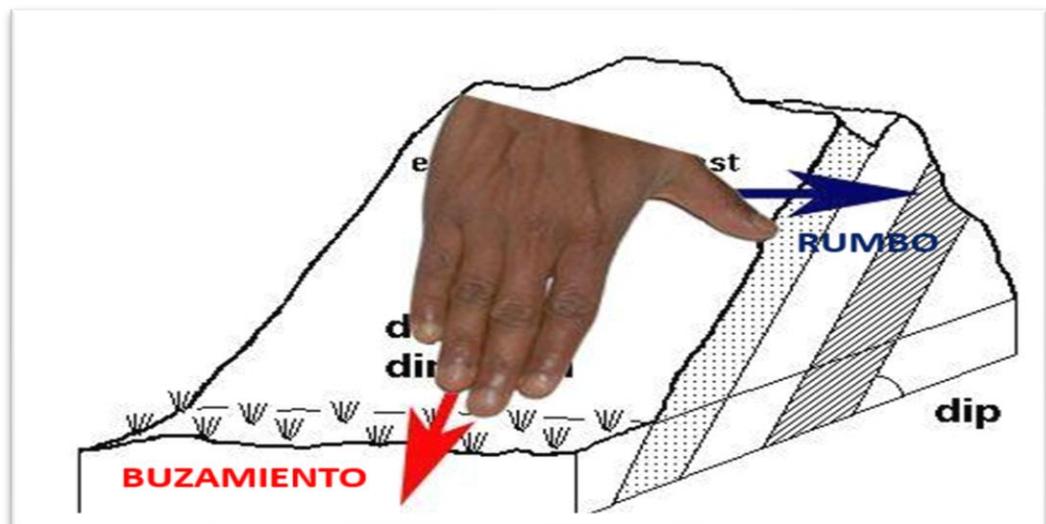


Figura 20. Posición de la palma de la mano derecha, para poder tomar el dato correcto de la regla de la mano derecha

Fuente: Elaboración propia



3.2.2.2. Muestreo de roca por el método de canales

Esta técnica de muestreo está ampliamente extendida en minería. Consiste en la excavación de un canal estrecho y continuo, bien a lo largo de la capa o vena o bien en ángulo recto al trazado de ésta. Las dimensiones de los canales han sido tomadas con las siguientes dimensiones 1.5 metros de largo por 20cm de ancho con una profundidad de 10cm. Manteniéndose estas dimensiones lo más constantes posible. Se toma como muestra el total del material excavado dentro del canal. Este se recoge en tela lisa o plástico extendido al pie del lugar de la toma. Si se juntan varias muestras de un solo canal, para constituir una única muestra, la cantidad de cada una debe ser proporcional a la veta o estructura que se desea determinar.

Después de tener la muestra fragmentada, se dispone a realizar la homogenización de la muestra, para después proceder al cuarteo, en el cual la muestra se divide en 4 partes iguales, las que son recogidos para la toma de muestra son los extremos del cuarteo.

Después se tomará los datos UTM de la muestra para registrar en la base de datos, se realizará el rotulado respectivo de dicha muestra. Por último, se tomará una foto como evidencia.



Figura 21. Muestreo con punta (cincel) y comba de 4 libras

Fuente: Elaboración propia.



Figura 22. En la imagen se muestra la homogenización de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 23. Cuarteo con Manta. Reducir (Toma 2 cuartos opuestos por vértice).

Fuente: Elaboración propia.



Figura 24. Se observa a los muestreos realizando el trabajo de etiquetado, sellado y registro de la muestra obtenida.

Fuente: Elaboración propia.

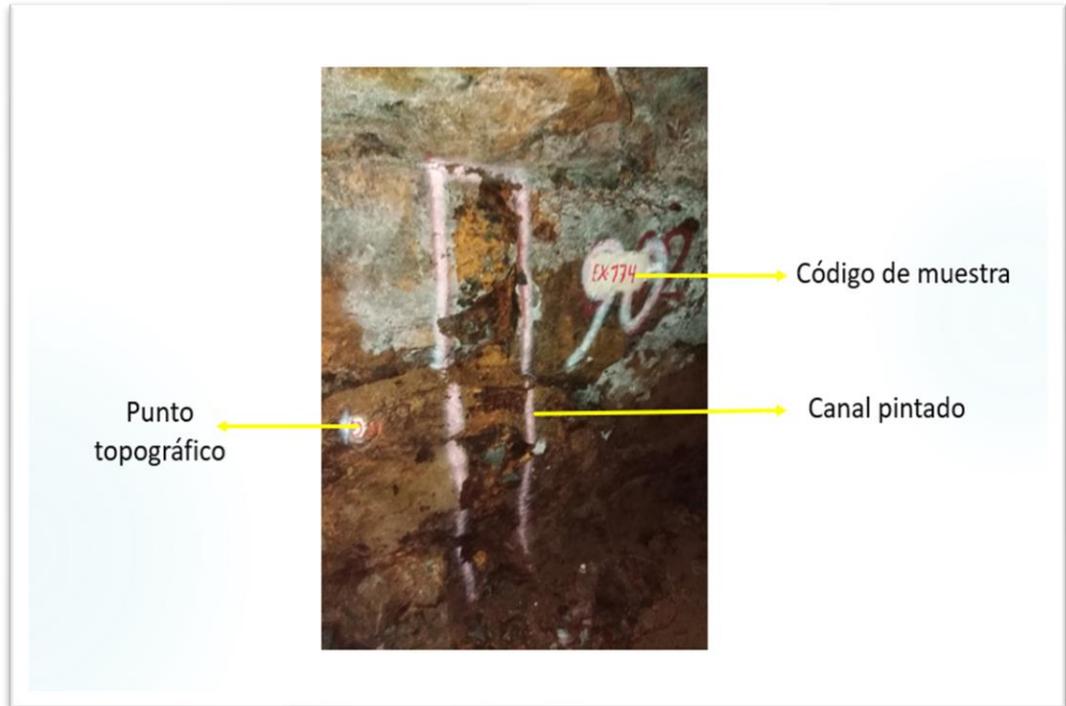


Figura 25. Pintado y codificación del canal para ubicarlo en el plano de muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

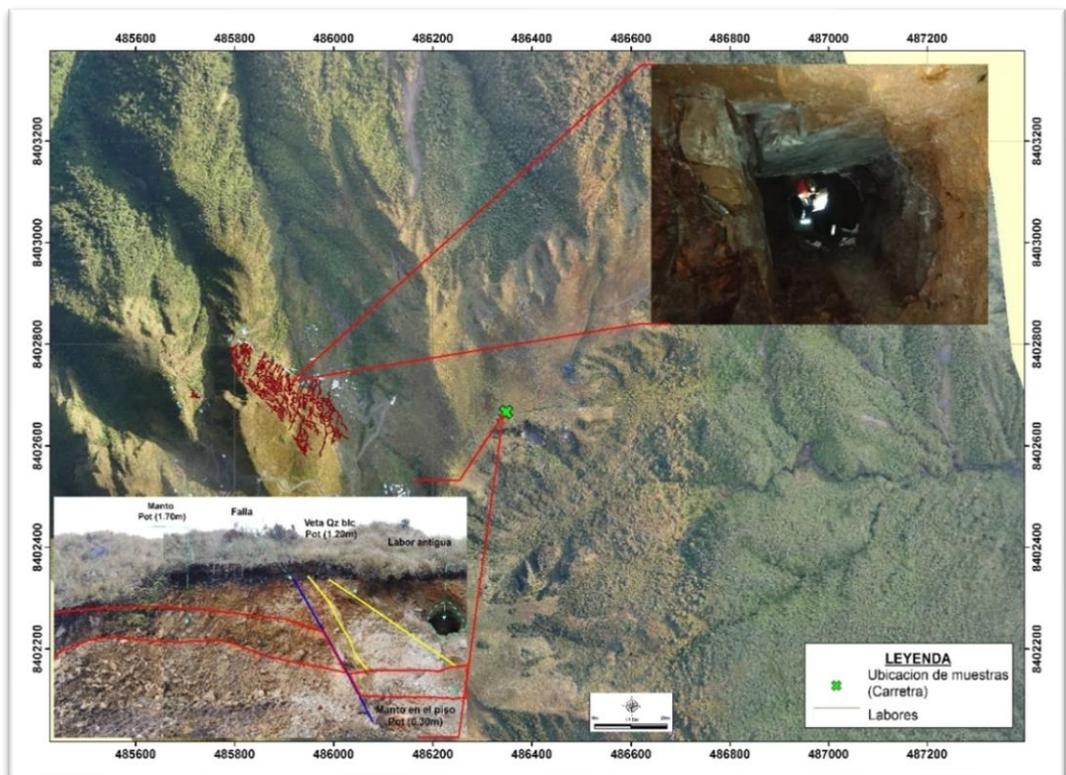


Figura 26. En la imagen se puede apreciar la ubicación de labores mineras dentro del target Betania.



3.2.3. Trabajo de gabinete II

En esta etapa se procede a procesar la información recopilada en el campo, tales como:

- Digitalización y generación de mapas geológicos
- Digitalización y generación de mapas estructurales
- Elaboración de perfiles y secciones geológicas

En la cual se pudo determinar los diferentes tipos de litología, continuidad de estructuras mineralizadas, anomalías y alteraciones.

Por lo tanto, se utilizaron los siguientes programas en sus versiones de evaluación para procesar los datos y crear los paquetes ArcGis 10.8 y Minesight 15.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN

El área de estudio se encuentra ubicada al Noreste de la Unidad Minera Untuca. El proyecto BETANIA se encuentra en el sector Saqui, ubicado específicamente a unos 24 Km del Distrito de Sina, perteneciente a la provincia de San Antonio de Putina, Región Puno. Las coordenadas centrales de la zona de estudio son: E 486004, N 8402540, con una altitud promedio de 3 500 m.s.n.m. (Datum WGS 84/zona 19L).

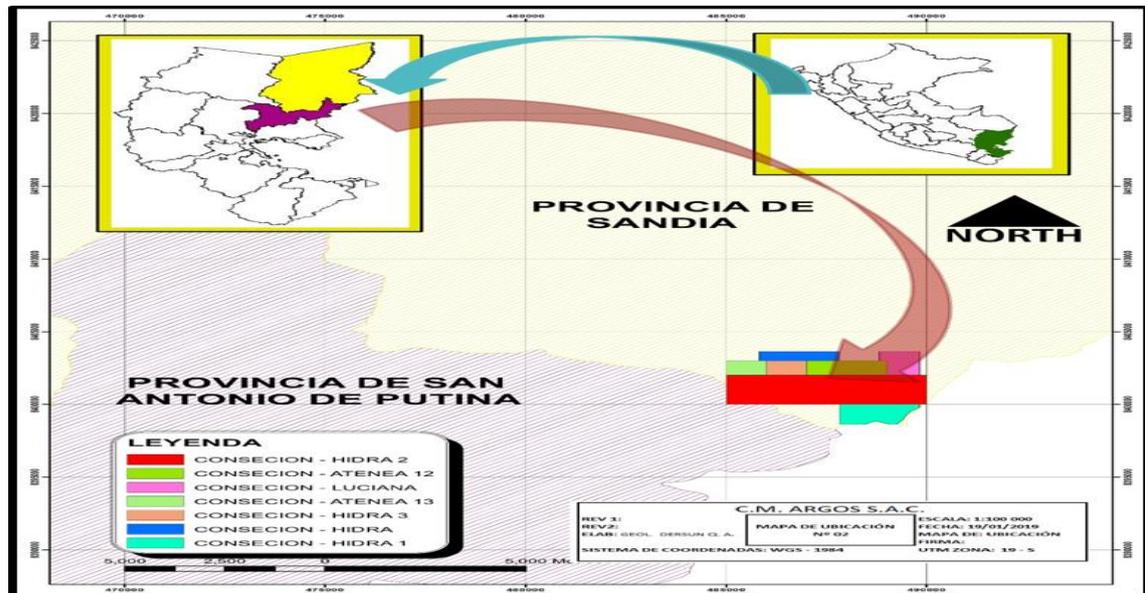


Figura 27. Mapa de ubicación del Proyecto Betania.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. ACCESIBILIDAD

El acceso se describe en el siguiente cuadro con ruta referencial:

Tabla 3. Descripción del acceso a la zona de investigación.

RUTA N°1			
TRAMOS	DISTANCIA (Km.)	ESTADO	TIEMPOS (Hs)
Juliaca-Putina	75	Asfaltada	1:00:00
Putina-Desvio Ananea	65	Asfaltada	1:15:00
Desvio Ananea-Sina	95	Trocha-carrozable	2:05:00
Sina-Saqui	32	Trocha-carrozable	1:35:00
Saqui-UM. Betaspata	18	Trocha-carrozable	01:15
Total	285		7:10:00
RUTA N°2			
TRAMOS	DISTANCIA (Km.)	ESTADO	TIEMPOS (Hs)
juliaca- Huancané	45	Asfaltada	00:45
Huancane-vilquechico	30	Afirmada	00:35
vilquechico-Sina	78	Afirmada	01:35
Sina-Saqui	32	Trocha	01:35
Saqui-UM. Betaspata	18	Trocha	01:15
Total	203		05:45



Figura 28. Imagen satelital a la zona de investigación

Fuente: Google Earth.

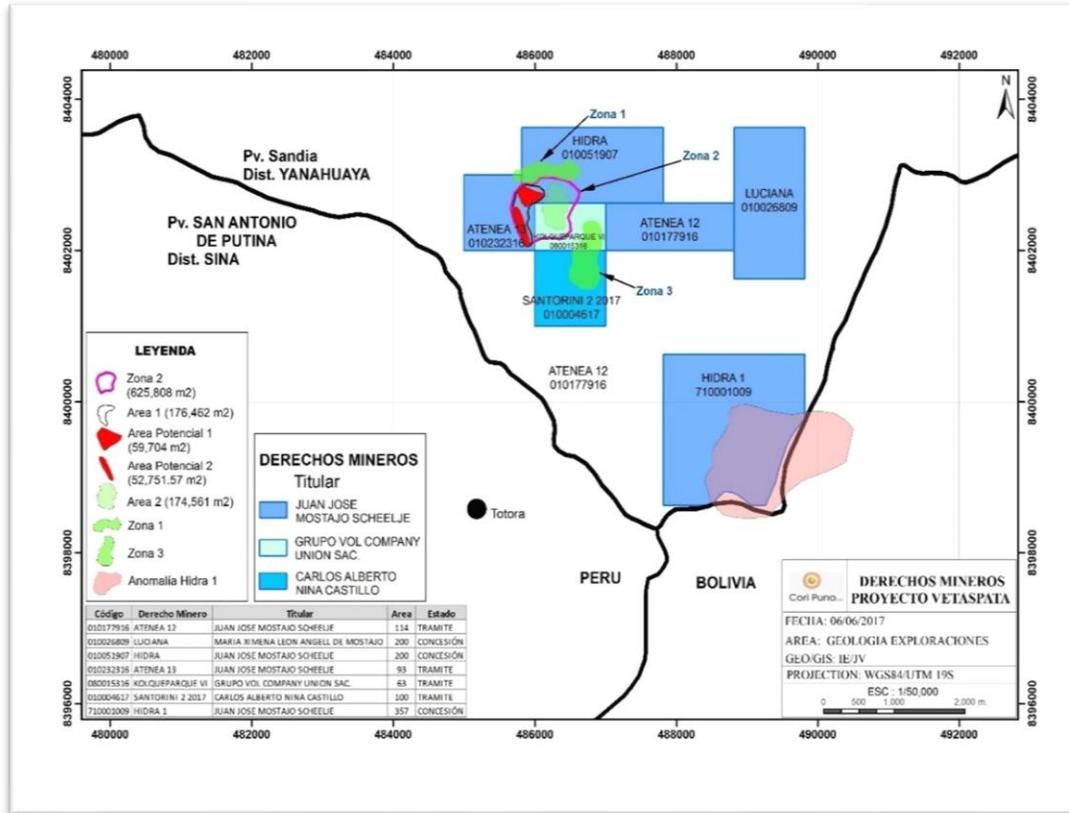


Figura 29. Plano de ubicación, mencionando los decretos mineros del Proyecto Betania

4.3. CLIMA Y METEOROLOGÍA

Para determinar los datos meteorológicos se tomó en cuenta la estación meteorológica Cuyo Cuyo, por ser la estación más cercana a la zona de estudio y por la similitud geográfica.

Estación	Cuyo - Cuyo
Latitud	14°29'20.1''
Longitud	69°32'56.4''
Altitud	3910 m.s.n.m.
Distrito	Cuyo Cuyo
Provincia	Sandia
Región	Puno

4.3.1. Clima

En el área de estudio, en general, la estación lluviosa es nublada, la estación seca es nublada en algunos lugares y hace un poco de frío todo el año. Durante el año, la temperatura suele oscilar entre los 4 °C y los 18 °C, rara vez baja de los 2 °C o sube de los 18 °C, ver Figura 15 y Figura 16. Clima templado cálido (Ceja Selva), no hay indicios de tierra cultivable de la zona.

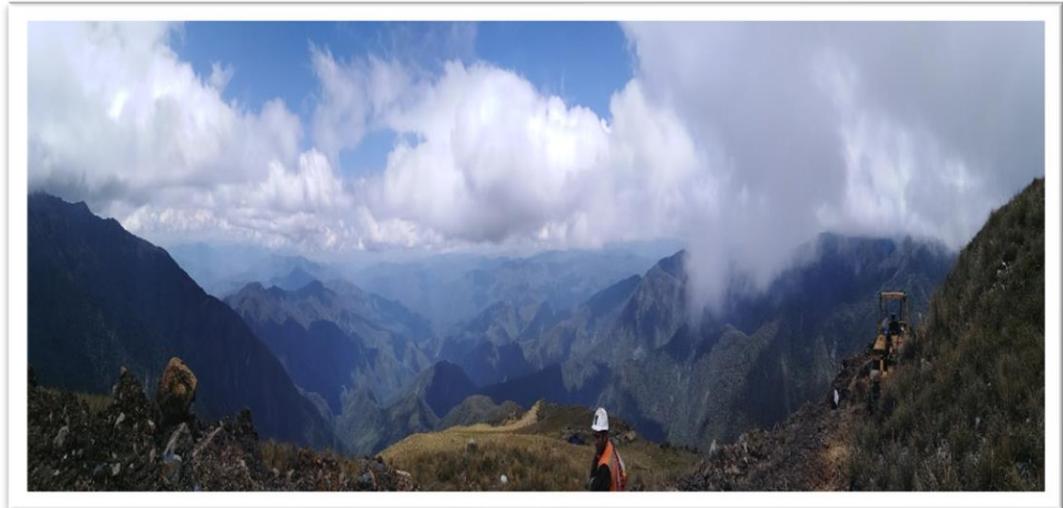


Figura 30. Vista panorámica de la parte Noreste del proyecto BETANIA.

Fuente: Elaboración propia

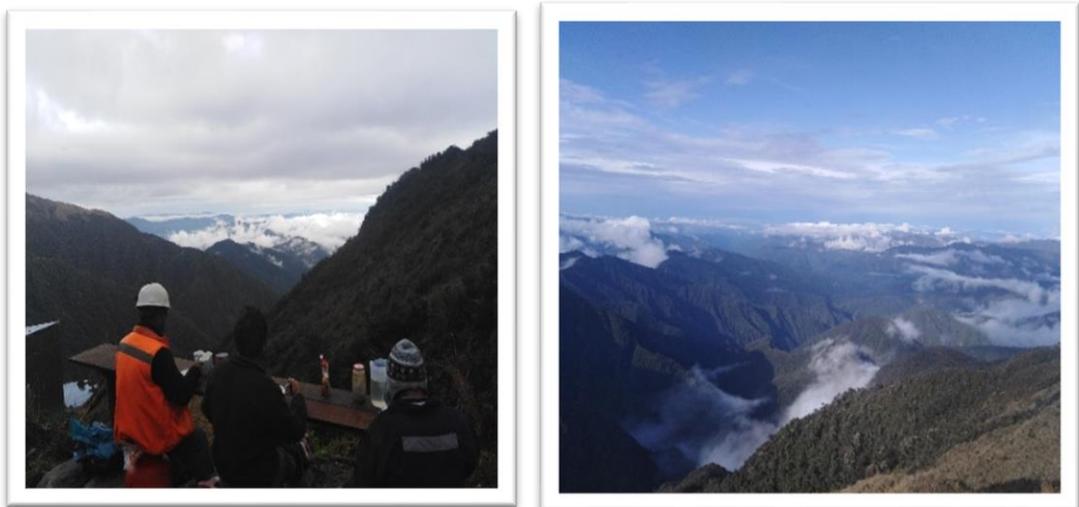


Figura 31. Clima típico de la zona de investigación, siempre con presencia de neblina.

Fuente: Elaboración propia



4.3.2. Vegetación y fauna

Debido a estar en la parte de ceja de selva alta, se observa variedad de especies, vegetales, sin embargo, en las partes altas de los cerros crece el Ichu (paja) y pastos naturales en las partes bajas, se observa algunos arbustos pequeños. En estas zonas bajas, las cuales son húmedas, crecen pastizales que constituyen al uso actual de los suelos tienen una satisfactoria.

En cuanto a la fauna, se puede apreciar algunas alpacas, vicuñas. En la parte baja se puede apreciar chinchilla.

4.3.3. Geología del yacimiento

El Proyecto Betania está ubicado en Vetaspata, la cual se encuentra en los Andes orientales de Perú, a pocos kilómetros de la frontera con Bolivia. La geología regional observada durante la caminata de Sina a Vetaspata comprende principalmente lutitas con hendiduras pizarrosas. También se producen grandes paquetes de Metarenisca. En general, la secuencia parece turbidítica. No se observaron fósiles, pero se reportan lutitas graptolíticas ordovícicas de Bolivia, en la continuación sur de los Andes orientales paleozoicos (Fornari & Hérail, 1991). No se observaron rocas ígneas o volcánicas. Toda la secuencia se ve afectada por importantes pliegues verticales con longitudes de onda que se pueden medir en kilómetros. Al SO de Sina, a lo largo del camino de acceso desde Juliaca, el estilo de plegado parece ser de estilo más recostado. Hay grandes extensiones de hendidura poco profunda.

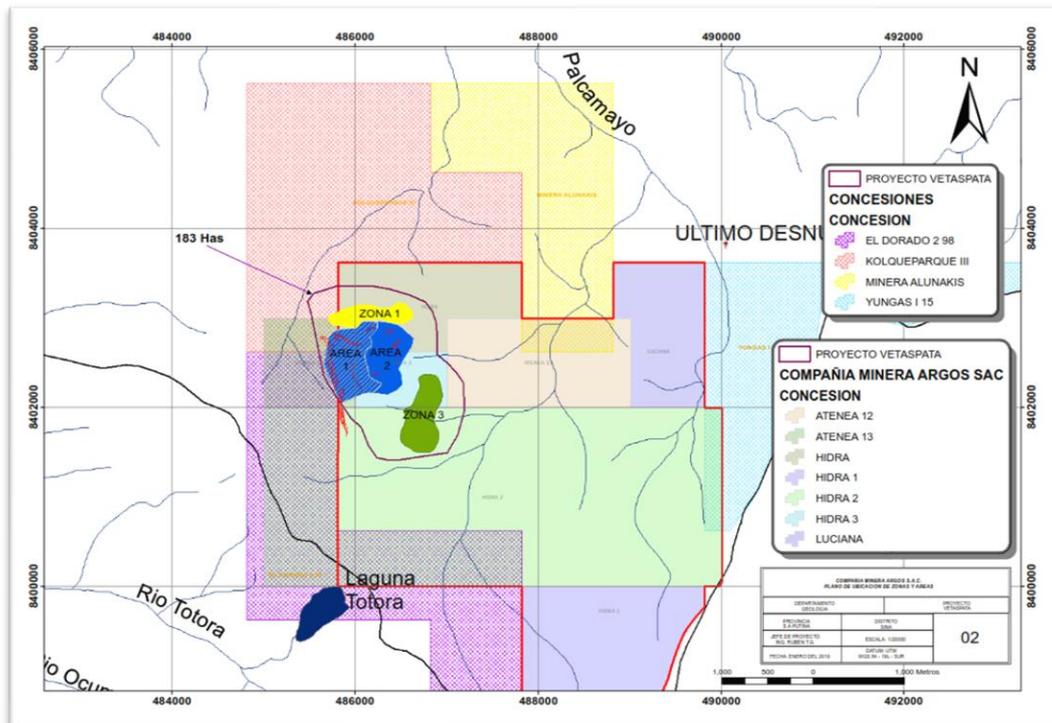


Figura 32. Plano de concesiones del proyecto indicando las Zonas de interés.

Fuente: Elaboración propia

Área 1: Las estructuras mineralizadas de los “mantos” 1, 2, 3 y 4, abarcan una longitud mayor a 500mts, cada uno, con tendencia hacia el NW a SW, entre 320° a 340° de azimut y entre 60° a 80° de buzamiento, con un ancho, que va desde 1.80m hasta 2.30 m, en superficie. Pero la zona de mineralización promete tener una mayor longitud. Los “mantos” se encuentran separados entre 25 metros a 40 metros en superficie, y los rellenos de mineral están constituidos por cuarzo lechoso y venillas de cuarzo gris, asociados a sulfuros de pirrotita y arsenopirita principalmente. Las cajas están compuestas por rocas Metarenisca - Lutita de la Formación Sandia Inferior, las cuales se encuentran fuertemente silificadas.

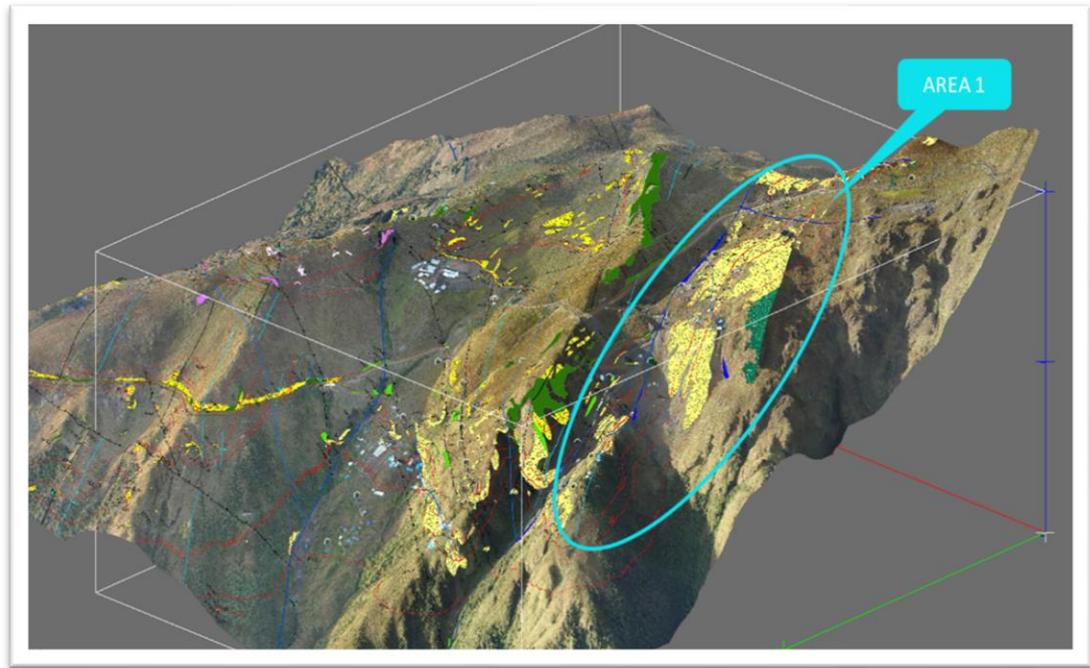


Figura 33. En la figura se puede apreciar el Área 1, el cual comprende los 4 mantos de estudio.

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. INTERPRETACION DE ESTRUCTURAS

5.1.1. Caracterización geología local

La geología local, donde se ubican los denuncios mineros del Proyecto BETANIA, consiste de dos series de secuencias de métasedimentos del Paleozoico inferior. La serie inferior consiste predominantemente de lutitas pizarrosa y la secuencia superior sobreyacente de cuarcitas e intercalaciones de pizarras. Que pertenecen a la formación Sandía del Ordovícico. Estas secuencias están metamorfizadas, fuertemente plegadas y falladas, como producto del intenso tectonismo y metamorfismo ocurrido en la región.

La mineralización en el Proyecto Betania está alojada en una secuencia muy gruesa (mayor 3-4 km) de lutitas y Metarenisca del Paleozoico (Ordovícico). Es estratiforme y está restringido a varios horizontes sedimentarios distintos (Mantos). Los mantos comprenden por estructuras de cuarzo lechoso, que van entre 0.6 metros a 2.30 metros. Las Metareniscas tienen una matriz rica en sulfuro de hierro.

5.1.2. Secciones delgadas

En vista de la importancia de realizar análisis microscópico de muestra de roca sobre secciones delgadas se envía 3 muestras al laboratorio GEOEXINSA, GEOEXPLOR INGENIEROS S.A.



5.1.2.1. Muestra N° 1: WP - 11

DESCRIPCION: La muestra corresponde a un fragmento de roca metamórfica, de textura granoblástica bandeada, la cual está integrada mayormente por granoblastos de cuarzo con tamaños hasta de 1,459 mm, este mineral corresponde a los esenciales; los minerales accesorios están integrados por el zircón y el apatito, los cuales mayormente se hallan incluidos en los granoblastos de cuarzo. Los minerales secundarios o de alteración están integrados por la clorita, fibrolita y limonita. Los minerales opacos están incluidos en algunos granoblastos de cuarzo y también se hallan dispersados dentro del agregado de clorita y fibrolita, a las cuales, posiblemente, las ha reemplazado.

MINERALES PRINCIPALES

MINERAL ESENCIAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
Cuarzo	64	Anhedral	< 1,459	<ul style="list-style-type: none"> • Están como agregados granoblásticos. • Cuando están en contacto directo los granoblastos muestran bordes intersuturados. • Algunos granoblastos aún conservan las formas redondeadas del protolito del cual se originó. • Hay granoblastos de cuarzo que además de presentar inclusiones de zircón, apatito y fibrolita, exhiben inclusiones fluidas, en algunos casos muy próximos a los contactos entre granoblastos y del mismo modo presentan inclusiones de minerales opacos.
MINERAL ACCESORIO	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION



Zircón	Trz	Euhedral a anhedral	< 0,165	<ul style="list-style-type: none"> • Están incluidos en algunos granoblastos de cuarzo. • Algunos granos presentan bordes redondeados, en este caso están dentro de las áreas ocupadas por la clorita.
Apatito	Trz	Euhedral a anhedral	< 0,066	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentran incluidos en algunos granoblastos de cuarzo. • Hay también cristales que están dentro de las cloritas.

MINERALES SECUNDARIOS O DE ALTERACION

Representa el 35% del volumen total de la muestra, correspondiendo a la cloritización y anfibolitización el tipo de alteración que presenta la roca.

ALTERACION HIDROTHERMAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
Clorita	20	Anhedral	<	<ul style="list-style-type: none"> • Están como el producto de la alteración de las arcillas que integran la matriz que engloba a los granoblastos de cuarzo. • En algunas zonas de la muestra están como playas irregulares distribuidas a modo de nebulosas algo espiraladas.
Fibrolita	15	Subhedral	< 0,376	<ul style="list-style-type: none"> • Están como agregados asbestiformes con disposición radial. • En algunas áreas se muestran concentrados, pero siguiendo el alineamiento de las microfracturas y de los contactos intergranoblastos, a lo largo de los cuales se han desarrollado. • La mayoría de los cristales se han incrustado en los granoblastos de cuarzo en forma de penachos de plumas.
ALTERACION SUPERGENA	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
Limonita	Trz	Anhedral	< 0,165	<ul style="list-style-type: none"> • Es el producto de la alteración de algunos minerales opacos. • Se halla muy dispersada, mayormente asociada a la clorita.



MINERALES OPACOS

Opacos	1	Anhedral	< 0,188	<ul style="list-style-type: none">• Se encuentran muy dispersados.• Han reemplazado a algunas cloritas y fibrolitas.• Hay cristales que están incluidos en algunos granoblastos de cuarzo.
--------	---	----------	---------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

TEXTURAS

Granoblástica bandeada.

ALTERACIONES

Cloritización y anfibolitización.

CLASIFICACION

Esquisto de cuarcita.

OBSERVACIONES

La muestra presenta venillas de cuarzo, las cuales están dispuestas en forma lenticular.

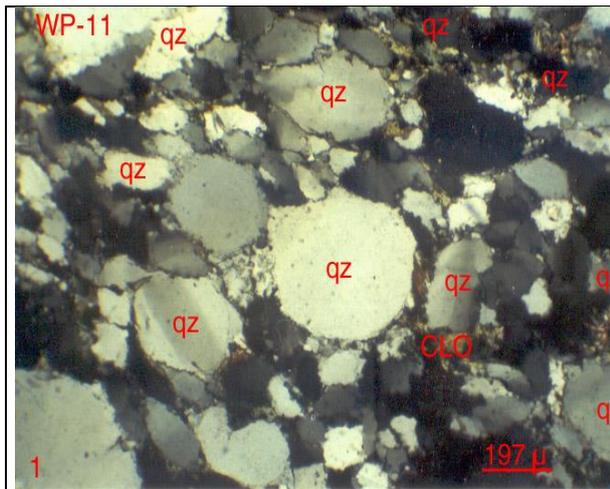


Foto. 1. Agregados granoblásticos de cuarzo (qz) donde se observan a algunos de ellos aún con las formas redondeadas, indicando el protolito de donde derivaron, en los intersticios se observan a la clorita (CLO) y a la fibrolita (fb), ésta con hábito asbestiforme. Muestra: WP – 11. 40X.

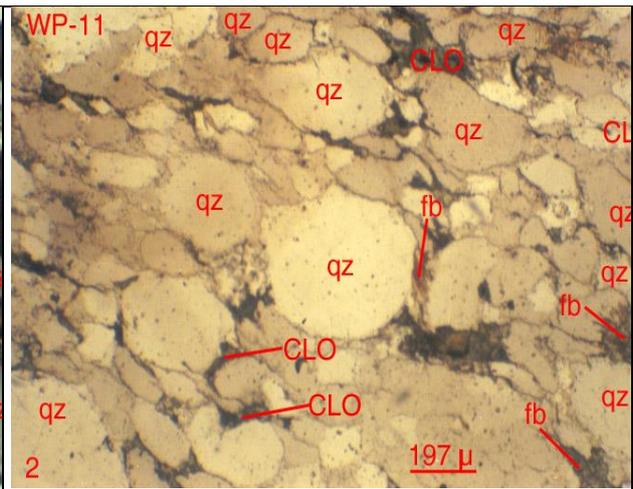


Foto. 2. La misma vista de la anterior, en nicols paralelos, donde se pueden apreciar a la clorita (CLO) y a la fibrolita (fb) ubicados en los intersticios de los granoblastos de cuarzo (qz). Muestra: WP – 11. 40X.

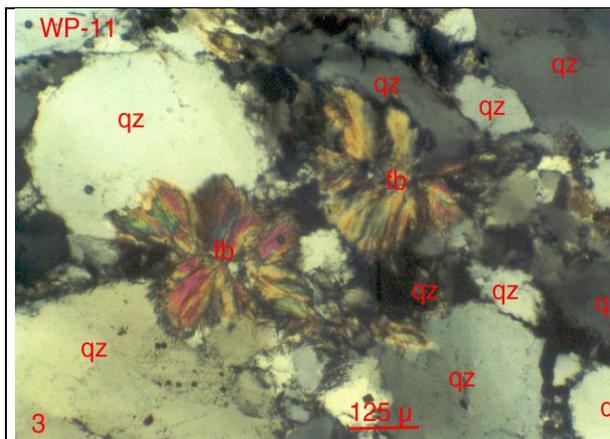


Foto. 3. Cristales asbestiformes de fibrolita (fb) ubicados en los intersticios de los granoblastos de cuarzo (qz), están asociados a la clorita (CLO). Muestra: WP – 11. 63X.

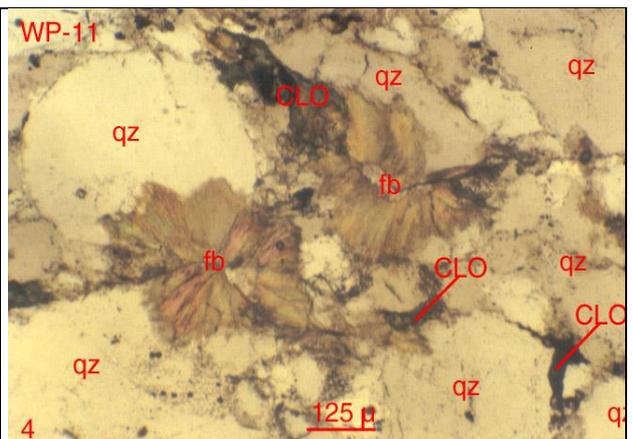


Foto. 4. La misma vista de la anterior, en nicols paralelos, enfatizándose la presencia de la fibrolita (fb) con hábito asbestiforme y disposición radial. Muestra: WP – 11. 63X.

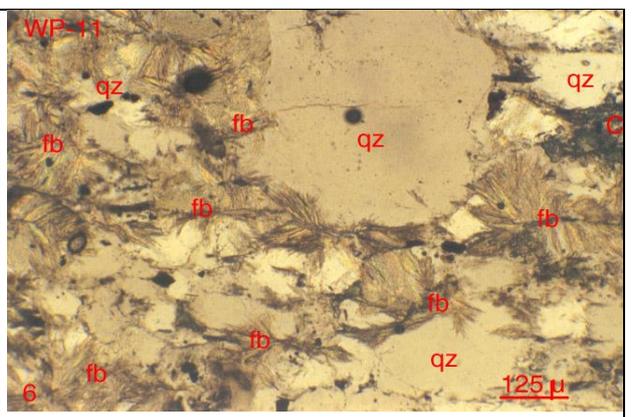
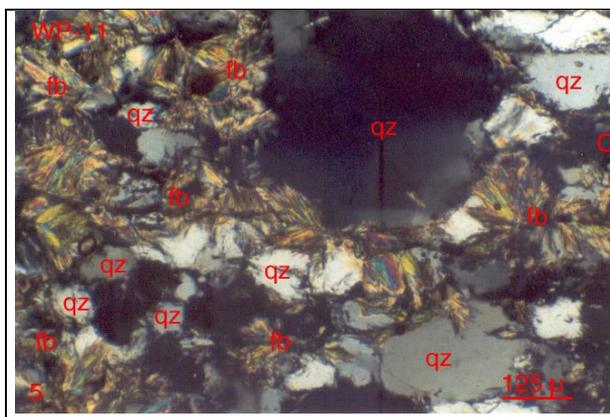


Foto. 5. Agregados asbestiformes de fibrolita (fb) asociada a la clorita (CLO) están rodeando a los granoblastos de cuarzo (qz). Muestra: WP – 11. 63X.

Foto. 6. La misma vista de la anterior, en nicoles paralelos, mostrando el desplazamiento de la fibrolita (fb) asbestiforme, la cual en algunas áreas están asociadas a la clorita (CLO). Muestra: WP – 11. 63X.

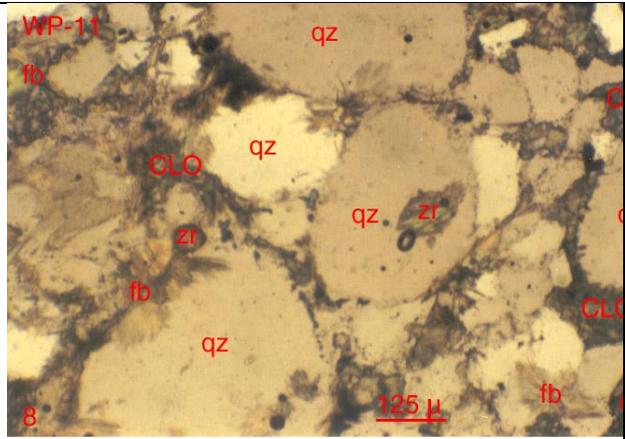
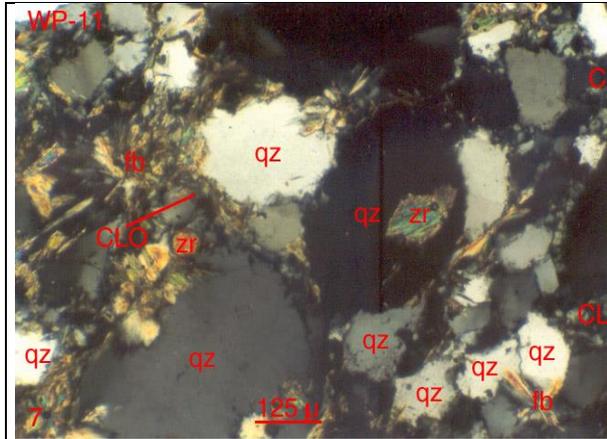


Foto. 7. Cristales de zircón (zr) incluido en el granoblasto del cuarzo (qz) y dentro de la clorita (CLO) que rodea a los granoblastos de cuarzo (qz). Nótese también a la fibrolita (fb) asbestiforme asociada a la clorita (CLO). Muestra: WP-11. 63X.

Foto. 8. La misma vista de la anterior, en nicoles paralelos, mostrando las inclusiones del zircón en el granoblasto de cuarzo (qz) y dentro de la clorita (CLO) intersticial que está asociada a la fibrolita (fb) asbestiforme. Muestra: WP – 11. 63X.

5.1.2.2. Muestra N° 2: WP – 11A

DESCRIPCION: La muestra corresponde a un fragmento de roca metamórfica, de textura foliada, la cual está constituida por el agregado de granoblastos de cuarzo con tamaños hasta de 0,214 mm, los cuales están englobados por el agregado microtabular de muscovita, clorita y biotita; se observan también la presencia de zircón, turmalina y material carbonoso, los cuales están muy dispersados. En cuanto a los minerales opacos, éstos se hallan incluidos en algunos granoblastos de cuarzo y dentro de la zona cloritizada.

MINERALES PRINCIPALES

MINERAL ESENCIAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
------------------	---	-------	-------------	-------------



Cuarzo	44	Anhedral	< 0,214	<ul style="list-style-type: none"> • Están como agregados granoblásticos, los cuales zonalmente se hallan algo aglomerados con cierta tendencia a la lenticularidad y orientados con respecto a la foliación que presenta la roca. • Algunos granoblastos están algo alargados con la orientación paralelas a la foliación que presenta la roca. • Cuando están en contacto los granoblastos de cuarzo presentan intersuturación.
Muscovita	25	Subhedral a anhedral	< 0,346	<ul style="list-style-type: none"> • Están como agregados tabulares, los cuales se hallan como parte englobante de los granoblastos de cuarzo. • La mayoría de ellas están flexionadas condicionadas a la orientación de la foliación que presenta la roca.
MINERAL ACCESORIO	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
Biotita	1	Anhedral	< 0,206	<ul style="list-style-type: none"> • Se hallan como remanentes esqueléticos después de haberse alterado a clorita, motivo por la cual están asociadas a éstas.
Zircón	Trz	Anhedral	< 0,099	<ul style="list-style-type: none"> • Se halla incluido en algunos granoblastos de cuarzo. • Algunos cristales están distribuidos dentro del agregado microtabular de las micas.
Turmalina	Trz	Anhedral	< 0,124	<ul style="list-style-type: none"> • Están muy dispersados entre los granoblastos de cuarzo. • Presentan bordes redondeados.

MINERALES SECUNDARIOS O DE ALTERACION



Representa el 30% del volumen total de la muestra, correspondiendo a la fuerte cloritización el tipo de alteración que ha afectado a la roca.

ALTERACION HIDROTHERMAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
Clorita	30	Anhedral	< 0,906	<ul style="list-style-type: none"> • Se hallan como agregado tabulares. • Algunas se muestran como pseudomicrofenocristales, de los cuales, algunos presentan signos de haber sufrido cierta rotación. • Algunas están asociadas a la muscovita. • Es parte integrante de la matriz que engloba a los granoblastos de cuarzo.
Material carbonoso	Trz	Criptocristalino	Criptocristalino	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentra con hábito pulverulento asociado a las microbandas de clorita y muscovita. • Sui distribución es muy dispersa.
ALTERACION SUPERGENA	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION

MINERALES OPACOS

Opacos	Trz	Anhedral	< 0,041	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentran diseminados en las áreas cloritizadas. • Algunos cristales están incluidos en los granoblastos de cuarzo.
--------	-----	----------	---------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

TEXTURAS

Granoblástica foliada.

ALTERACIONES

Fuerte cloritización

CLASIFICACION

Esquisto de cuarzo y muscovita cloritizada.

OBSERVACIONES

El protolito original, posiblemente haya la arenisca, deduciéndose esto porque aún hay zonas donde se aprecian granoblastos de cuarzo con ciertas formas redondeadas.

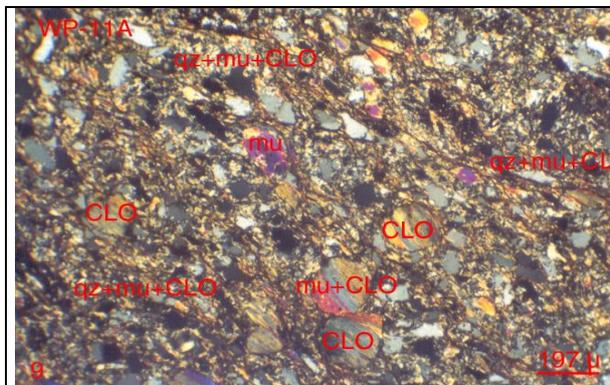


Foto. 9. Agregados granoblásticos de cuarzo, muscovita y clorita (qz+mu+CLO) con tendencia orientada siguiendo el paralelismo de la foliación que presenta la roca. Muestra: WP-11A. 40X.

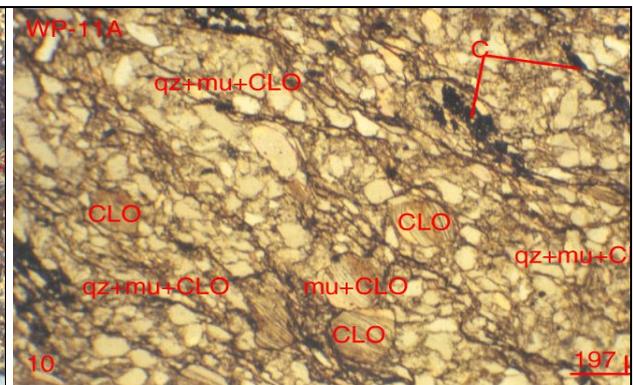


Foto. 10. La misma vista de la anterior, en nicoles paralelos, enfatizándose la tendencia orientada de los granoblastos de cuarzo, muscovita y clorita (qz+mu+CLO), también la ubicación del material carbonoso (C). Muestra: WP- 11A. 40X.

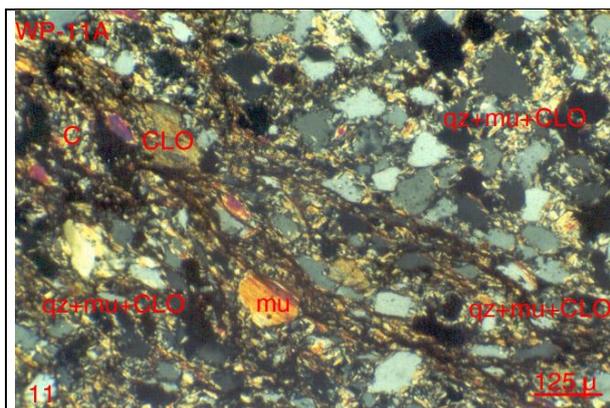


Foto. 11. Agregados granoblásticos de cuarzo, muscovita y clorita (qz+mu+CLO), mostrando en algunas áreas mayor despliegue de la clorita (CLO). Muestra: WP – 11A. 63X.

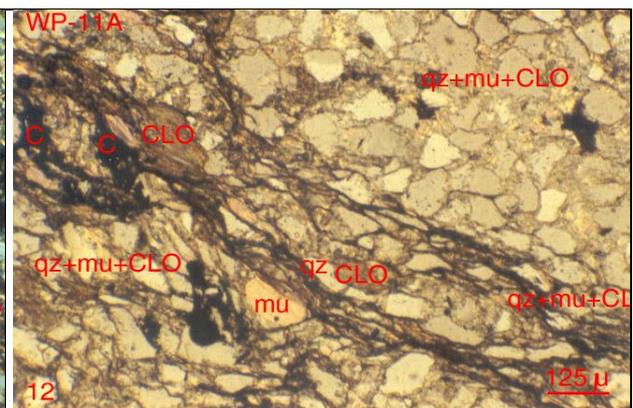


Foto. 12. La misma vista de la anterior, en nicoles paralelos, donde se enfatiza el mayor despliegue de la clorita (CLO) en ciertas zonas y también la presencia del material carbonoso (C). Muestra: WP – 11A. 63X.

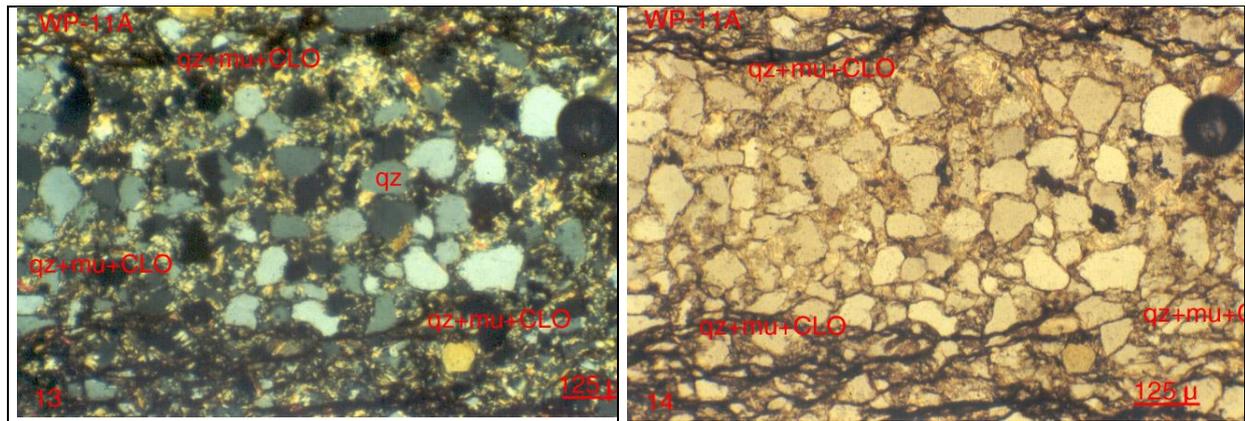


Foto. 13. Agregados granoblásticos de cuarzo (qz), algunos de los cuales conservan las formas algo redondeadas del protolito del cual proceden, están envueltos por la asociación de muscovita y clorita. (qz+mu+CLO). Muestra: WP – 11A. 63X.

Foto. 14. La misma vista de la anterior, en nicoles paralelos, donde se observan las formas algo redondeadas de algunos granoblastos de cuarzo (qz), denotando el posible protolito del cual proceden., se observa también al agregado de muscovita (mu) y clorita (CLO) que envuelven a los granoblastos de cuarzo (qz). Muestra: WP – 11A. 63X.

5.2.2.3. Muestra N° 3: WP – 8B

DESCRIPCION: La muestra corresponde a un fragmento de roca metamórfica, de textura granoblástica, la cual se halla integrada por el agregado de granoblastos de cuarzo con tamaños hasta de 2,471 mm, en cuyos intersticios se encuentran ubicados el agregado microtabular de clorita, algunas veces con cierta continuidad de desplegamiento. Reemplazando a las cloritas se observan a los minerales opacos. El zircón se halla muy disperso y está ubicado entre los agregados de clorita e incluidos en algunos granoblastos de cuarzo.

MINERALES PRINCIPALES

MINERAL ESENCIAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
Cuarzo	70	Anhedral	< 2,471	• Están como agregados granoblásticos intensamente intersuturados.



				<ul style="list-style-type: none"> • Algunos granoblastos presentan bordes algo redondeados. • Hay granoblastos que presentan microbandas como respuesta a los esfuerzos que han sufrido. • En algunas áreas se aprecian la recristalización a partir de los bordes de los granoblastos de cuarzo. • Algunos granoblastos presentan bordes de redeposición originado por la solución-presión.
MINERAL ACCESORIO	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
Zircón	Tr z	Euhedral a anhedral	< 0,188	<ul style="list-style-type: none"> • Están ubicados en las zonas cloritizadas. • Su distribución es muy dispersa. • Algunos cristales están incluidos en los granoblastos de cuarzo.

MINERALES SECUNDARIOS O DE ALTERACION

Representa el 15% del volumen total de la muestra, correspondiendo a la moderada alteración clorítica que ha afectado a la roca.

ALTERACION HIDROTHERMAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
Clorita	15	Anhedral	< 0,231	<ul style="list-style-type: none"> • Como agregados tabulares están ubicados entre los intersticios de los granoblastos de cuarzo. • En algunas zonas presentan cierta continuidad, de este modo aparenta ser una microbanda.
Turmalina	Trz	Anhedral	< 0,247	<ul style="list-style-type: none"> • Está asociada a la clorita. • Su distribución es muy esporádica. • Presenta deformación mecánica, debido a que muestra cierto signo rotacional.



ALTERACION SUPERGENA	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	DESCRIPCION
----------------------	---	-------	-------------	-------------

MINERALES OPACOS

Opacos	15	Anhedral	< 1,177	<ul style="list-style-type: none">• Han reemplazado a las cloritas, por este motivo se encuentran dentro de los intersticios de los granoblastos de cuarzo.• Hay zonas donde muestran cierta continuidad.
--------	----	----------	---------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

TEXTURAS

Granoblástica.

ALTERACIONES

Fuerte cloritización.

CLASIFICACION

Esquisto de cuarcita.

OBSERVACIONES

Macroscópicamente la muestra presenta venilla de cuarzo, en donde se aprecia cierta deformación rotacional.

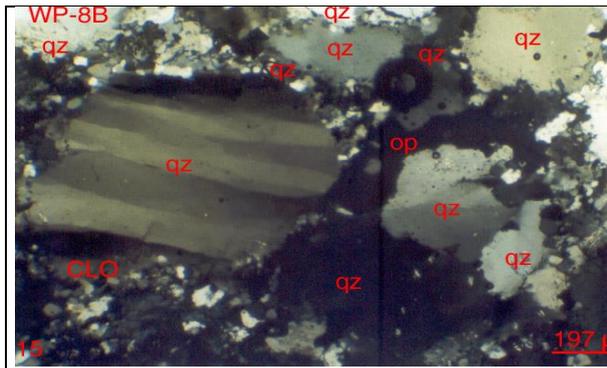


Foto. 15. A la izquierda el granoblasto de cuarzo (q) mostrando bandas de deformación mecánica, mientras que los otros muestran bordes de recristalización asociados a la clorita (CLO) y a los minerales opacos (op). Muestra: WP – 8B. 40X.

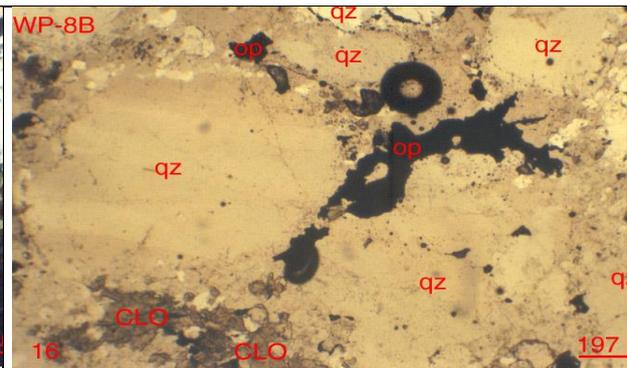


Foto. 16. La misma vista de la anterior, en nicoles paralelos, donde se aprecian a la clorita (CLO) parcialmente reemplazada por los minerales opacos (op) dentro de los intersticios de los granoblastos de cuarzo (qz). Muestra: WP – 8B. 40X.

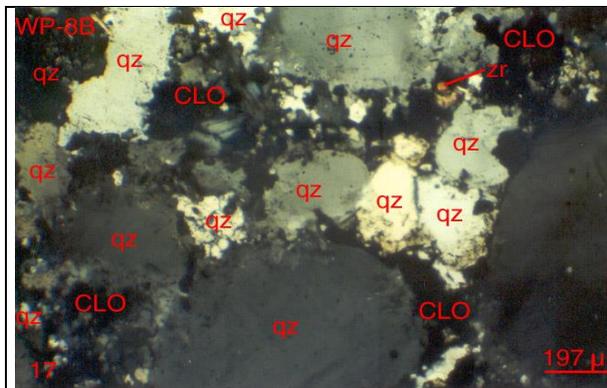


Foto. 17. Granoblastos de cuarzo (qz) mostrando bordes de recristalización, en cuyos intersticios se hallan ubicadas la clorita (CLO) y un cristal de zircon (zr). Muestra: WP – 8B. 40X.

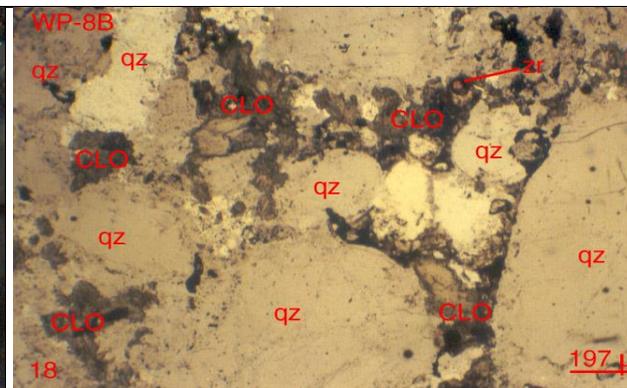


Foto. 18. La misma vista de la anterior, en nicoles paralelos, donde se aprecian a la clorita (CLO) ubicada en los intersticios de los granoblastos de cuarzo (qz) los cuales muestran bordes de recristalización: Muestra: WP – 8B. 40X.

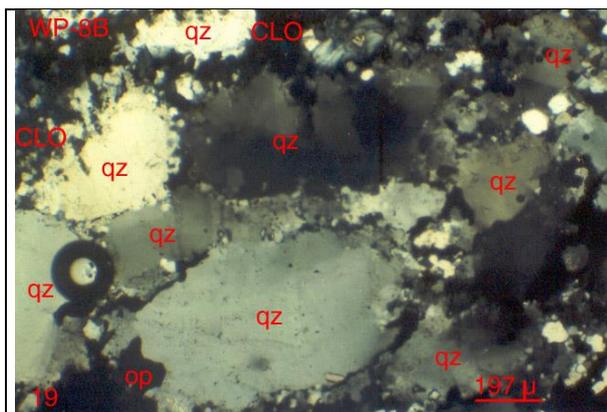


Foto. 19. Granoblastos de cuarzo (qz) mostrando bordes de recristalización, en cuyos intersticios se encuentran ubicadas las cloritas (CLO) parcialmente reemplazadas por los minerales opacos (op). Muestra: WP – 8B. 40X.

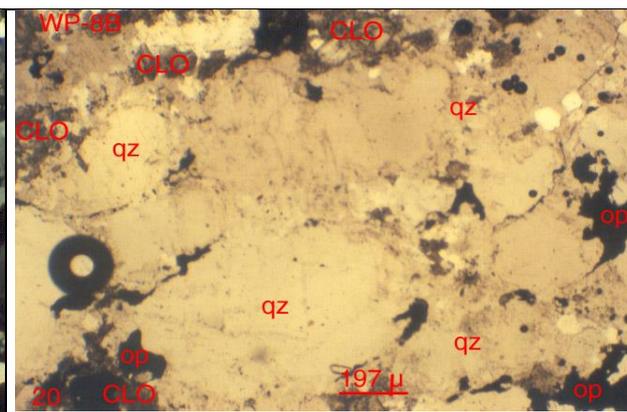


Foto. 20. La misma vista de la anterior, en nicoles paralelos, mostrando a los minerales opacos (op) después de haber reemplazado a la clorita (CLO) dentro de los intersticios de los granoblastos de cuarzo (qz). Muestra: WP – 8B. 40X.

Figura 34. Las fotos del 1 al 20 muestran la vista en el microscopio de las secciones

delgadas WP – 11, WP – 12, WP – 8B. (Gagliuffi – 2019)



5.1.3. Clasificación del yacimiento

Las rocas predominantes en el proyecto Betania son las Metareniscas, lutitas con hendiduras pizarrosas. También se observan paquetes de arenisca. En general, la secuencia parece turbidítica. No se observaron fósiles, pero se reportan lutitas graptolíticas ordovícicas, en la continuación sur de los Andes orientales paleozoicos (Fornari & Hérail, 1991). No se observaron rocas ígneas o volcánicas. Toda la secuencia se ve afectada por importantes pliegues verticales con longitudes de onda que se pueden medir en kilómetros. Al SO de Sina, el estilo de plegado parece ser de estilo más recostado. Hay grandes extensiones de hendidura poco profunda.

La mineralización en el Proyecto Betania está alojada en una secuencia de Metarenisca y lutitas del Ordovícico. Es estratiforme y está restringido a varias estructuras mineralizadas ('mantos'). Los mantos comprenden estructuras de cuarzo gris, las cuales tienen una potencia de 0.60m a 2.20m, en el cual se puede observar oro nativo en tramos. Esto se debe a que es un yacimiento estratiforme u Orogénico.

Las Metarenisca tienen una matriz rica en sulfuro de hierro. Los empujes y los pliegues reclinados afectan la secuencia.

Las secuencias dominadas por lutitas en el Proyecto Betania, comprenden tres tipos:

1) areniscas y lutitas bioturbadas intercaladas delgadamente con un clivaje plano bien



definido (Figura 36, WP 5). Estos son el tipo dominante y se depositaron en condiciones oxidantes (aunque la falta de excavaciones profundas puede indicar condiciones reductoras a corta distancia debajo del lecho marino).

2) lutitas negras ricas en materia orgánica sin bioturbación, depositadas en condiciones reductoras.

3) lutitas limosas masivas, pobremente estratificadas. Estos últimos tienen una hendidura pobre, anastomosada y pequeñas escamas comunes de clorita/moscovita.

5.2. VALOR ECONÓMICO DEL PROYECTO

5.2.1. Geología económica

En el Área 1 se presentan 4 mantos reconocidos, los trabajos de mapeo y muestreo (superficial) se desarrollan en los 4 mantos, siendo el más rentable el manto 3, que tiene una potencia entre 0.60 metros a 2.30 metros en superficie, con una longitud aproximada de 600 metros, actualmente se encuentran explotando por mineros informales de la comunidad (30 personas), en un área donado por la empresa (hacia el NW del proyecto Betania), en promedio extraen 2 a 5 toneladas al día, la recuperación es por amalgamación.

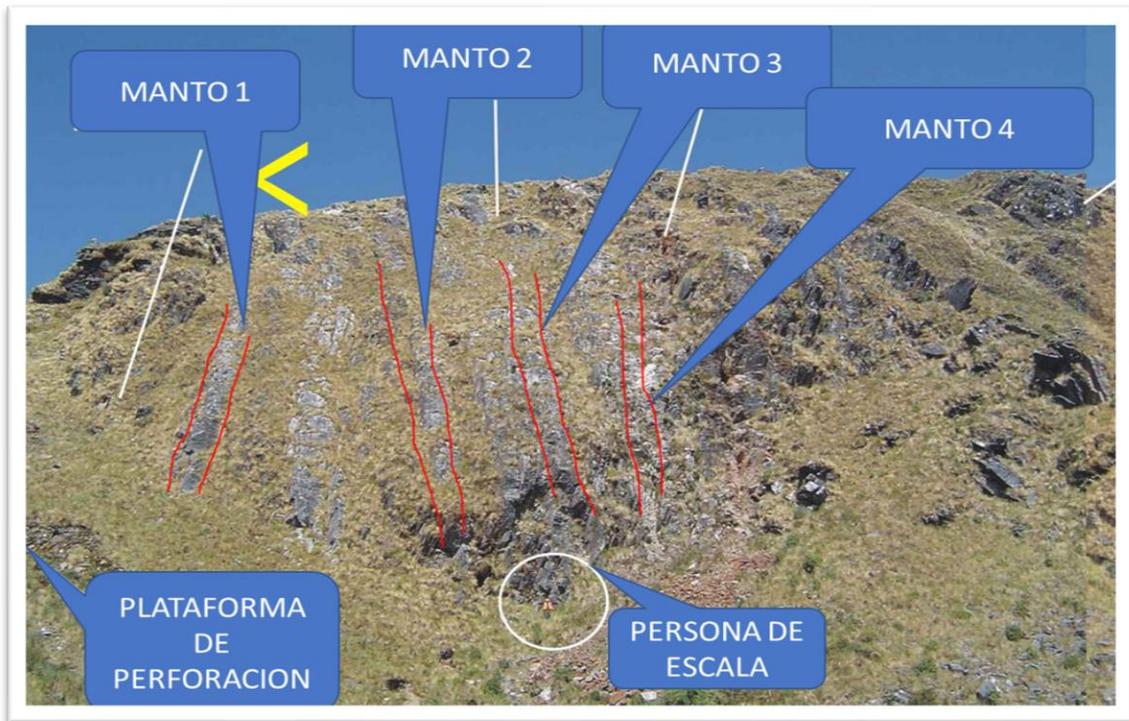


Figura 35. Se observa en afloramiento los 4 mantos definido (Elaboración propia).

5.2.1.1. Mineralogía

De acuerdo a lo observado en de los mantos ricos en cuarzo y metareniscas no mineralizadas, al parecer estuvo básicamente inerte durante la diagénesis. Dado que el manto no contiene feldespatos, no podría proporcionar material para el crecimiento de illita o illita-esmectita durante la diagénesis. Solo hubo una cementación limitada por sobrecrecimientos de cuarzo. No había carbonatos disponibles en las inmediaciones para proporcionar cemento carbonatado. Por lo tanto, la metarenisca desarrolló un marco rígido que resistió la compactación y el sellado. Por lo tanto, proporcionó un horizonte magníficamente permeable y poroso para fluidos dentro de una secuencia que era en gran parte impermeable y tenía una porosidad muy baja. De igual manera se puede observar la presencia de



Pirita (Py), Pirrotita (Po), calcopirita (Chl) y en algunos tramos se puede observar oro (Au) libre.

5.2.1.2. Geología local

El paquete principal es de Metarenisca que alberga los mantos en el proyecto Betania, comprende de una Metarenisca muy limpias y bien clasificadas con solo unas pocas circonitas y granos de magnetita detríticos (Williams, 1999). Sin embargo, la estratificación cruzada a gran escala (superficies de acreción lateral, bosques delta) está completamente ausente. Los lechos son tabulares y continuos en lugar de canalizados y lenticulares. No hay carbones, tierra de mar o depósitos overbank. (Warrent Pratt, 2019).

El conjunto rico en cuarzo de los mantos y Metarenisca no mineralizadas estuvo básicamente inerte durante la diagénesis. Dado que el manto no contiene feldespato, no podría proporcionar material para el crecimiento de illita o illita-esmectita durante la diagénesis. Solo hubo una cementación limitada por sobrecrecimientos de cuarzo. No había carbonatos disponibles en las inmediaciones para proporcionar cemento carbonatado. Por lo tanto, la arenisca desarrolló un marco rígido que resistió la compactación y el sellado. Por lo tanto, proporcionó un horizonte magníficamente permeable y poroso para fluidos dentro de una secuencia que era en gran parte impermeable y tenía una porosidad muy baja. El origen de los sulfuros de hierro y clorito se discute más adelante. Las lutitas limosas masivas pueden ser el producto de flujos de escombros.

La presencia de clorita y sulfuros de hierro como la pirita, en cantidades aproximadamente iguales, llenan la porosidad. Localmente los

granos de cuarzo tienen un aspecto corroído y son reemplazados por clorita. Está muy claro que la proporción de pirita (llamada 'fofa' por los mineros informales) refleja la clasificación y el tamaño de grano de la metarenisca. Tienen un contenido reducido de pirita/clorita y los mineros las denominan 'vidrioso'. La distribución de estas Metarenisca – Cuarzitas, las cuales están cementadas con cuarzo parece completamente impredecible dentro de los mantos.

Las secuencias dominadas por lutitas en el Proyecto Betania comprenden tres tipos:

- 1) Metarenisca y lutitas bioturbadas intercaladas delgadamente con un clivaje plano bien definido (Figura 36). Estos son el tipo dominante y se depositaron en condiciones oxidantes (aunque la falta de excavaciones profundas puede indicar condiciones reductoras a corta distancia debajo del lecho marino). (Warren T Pratt, 2019).

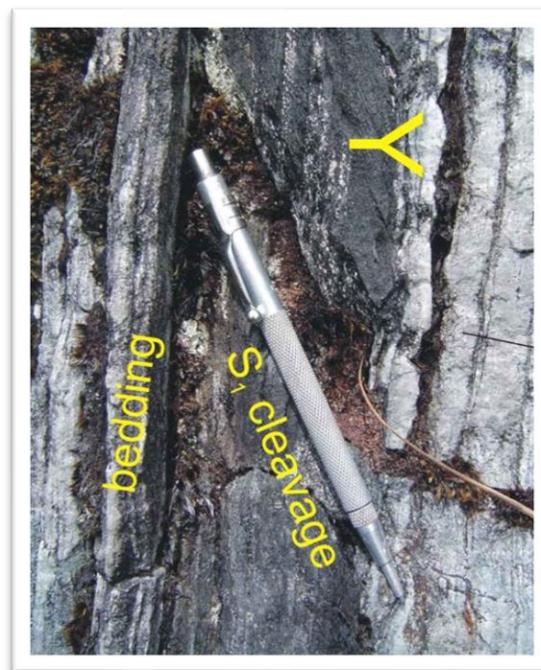


Figura 36. Se puede apreciar la intercalación de Metarenisca con bandas de lutitas. (Warren T Pratt, 2019).

2) lutitas negras ricas en materia orgánica sin bioturbación, depositadas en condiciones reductoras 3) lutitas limosas masivas, pobremente estratificadas. Estos últimos tienen una hendidura pobre, anastomosada y pequeñas escamas comunes de clorita - moscovita. Estas micas son probablemente 'pilas' de cloritemuscovita, una característica común de las lutitas paleozoicas y que se cree que se deben a la alteración diagenética de la biotita detrítica. Este tipo forma horizontes marcadores muy útiles y muy obvio en la perforación de núcleos. Un paquete de esta lutita maciza, de 2 a 3 m de espesor, incluye grandes nódulos diagenéticos silíceos de hasta 0,4 m de diámetro (Figura 37, WP 12).



Figura 37. En la imagen se puede apreciar nódulos de sílice dentro de la lutita. (Warren T Pratt, 2019).

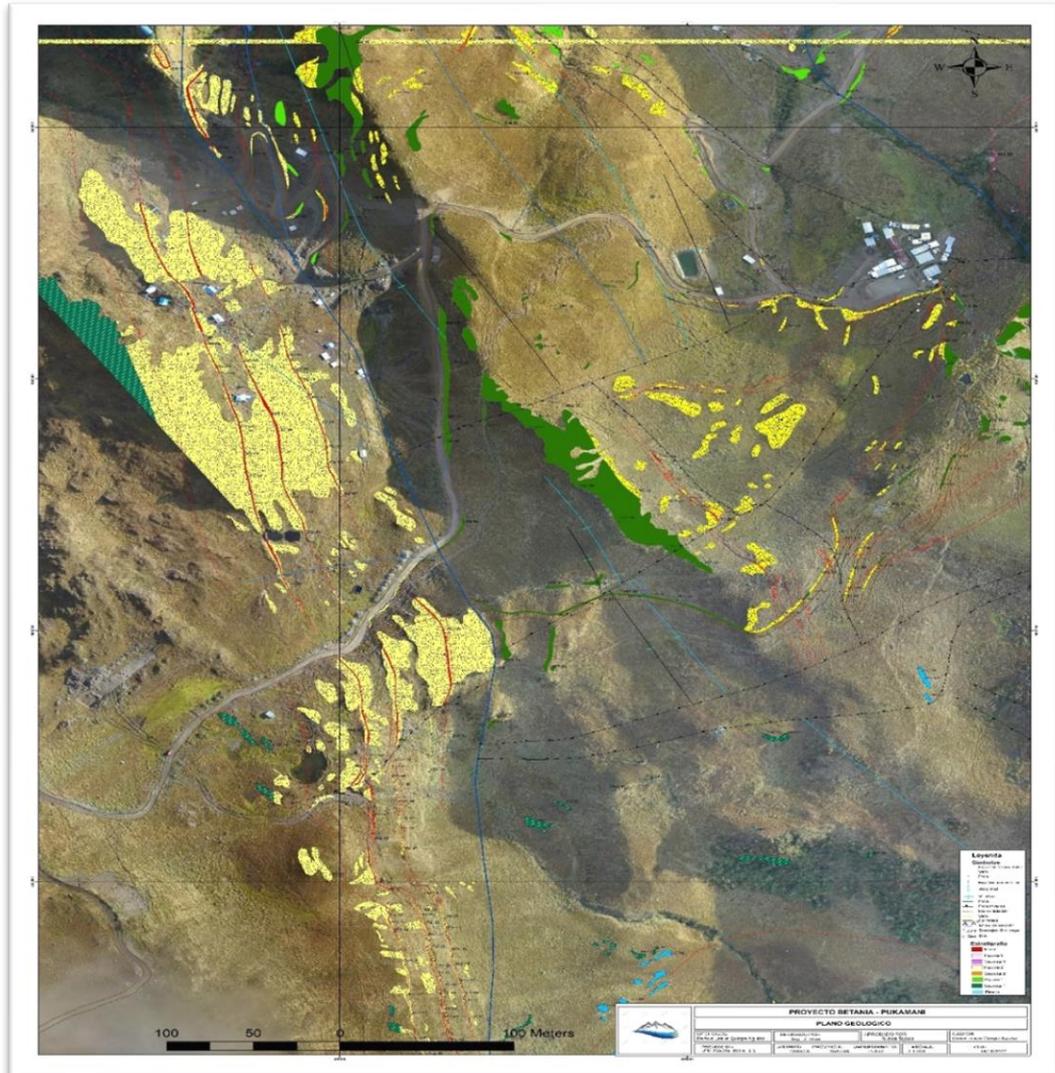


Figura 38. Plano geológico del Proyecto Betania (área 1). (Minera Pukamani).

5.2.2. Valor económico de los mantos mineralizados

El oro es el único mineral de interés económico y está asociado con pirita, pirrotita, arsenopirita y estibina. La pirita es más abundante y generalmente se presenta en diseminados. Las estructuras de cuarzo son raras y no necesariamente garantizan la presencia de oro en el momento actual, aunque las concentraciones más altas de oro encontradas hasta la fecha se encuentran en las estructuras de cuarzo gris.

En el proyecto se pudieron encontrar 4 estructuras de cuarzo gris, las cuales se encuentran mineralizadas (figura 41). Existe mineralización de cuarzo blanco a gris con presencia de óxidos de hierro. La cual tiene una textura vítrea y sólida. Las cuales tiene un azimut predominante de 172° y un buzamiento de 75° y otra de un azimut de 342° con un buzamiento de 80° . Con longitudes que llegan hasta los 600 metros y tienen una potencia que varía entre 0.6 metros a 2.30 metros.

Posible mineral de hierro oolítico se encuentra arriba del Manto 2. Este lecho tiene un espesor de 0,3 m y se encuentra 1.40 metros por encima del Manto 2. También se presenta en socavones dentro del Manto 2 (Figura 40, WP 15). Comprende lutitas limosas y micáceas macizas mal fragmentadas con esferas mal definidas y deformadas de 0,5 a 2 mm de diámetro (figura 39, WP 11).



Figura 39. En la imagen se puede apreciar limonitas con pequeñas esferas mal definidas. (Warren T Pratt, 2019).

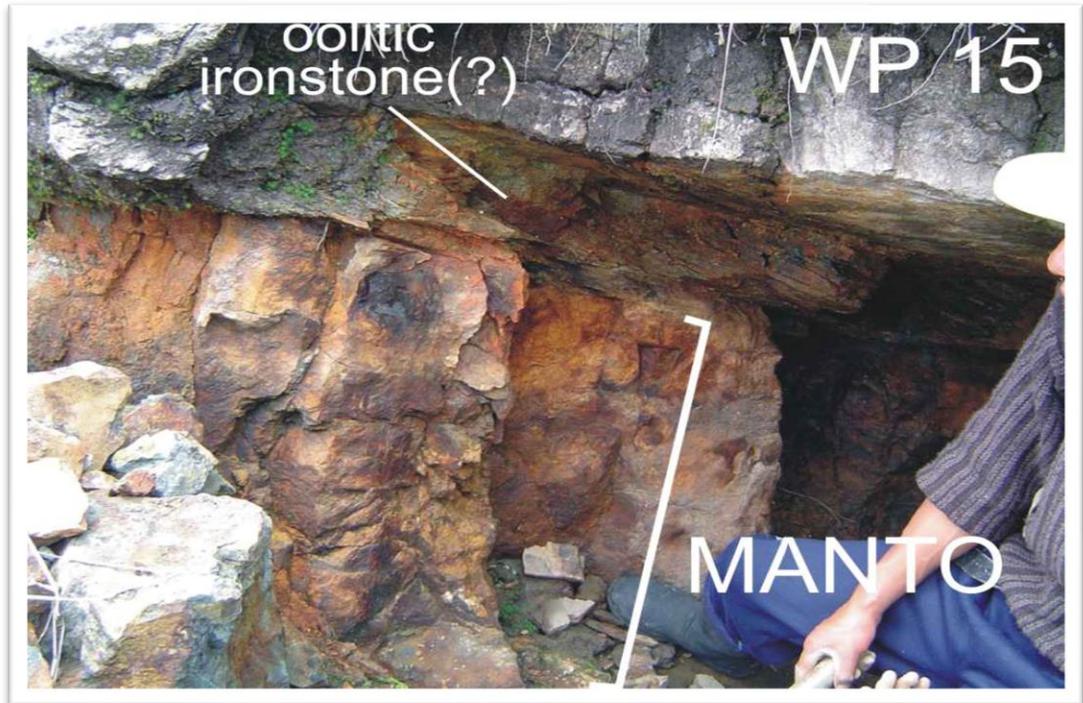


Figura 40. Se pueden apreciar socavones dentro del manto. (Warren T Pratt, 2019).

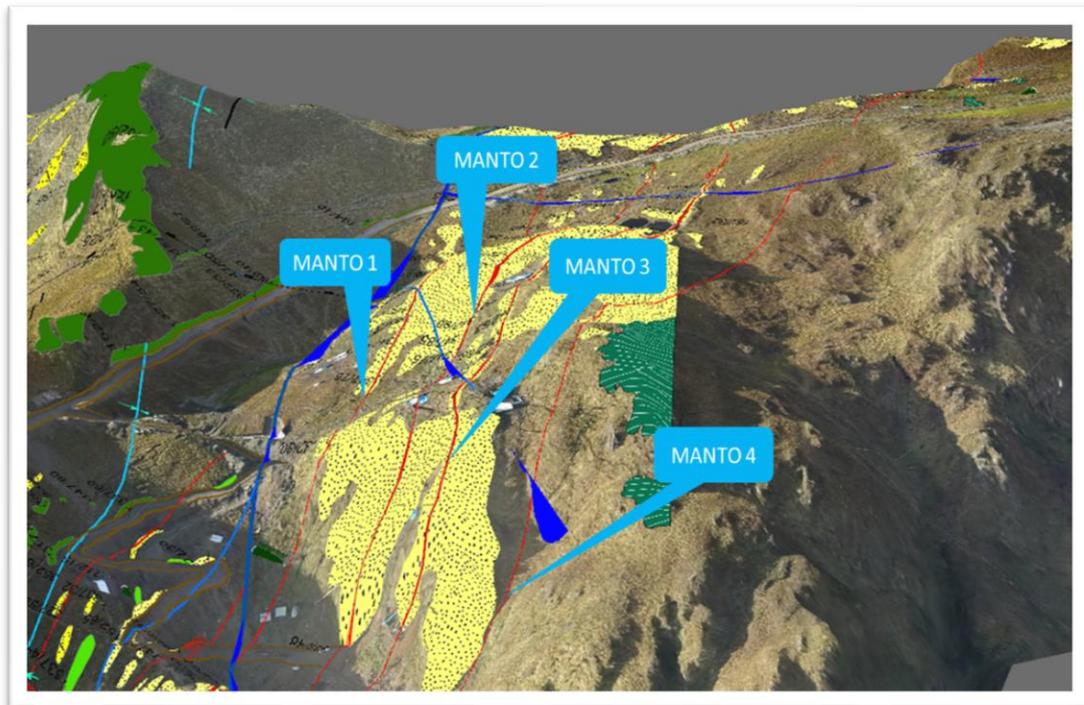


Figura 41. Mantos identificados en el Proyecto Betania (área 1).

Fuente: Elaboración propia)

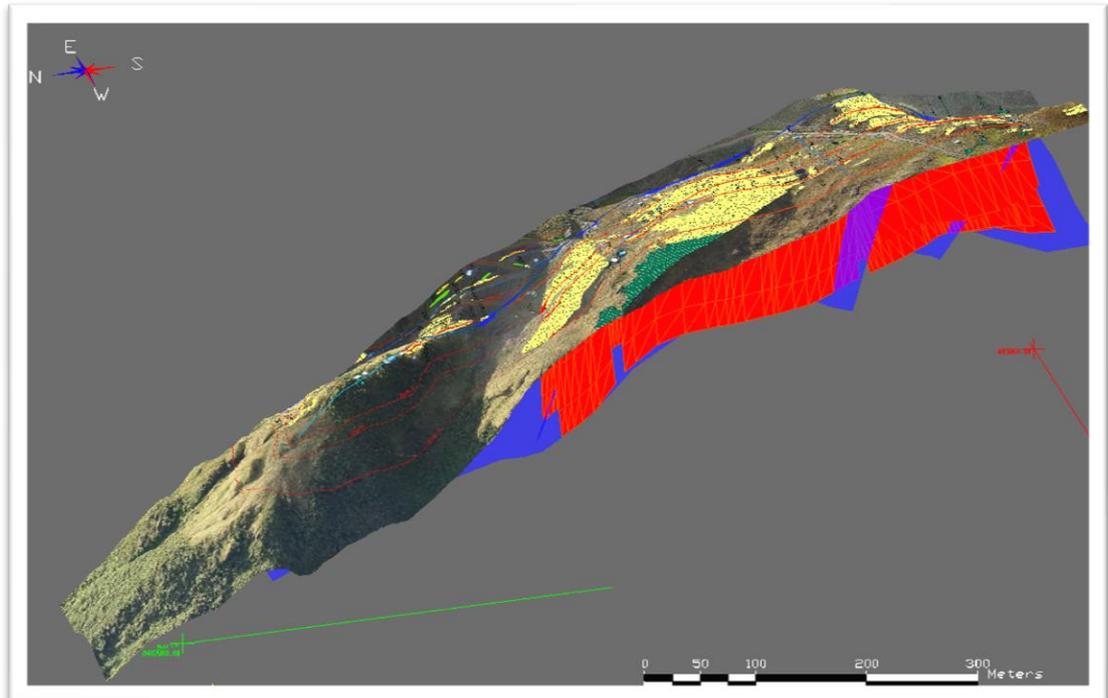


Figura 42. Proyección de los mantos identificados en el Proyecto Betania (área 1).

Fuente: Elaboración propia

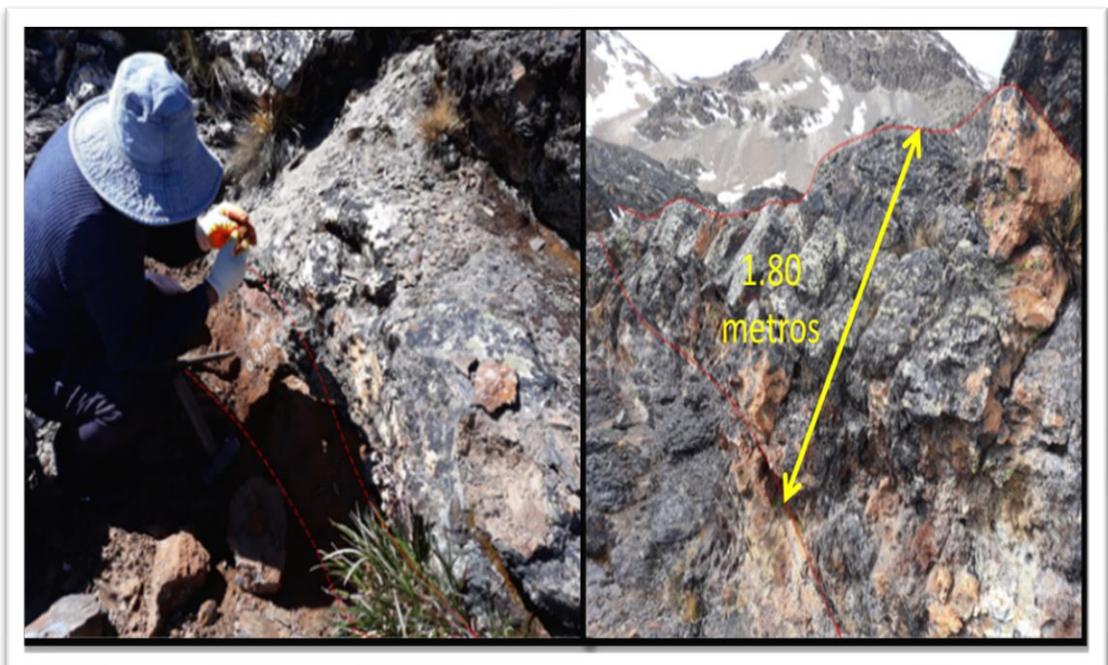


Figura 43. Estructuras de cuarzo gris con un Azimut 330° y Buzamiento de lechoso con una potencia de 1.80 metros con OxFe.

Fuente: Elaboración propia



Se puede decir entonces que el área 1, se acerca más a ser un yacimiento de mantos estratiformes, espaciados entre 25 metros a 40 metros en superficie, con una longitud aproximada a 600 metros lineales en superficie.

- **Manto 01.-** El manto tiene una potencia de 1.20m, con una ley promedio de 3.47 g/tn Au, la cual está emplazada en bandas de metarenisca. Dando un total de 190, 320 tn, con una ley de 3.47 g/tn
- **Manto 02.-** El manto presenta una potencia de 0.94m con una Ley Promedio de 2.78 g/tn Au, la cual está emplazada en Metarenisca con intercalación (mm) de Cuarzita. Dando un total de 175, 680 tn, con una ley 2.78 g/tn.
- **Manto 03.-** El manto tiene una potencia de 1.03m, con una Ley promedio de 5.16g/tn Au. La cual está emplazada en un paquete de Metarenisca con intercalación (mm) de Cuarzita. Dando un total de 192, 630 tn, con una ley 5.16 g/tn.
- **Manto 04.-** El manto presenta una potencia de 0.93m, con una Ley promedio de 3.38 g/tn Au. La cual se encuentra en Metarenisca con intercalación (mm) de Cuarzita. Dando un total de 174, 720 tn, con una ley 3.38 g/tn.

5.3. ZONAS ECONOMICAS DEL PROYECTO

5.3.1. MAPEO SUBTERRANEO

Según información, a partir del 2013 se inició la actividad minera en Vetaspata, por la empresa Golden Mining y comuneros de Saquí-Totora. Actualmente, se trabaja de manera artesanal a pequeña escala:

En la zona 2, del área 1 (manto 3), se centra la producción de mineral artesanal actualmente; y se registran más de 20 labores subterráneos de trabajo. Un total de 50 trabajadores se registran en la zona.

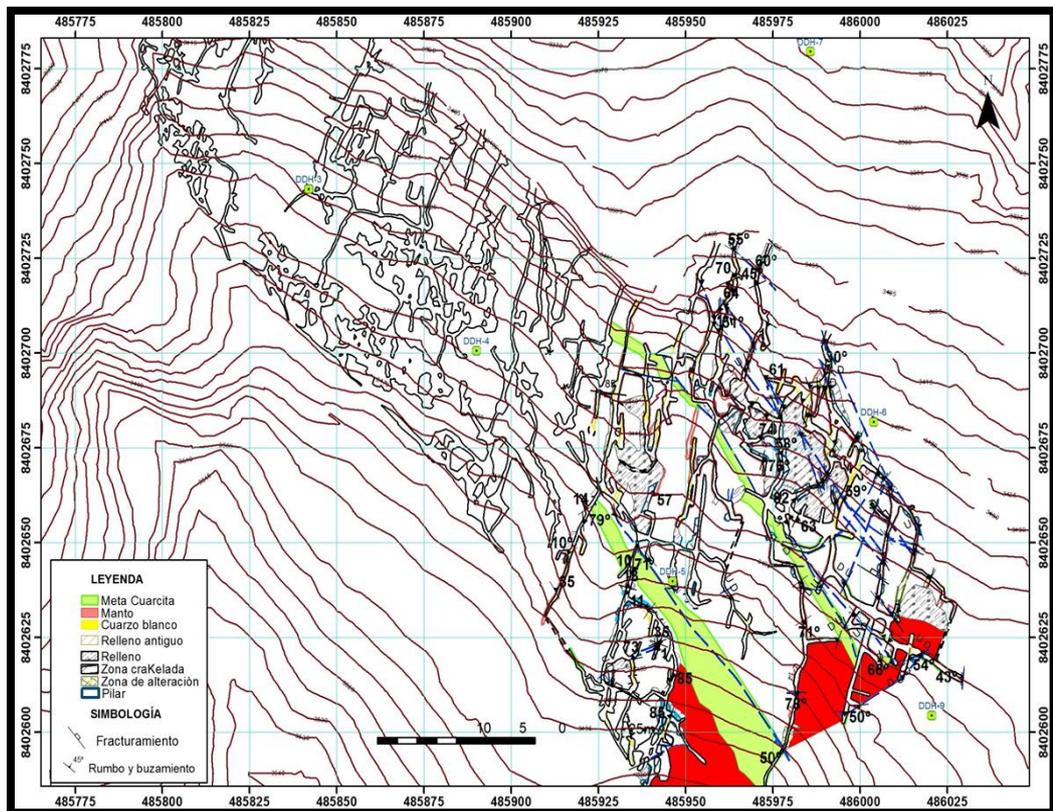


Figura 44. Plano geológico subterráneo, de labores artesanales (Minera Pukamani).

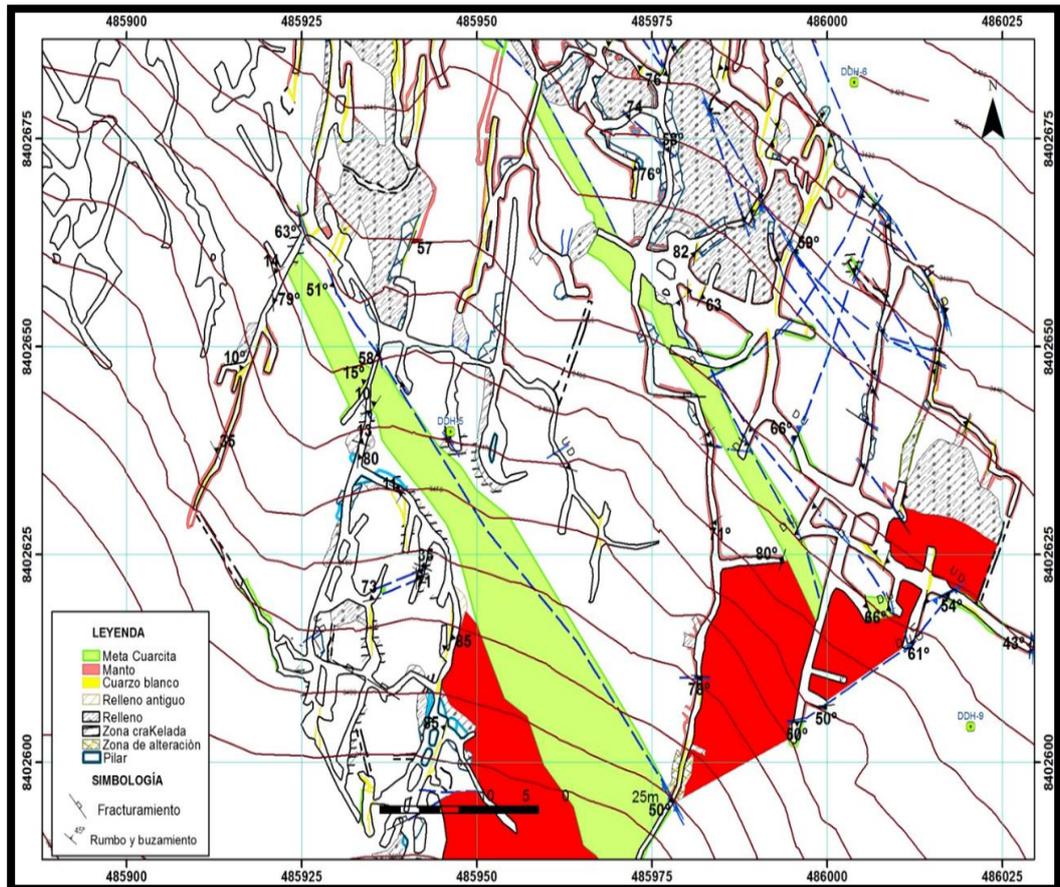


Figura 45. Plano geológico, de labores Subterráneas (Minera Pukamani).

5.3.2. Muestreo geoquímico en labores subterráneas

- Se realizó muestreo geoquímico de tipo selectivo en los hastales de las labores.
- El muestreo geoquímico se realizó en 2 fases, donde se recolectaron un total de 79 muestras (Figura 43) y (Tabla 2).
- El objetivo de estos dos periodos de muestreo es determinar la existencia de un proceso de mineralización económico y evaluar la rentabilidad del proyecto BETANIA.
- De igual manera se realizó muestreo geoquímicos, en el afloramiento de los 4 mantos mantos existentes en el área 1 (figura 49).

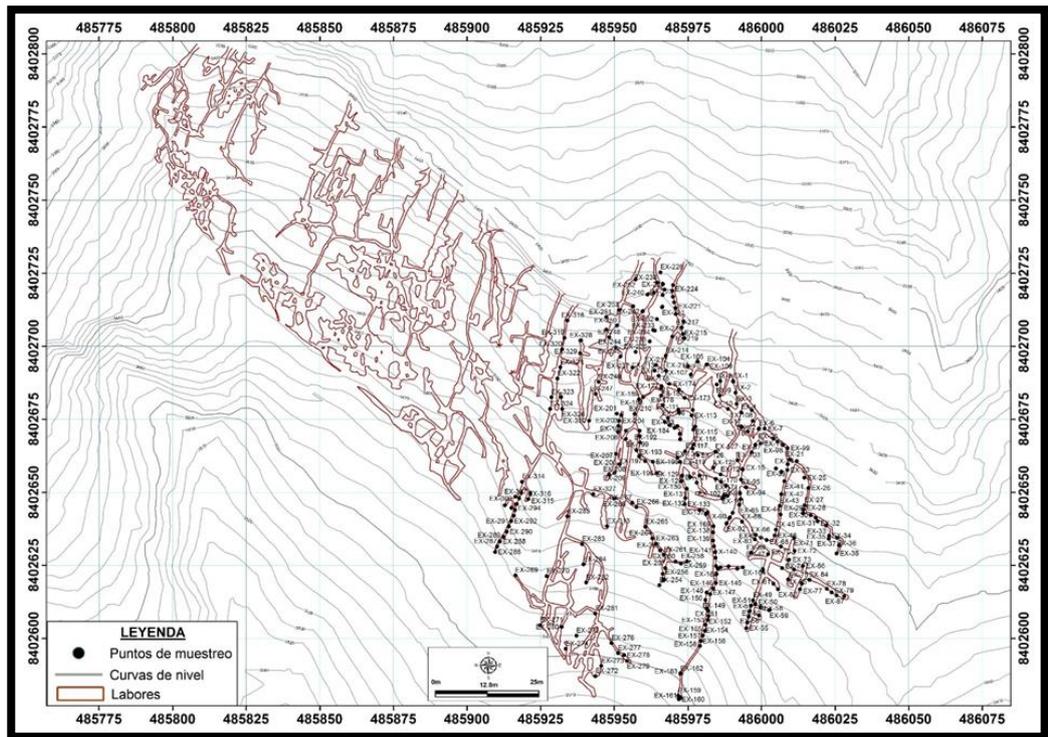


Figura 46. Plano de muestreo en canales en labores artesanales, recolectadas en labores Subterráneas.

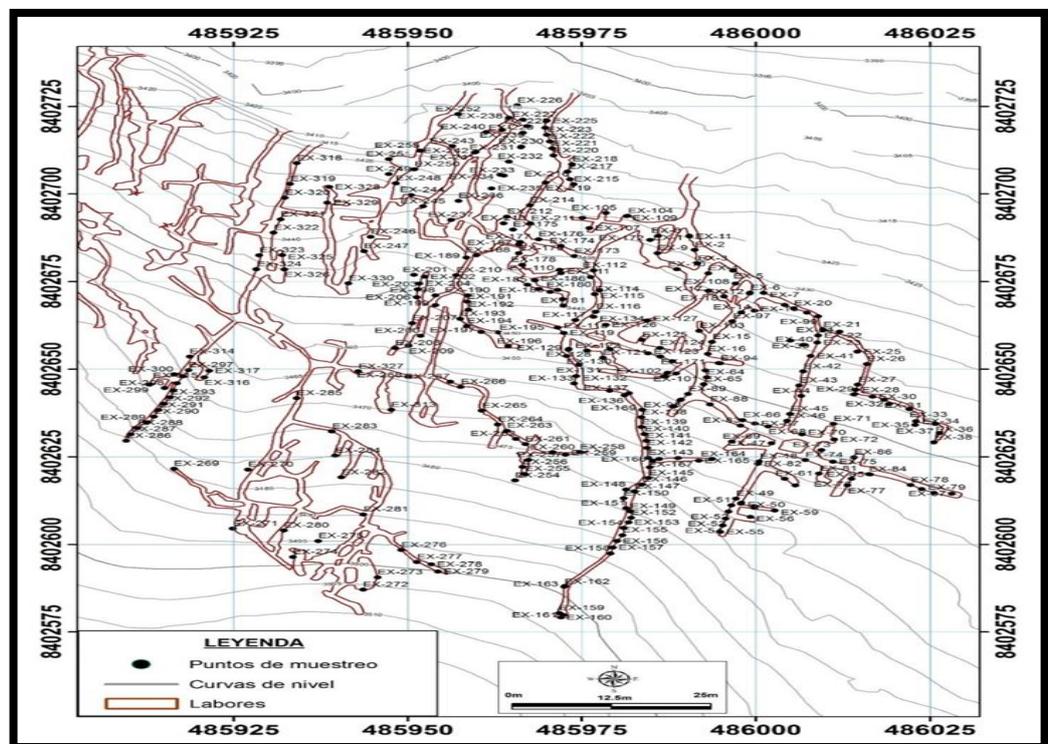


Figura 47. Plano geoquímico de muestreo de las 79 muestras, realizadas en labores subterráneas (Minera Pukamani)

Tabla 4. Se observa los datos tomados de las muestras obtenidas en interior mina.

ID_MUESTRA	UTM E	UTM N	COTA	LEY LAB_Aug/t	ID_MUESTRA	UTM E	UTM N	COTA	LEY LAB_Aug/t
EX-1	485990.4	8402688	3407.9	4.71	EX-41	486007.9	8402654	3411.4	18.38
EX-2	485991.2	8402684	3407.9	7.35	EX-42	486006.8	8402649	3411.4	11.44
EX-3	485991.6	8402680	3407.9	5.25	EX-43	486006.3	8402645	3411.4	1.97
EX-4	485993.2	8402677	3408.9	4.04	EX-44	486006.5	8402642	3407.4	2.66
EX-5	485996.8	8402678	3408.9	3.57	EX-45	486004.9	8402637	3411.4	4.03
EX-6	485999.2	8402672	3408.9	5.32	EX-46	486004.5	8402635	3411.4	2.32
EX-7	486001.1	8402672	3407.4	3.1	EX-47	486002.3	8402629	3417	17.51
EX-8	485986	8402688	3409.3	0.75	EX-48	486000.5	8402624	3407.4	0.34
EX-9	485985.9	8402683	3407.9	11.08	EX-49	485997.1	8402613	3407.4	0.37
EX-10	485988.7	8402679	3409.1	5.96	EX-50	485997.9	8402612	3407.4	3.53
EX-11	485990.5	8402688	3408.9	0.18	EX-51	485996.5	8402611	3407.4	0.74
EX-12	485999.1	8402672	3408.2	0.73	EX-52	485996.1	8402609	3407.4	0.67
EX-13	485999.9	8402667	3411.4	3.29	EX-53	485995.7	8402607	3407.4	0.34
EX-14	485997.9	8402666	3411.4	6.96	EX-54	485995.3	8402605	3407.4	1.38
EX-15	485993.7	8402658	3407.3	14.65	EX-55	485994.9	8402604	3407.4	1.26
EX-16	485993.1	8402654	3411.4	13.55	EX-56	485999.2	8402608	3405.4	0.91
EX-17	485993.2	8402672	3408.9	12.24	EX-57	485997.9	8402612	3406.8	0.25
EX-18	485995.4	8402671	3408.9	1.48	EX-58	485999.8	8402611	3405.4	0.15
EX-19	486004.1	8402668	3410	2.78	EX-59	486002.7	8402610	3407.4	1.3
EX-20	486005.5	8402667	3411.4	17.04	EX-60	485999.8	8402610	3405.4	0.15
EX-21	486009.7	8402661	3407.4	3.24	EX-61	486004.1	8402619	3407.4	0.45
EX-22	486009	8402660	3413.4	3.09	EX-62	486005.7	8402617	3407.4	4.89
EX-23	486008.8	8402658	3413.4	8.96	EX-63	485992.8	8402650	3411.4	4.66
EX-24	486012	8402661	3407.9	17.99	EX-64	485992.9	8402648	3411.4	2.22
EX-25	486014.6	8402655	3407.9	8.82	EX-65	485992.6	8402646	3411.4	5.59
EX-26	486016	8402651	3410	8.7	EX-66	485998.1	8402635	3411.4	1.85
EX-27	486014.7	8402646	3410	9.24	EX-67	485999.9	8402634	3411.4	5.93
EX-28	486014.3	8402644	3407.4	4.72	EX-68	486001.8	8402634	3411.4	0.32
EX-29	486014.1	8402643	3407.9	3.38	EX-69	485996.5	8402629	3407.4	1.86
EX-30	486016.8	8402642	3407.9	15.42	EX-70	486006.6	8402631	3407.4	1.15
EX-31	486018.4	8402641	3410	1.47	EX-71	486011.1	8402634	3407.9	1.99
EX-32	486019.1	8402640	3410	1.68	EX-72	486011.3	8402630	3407.4	9.72
EX-33	486022	8402639	3407.4	3.48	EX-73	486009.4	8402627	3407.9	8.47
EX-34	486023	8402635	3407.4	6.78	EX-74	486007.1	8402624	3407.4	6.61
EX-35	486022.9	8402634	3407.4	7.25	EX-75	486011.1	8402624	3407.4	0.86
EX-36	486025.8	8402634	3407.4	0.77	EX-76	486013.8	8402619	3407.4	27.76
EX-37	486026.4	8402632	3407.4	21.7	EX-77	486013.1	8402617	3407.4	6.12
EX-38	486025.6	8402629	3407.4	4.13	EX-78	486022.2	8402617	3407.4	2.18
EX-39	486005	8402658	3411.4	2.27	EX-79	486023.8	8402616	3407.4	0.55
EX-40	486006.9	8402657	3411.4	1.85					



Figura 48. En la imagen se observa, la toma de muestra tipo canal en interior mina.

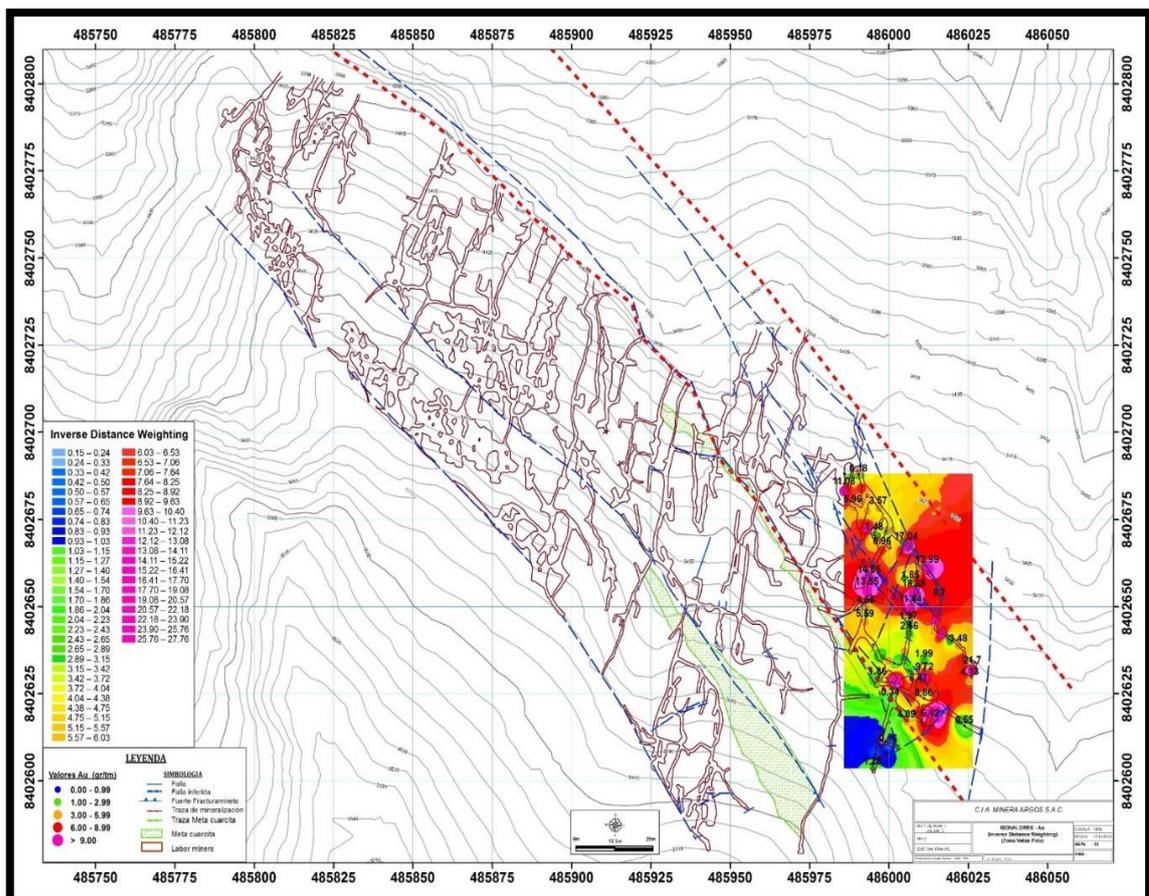


Figura 49. Plano de Isovalores por el método (Inverso a la distancia), a partir del reporte de muestras del laboratorio (Minera Pukamani).

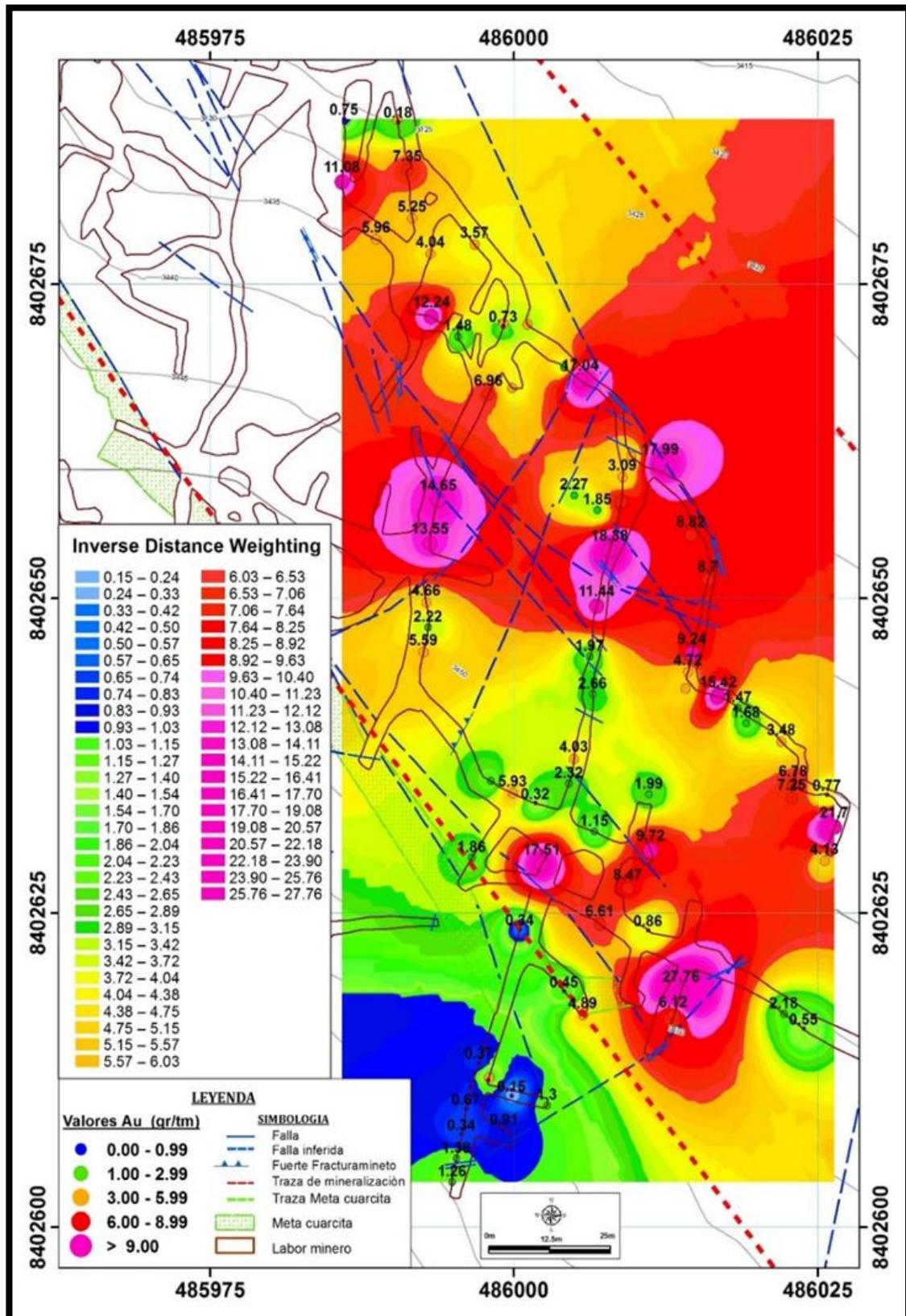


Figura 50. Plano de Isovalores por el método (Inverso a la distancia), a partir del reporte de muestras del laboratorio. En escala 1/500. (Minera Pukamani)

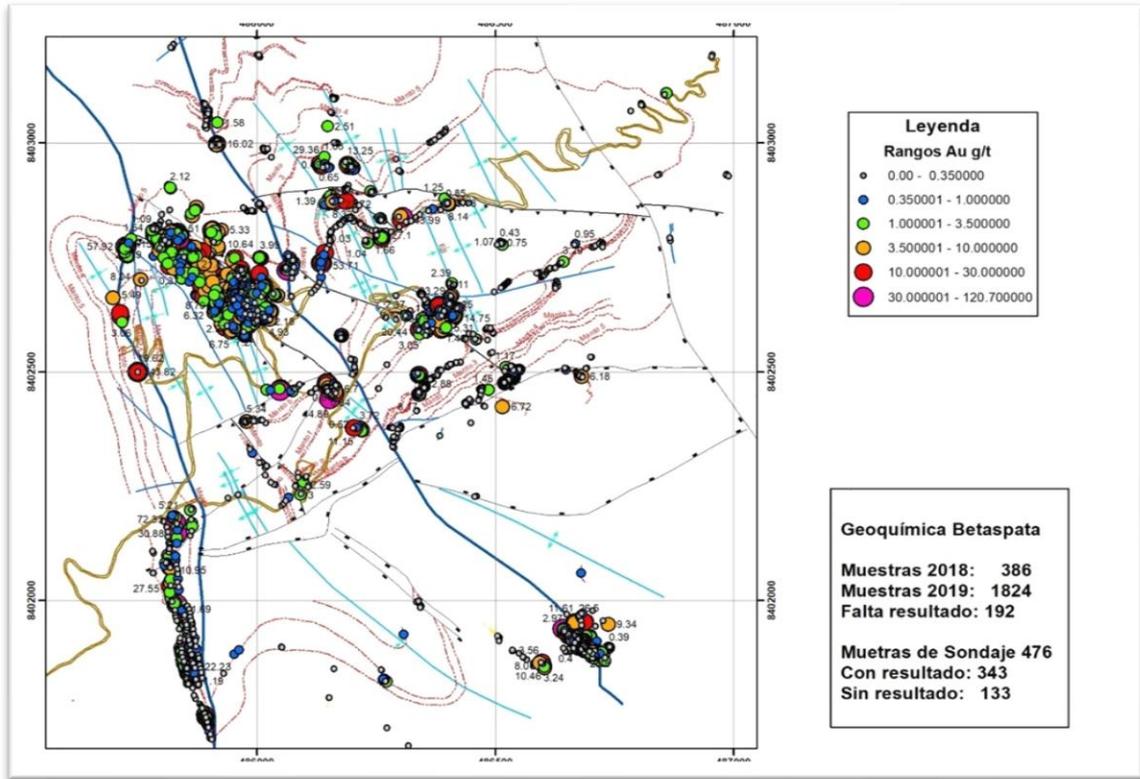


Figura 51. Mapa geoquímico del proyecto Betania (Minera Pukamani)

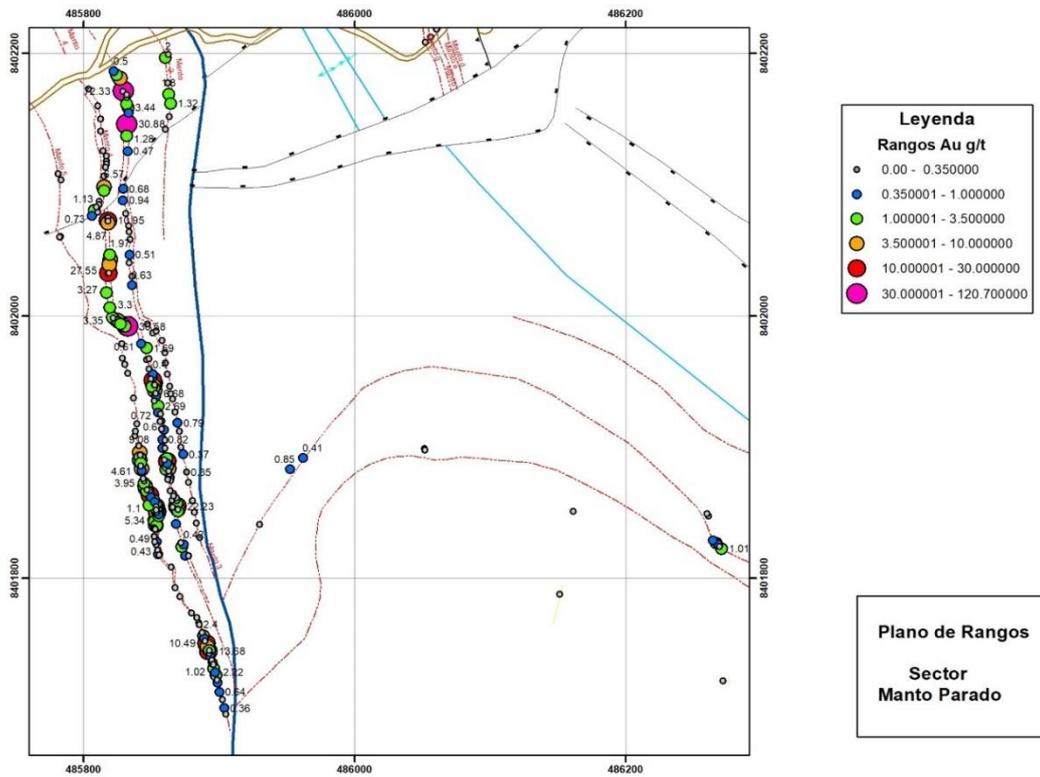


Figura 52. Mapa geoquímico de los 4 mantos del área 1 (Minera Pukamani).

5.3.3. Programa de perforación diamantina.

- De acuerdo a los mapeos realizados en campo, se llegó a cuantificar las estructuras mineralizadas, que puedan tener rentabilidad económica, para ello es necesario continuar con los estudios realizando perforaciones diamantinas, para poder confirmar la profundización de los mantos.
- En esta etapa se procede a elaborar un programa de perforación diamantina, perpendicular a los mantos, con la finalidad de corroborar la continuidad de las estructuras mineralizadas a profundidad.



Figura 53. Plataforma de Perforación Diamantina. (Minera Pukamani)

Tabla 5. Programa de Perforación del proyecto Betania.

PROGRAMA DE PERFORACION DDH DEL PROYECTO BETANIA							
DDH	ESTE	NORTE	COTA	AZIMUT	INCLINACION	LONGITUD	SECCION
VT-01	485819.22	8402340.26	3566.51	265.18	-15	150	Sección 2
VT-02	485819.22	8402340.26	3566.51	265.18	-35	180	Sección 2
VT-03	485724.96	8402099.29	3609.41	85.18	-30	180	Sección 3
VT-04	485724.96	8402099.29	3609.41	85.18	-60	180	Sección 3
VT-05	485754.85	8402517.01	3513.76	265.18	-20	140	Sección 1
VT-06	485754.85	8402517.01	3513.76	265.18	-40	170	Sección 1
TOTAL						1000	

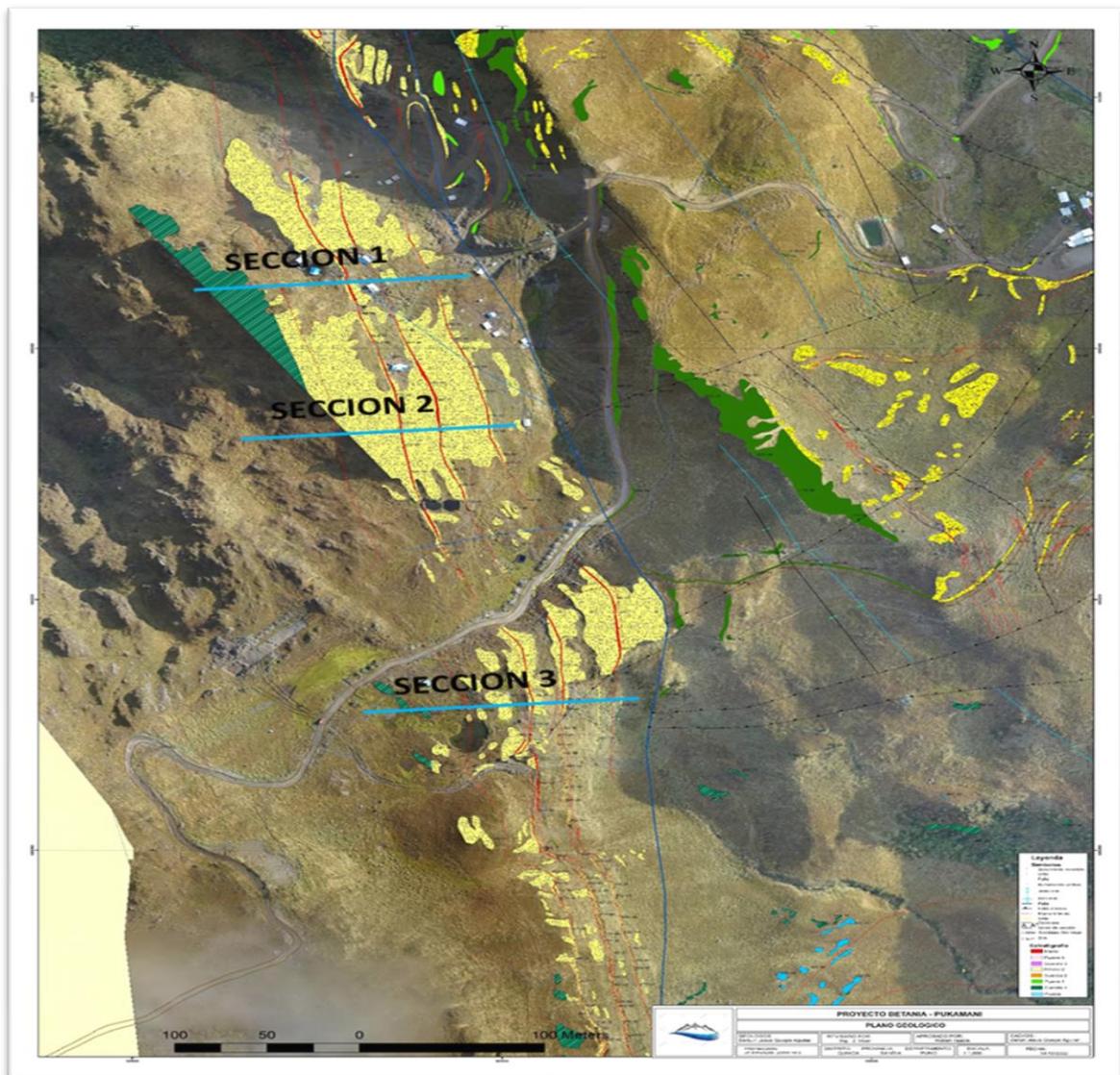


Figura 54. Plano de Programa de Perforación Diamantina del área 1 del Proyecto Betania (Minera Pukamani).

5.3.3.1. Sección 1

En la sección se puede apreciar los impactos obtenidos por los taladros VT – 05 y VT – 06, cortando los mantos 1, 2, 3 y 4.

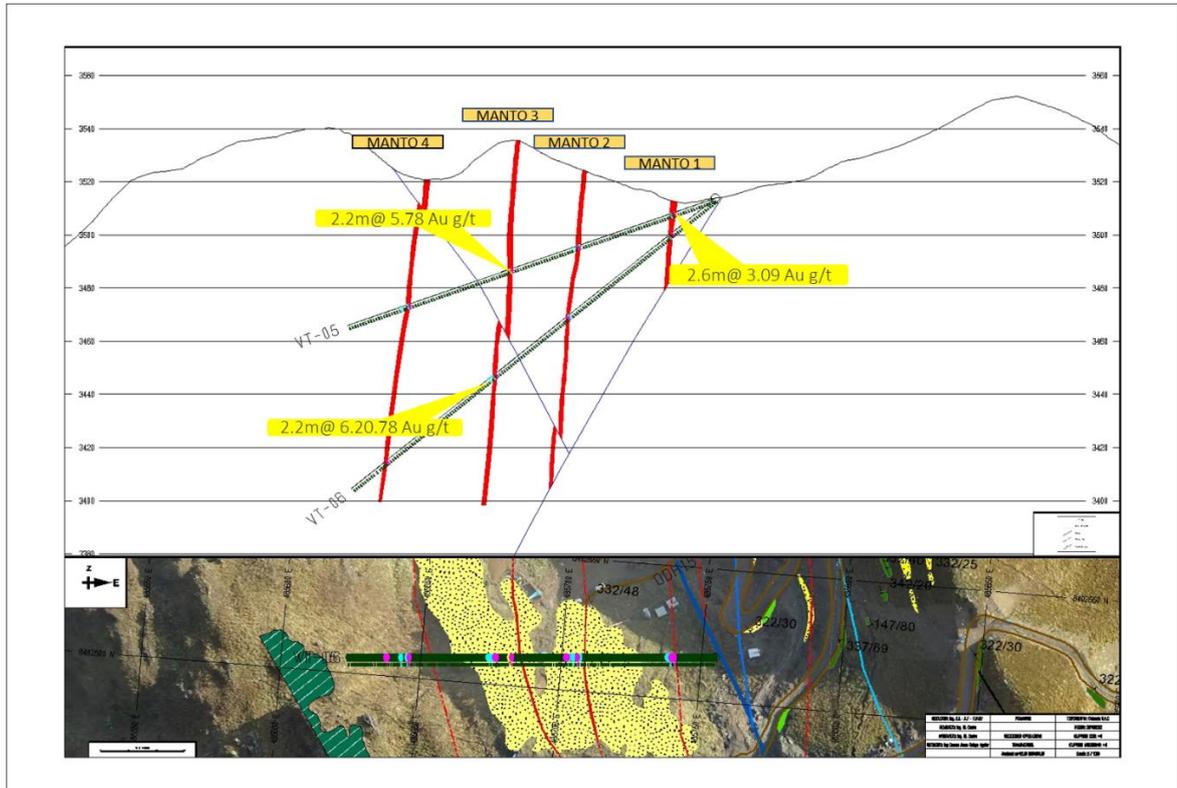


Figura 55. Se observa una sección de los taladros VT-5 y VT-6 (Minera Pukamani).

Tabla 6. Impacto del taladro VT – 05, con la ley ponderada por Mantos.

IMPACTOS DEL SONDAJE VT-05						
DHH	Desde	Hasta	Tramo (m)	Ley g/tn	Ponderado g/tn	Manto
VT-05	14.8	15.8	1	3.2	3.09	M1
VT-05	15.8	16.6	0.8	3.15		
VT-05	16.6	17.4	0.8	2.9		
VT-05	51	52	1	3.25	3.18	M2
VT-05	52	52.8	0.8	3.1		
VT-05	76.8	77.8	1	5.4	5.30	M3
VT-05	77.8	79	1.2	6.1		
VT-05	116	116.8	0.8	3.22	3.08	M4
VT-05	116.8	117.6	0.8	2.95		

Tabla 7. Impacto del taladro VT – 06, con la ley ponderada por Mantos.

IMPACTOS DEL SONDAJE VT-06						
DHH	Desde	Hasta	Tramo (m)	Ley g/tn	Ponderado g/tn	Manto
VT-06	19.8	20.6	0.8	2.95	3.27	M1
VT-06	20.6	21.4	0.8	3.5		
VT-06	21.4	22.2	0.8	3.35		
VT-06	68	68.9	0.9	2.5	2.90	M2
VT-06	68.9	69.8	0.9	3.3		
VT-06	101.6	102.8	1.2	6.3	6.12	M3
VT-06	102.8	103.8	1	5.9		
VT-06	152	153	1	3.6	3.47	M4
VT-06	153	153.8	0.8	3.3		

5.3.3.2. Sección 2

En la sección se puede apreciar los impactos obtenidos por los taladros VT – 01 y VT – 02, cortando los mantos 1, 2, 3 y 4.

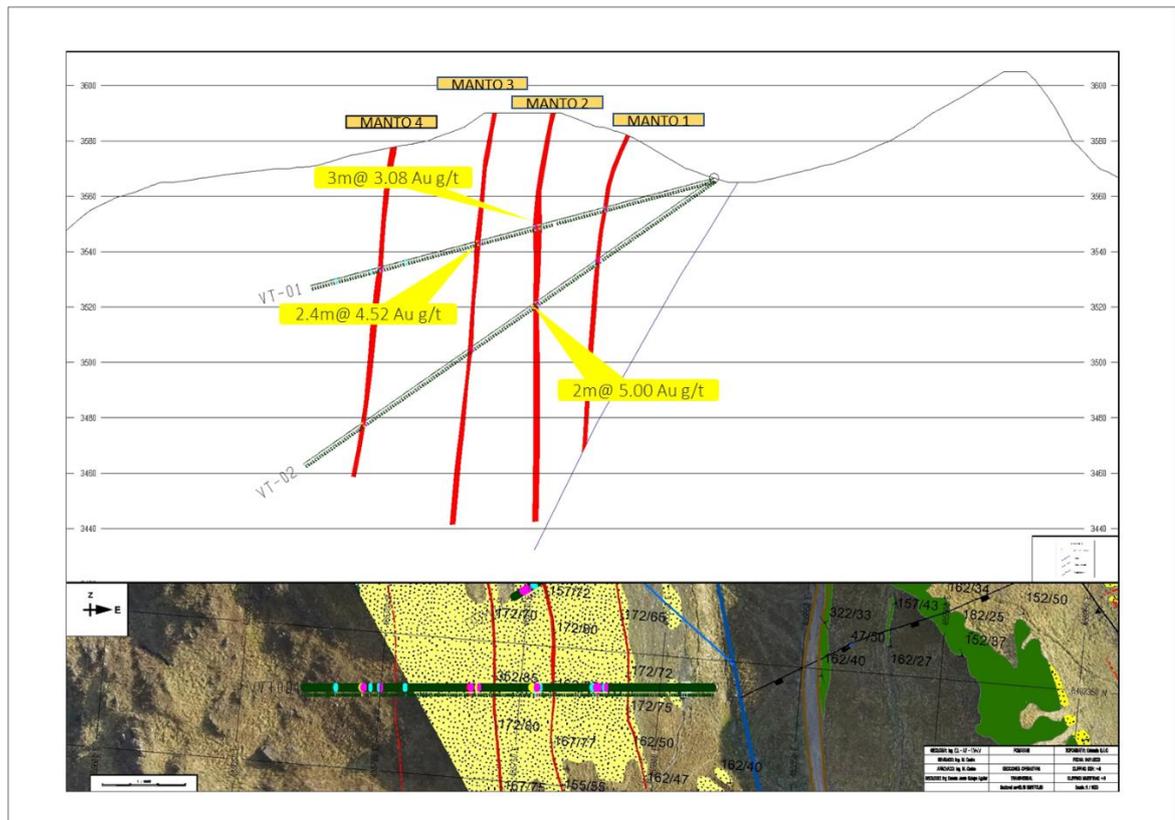


Figura 56. Se observa una sección de los taladros VT-1 y VT-2 (Minera Pukamani).

Tabla 8. Impacto del taladro VT – 01, con la ley ponderada por Mantos.

IMPACTOS DEL SONDAJE VT-01						
DHH	Desde	Hasta	Tramo (m)	Ley g/tn	PONDERADO g/tn	Manto
VT-01	39.6	40.6	1	3.5	3.00	M1
VT-01	40.6	41.6	1	2.5		
VT-01	64.8	65.8	1	2.5	3.08	M2
VT-01	65.8	66.8	1	3.85		
VT-01	66.8	67.8	1	2.9		
VT-01	86	86.8	0.8	4.1	4.52	M3
VT-01	86.8	87.6	0.8	6.2		
VT-01	87.6	88.4	0.8	3.25		
VT-01	123.2	124	0.8	3.5	3.075	M4
VT-01	124	124.8	0.8	2.65		

Tabla 9. Impacto del taladro VT – 01, con la ley ponderada por Mantos.

IMPACTOS DEL SONDAJE VT-02						
DHH	Desde	Hasta	Tramo (m)	Ley g/tn	PONDERADO g/tn	Manto
VT-02	50	51.8	1.8	4.2	4.20	M1
VT-02	77	77.8	0.8	3.2	2.85	M2
VT-02	77.8	78.6	0.8	2.5		
VT-02	106	107	1	6.5	5.00	M3
VT-02	107	108	1	3.5		
VT-02	153	153.8	0.8	4	3.3	M4
VT-02	153.8	154.6	0.8	2.6		

5.3.3.3. Sección 3

En la sección se puede apreciar los impactos obtenidos por los taladros VT – 03 y VT – 04, cortando los mantos 1, 2, 3 y 4.

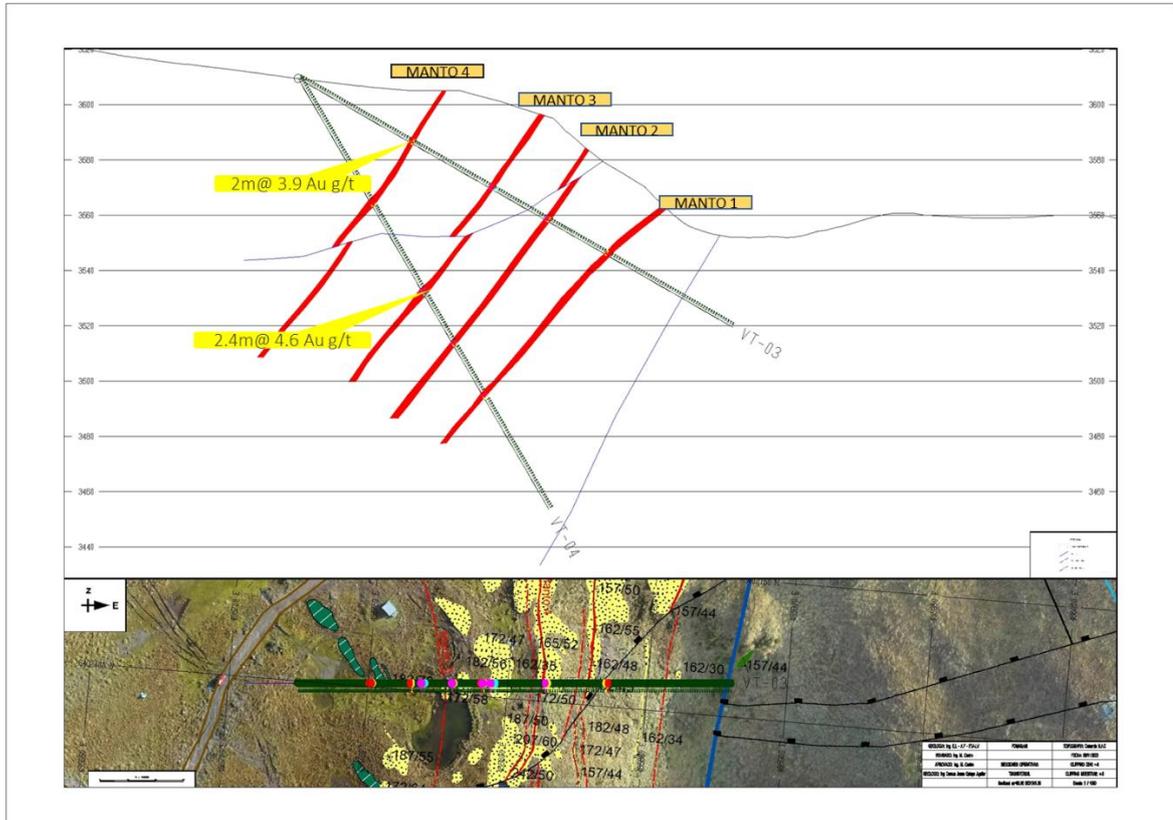


Figura 57. Se observa una sección de los taladros VT-3 y VT-4 (Minera Pukamani).

Tabla 10. Impacto del taladro VT – 03, con la ley ponderada por Mantos.

IMPACTOS DEL SONDAJE VT-03						
DHH	Desde	Hasta	Tramo (m)	Ley g/tn	PONDERADO g/tn	Manto
VT-03	127	128	1	3.46	3.83	M1
VT-03	128	129	1	4.2		
VT-03	102	103	1	2.6	3.05	M2
VT-03	103	104	1	3.5		
VT-03	79	80.6	1.6	5.15	5.15	M3
VT-03	45.8	46.8	1	3.6	3.90	M4
VT-03	46.8	47.8	1	4.2		

Tabla 11. *Impacto del taladro VT – 04, con la ley ponderada por Mantos*

IMPACTOS DEL SONDAJE VT-04						
DHH	Desde	Hasta	Tramo (m)	Ley g/tn	PONDERADO g/tn	Manto
VT-04	131	132	1	4.1	3.43	M1
VT-04	132	133	1	3		
VT-04	133	134	1	3.2		
VT-04	110	111	1	3.1	3.30	M2
VT-04	111	112	1	3.5		
VT-04	88	89	1	5.5	4.9	M3
VT-04	89	90	1	4.3		
VT-04	90	91	1	4.9		
VT-04	51	52.8	1.8	3.1	3.44	M4
VT-04	52.8	53.6	0.8	4.2		

De acuerdo a la geoquímica obtenida de los taladros de perforación diamantina, realizadas en la zona de trabajo, que se tiene en las tablas de impacto de taladro, se puede ver que las zonas de mayor rentabilidad económica, son el “manto” 3 y “manto” 4, por tener una potencia entre 0.93m a 1.03m, con una ley entre 3.38 g/tn Au y 5.16 g/tn Au. Las cuales tienen una continuidad en profundidad de 120 metros.



VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados de exploración, cartografiado geológico, mineralogía, mineralización y génesis, el yacimiento Betania es un depósito orogénico. El cual tiene 4 mantos mineralizados con una longitud promedio entre 500m a 600m lineales con una potencia promedio de 0.98 metros, teniendo una ley promedio 3.66 g/tn Au.
- De acuerdo a las muestras geoquímicas tomadas en la zona de estudio y a las perforaciones diamantinas y labores mineras, Se concluye que en los mantos del proyecto Betania tiene un valor económico, promedio de 733, 680 tn. Con una ley promedio de 3.70 g/tn de Au.
- Se identifico las zonas de mayor rendimiento económico, siendo el “manto” 3 y “manto” 4, por tener una potencia entre 0.93m a 1.03m, con una ley entre 3.38 g/tn Au y 5.16 g/tn Au. Las cuales tienen una continuidad en profundidad de 120 metros.



VII. RECOMENDACIONES

- Continuar con el mapeo de las nuevas labores subterráneas de exploración y explotación. Para una mejor información del comportamiento de las estructuras mineralizadas.
- Deberá continuar con el muestreo sistemático de las estructuras mineralizadas para un mejor control en el proyecto.
- Realizar perforaciones diamantinas de tipo brownfield, para incrementar las reservas de mena y encontrar nuevos recursos



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Balta, J. (1898) - Fósiles de Carabaya. Boletín de Minas, Industrias y Construcciones, 14(3): 19-21.
- Berry, W. B. & Boucot, A. J., eds. (1972) - Correlation of the South American Silurian rocks. Boulder, CO: Geological Society of America. GSA Special Paper, 133. [https:// doi.org/10.1130/SPE133](https://doi.org/10.1130/SPE133). Douglas 1932 Dávila y Ponce de León 1971.
- Dávila, J. & Ponce De León, V. (1971) - La sección del río Inambari en la Faja Subandina del Perú y la presencia de sedimentitas de la Formación Cancañiri (Zapla) del Silúrico. Revista Técnica Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, 1(1): 67-85.
- De La Cruz, N. & Carpio, M. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio. Hojas: 29-y y 29-z. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 82, 165 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/38>.
- Douglas, J.A. (1933) - The geology of the Marcapata valley in eastern Peru. Quarterly Journal of the Geological Society London, 89(3): 308-356. <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1933.089.01-04.12>.
- Jaimes, F. & Trelles, G. (2021) - Geología de los cuadrángulos de Sandia (hojas 29y1, 29y2, 29y3, 29y4) y San Ignacio (hoja 29z4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000), 7, 68 p., 5 mapas.
- Fredy Jaimes Salcedo ; Gerardo Trelles Vásquez (2021): Geología de los cuadrángulos de Sandia (hojas 29y1, 29y2, 29y3, 29y4) y San Ignacio (hoja 29z4) -



INGEMMET, Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2017) - Atlas Geoquímico del Perú. Lima, segunda edición, INGEMMET.

Laubacher, G. (1978a) - Estudio geológico de la región norte del Lago Titicaca. Instituto de Geología y Minería, Boletín, Serie D: Estudios Especiales, 5, 139 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/320>.

Laubacher, G. (1978b) - Géologie de la Cordillère Orientale et de l'Altiplano au nord et nord-ouest du lac Titicaca (Pérou). Paris: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer, 217 p. Travaux et Documents de l'ORSTOM, 95

Martínez, W. (1998) - El Paleozoico inferior en el sur del Perú: estratigrafía, cronoestratigrafía, petrografía y aspectos sedimentológicos, región de Sandia. Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 232 p

Natalio De La Cruz B. y Mario Carpio R - Boletín 29y – INGEMMET. Manual de Mineralogía de Dana – Cornelius S. Hurlbut – 2da Edición (2021)

Warren T. Pratt (2012) - El depósito de oro vetaspatha, sureste de Perú – visita de sitio. Encargado por Steve Kay de International Minerals Corporation. 10 de junio del 2015.

Rivasplata, V. (2017). *Geología Estructural Aplicada a la Exploración Geológica – Minera*. Lima: 1er Congreso Internacional de Geociencias.



Tejada, G. Rubén (2010). Informe técnico de Cruz de Oro y Pomarani. Empresa Minera
Cori Puno S.A.C.

Acosta, A. (2009). *Memoria : Mapa Metalogénico del Peru*. Lima. Peru: Instituto
Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET.