



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,
Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Prospección geológica por vanadio para definir áreas de interés favorables entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco – Perú

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Jose Alonso BRAVO GUTIERREZ

ASESOR

Dr. Jorge Eduardo CHIRA FERNANDEZ

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Bravo, J. (2025). *Prospección geológica por vanadio para definir áreas de interés favorables entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco – Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jose Alonso Bravo Gutierrez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73930307
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0001-0620-2645
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jorge Eduardo Chira Fernández
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07342554
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5194-9940
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Pedro Miguel Gagliuffi Espinoza
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07197393
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Pedro Antonio Olivares Ballena
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06085689
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Victor Manuel Uribe Cordova
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40534269

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.11. Recursos Mineros
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Áncash - Huánuco Provincia: Huari - Lauricocha Distrito: San Marcos - Queropalca Latitud: -9.858315 Longitud: -77.051421
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023 – 2024
URL de disciplinas OCDE	Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06 Geoquímica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.04 Geociencias https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el lunes 21 de julio del año 2025 siendo las 5:30 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros de Jurado Calificador:

Ing. Pedro Miguel Gagliuffi Espinoza	(presidente de Jurado)
Ing. Pedro Antonio Olivares Ballena	(Miembro de Jurado)
Mg. Víctor Manuel Uribe Córdova	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **JOSE ALONSO BRAVO GUTIERREZ**, quien sustentará la Tesis titulada: **"PROSPECCIÓN GEOLÓGICA POR VANADIO PARA DEFINIR ÁREAS DE INTERÉS FAVORABLES ENTRE LOS DISTRITOS DE SAN MARCOS Y QUEROPALCA, REGIONES ÁNCASH Y HUÁNUCO - PERÚ"**; su asesor el docente **DR. JORGE EDUARDO CHIRA FERNANDEZ**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A Satisfacción del jurado

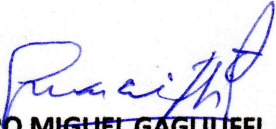
El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

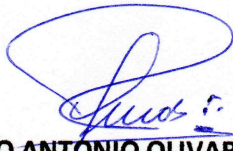
Diecisiete (17)

Habiendo sido aprobada la sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. JOSE ALONSO BRAVO GUTIERREZ.

Siendo las 18:07 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 21 de julio del 2025


ING. PEDRO MIGUEL GAGLIUFFI ESPINOZA
PRESIDENTE DE JURADO


ING. PEDRO ANTONIO OLIVARES BALLENA
MIEMBRO DE JURADO


MG. VÍCTOR MANUEL URIBE CORDOVA
MIEMBRO DE JURADO


DR. JORGE EDUARDO CHIRA FERNANDEZ
MIEMBRO ASESOR



Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, JORGE E. CHIRA FERNANDEZ en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la UPG o de la EP N° RD. N° 000608-2025-D-FIGMMG de la tesis, cuyo título es **“PROSPECCIÓN GEOLÓGICA POR VANADIO PARA DEFINIR ÁREAS DE INTERÉS FAVORABLES ENTRE LOS DISTRITOS DE SAN MARCOS Y QUEROPALCA, REGIONES ÁNCASH Y HUÁNUCO – PERÚ”** presentado por el bachiller **JOSE ALONSO BRAVO GUTIERREZ**, para optar el .TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 12 % de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención el título de INGENIERO GEÓLOGO.

Lima, 06 de JULIO de 2025

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: JORGE EDUARDO CHIRA FERNANDEZ

DNI: 07342554

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

Dedicatoria

A mis padres y hermana por siempre apoyarme incondicionalmente en todos mis objetivos.

Gracias por el apoyo en todas las etapas de mi vida, especialmente, desde la etapa universitaria hasta estos momentos. Asimismo, a todos mis amigos que me alentaron a nunca rendirme ante los obstáculos.

Agradecimiento

A mi asesor, el Ing. Jorge Chira, por su orientación, exigencia y apoyo constante en cada avance de esta tesis.

Al Ing. Luis Vargas, director de laboratorio del Ingemmet, por el apoyo para poder realizar los análisis químicos y mineralógicos de mis muestras de rocas.

A los ingenieros Freddy Arcos, Edwin Loaiza, Jhonny Torre, Jesús Fuentes, Mario Carpio, Cesar De la Cruz e Igor Espinoza por incentivar me para iniciar este trabajo de investigación, apoyándome y guiándome en cada capítulo de esta tesis.

A mi amigo y colega Roi De la Cruz por apoyarme en la etapa de campo para recolectar las muestras de rocas necesarias para este trabajo, por las duras condiciones que nos tocó vivir para obtener cada muestra.

Contenido

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABLAS	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Situación problemática.....	15
1.2 Problemas de la investigación	16
1.2.1 Problema general.....	16
1.2.2 Problemas específicos	16
1.3 Justificación de la investigación.....	17
1.3.1 Justificación práctica	17
1.3.2 Justificación teórica.....	17
1.4 Objetivos de la investigación	17
1.4.1 Objetivo general.....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes de la investigación	18
2.1.1 Mina Ragra.....	18
2.1.2 Asfaltitas vanadíferas en el Centro del Perú.....	24
2.2 Bases teóricas.....	30
2.2.1 Vanadio	30
2.2.2 Geoquímica del vanadio.....	31
2.2.3 Tipos de depósitos de vanadio y su mineralogía.....	35
2.2.4 Usos y aplicaciones	47
2.2.5 Problemas e investigaciones futuras.....	49
2.2.6 Producción, consumo y precio	50
2.3 Definiciones operativas.....	53
2.3.1 Anomalía geoquímica	53
2.3.2 Background	53
2.3.3 Threshold	53
2.3.4 Dispersión geoquímica secundaria	54
2.3.5 Prospección	54
2.3.6 Prospección geológica.....	54
2.3.7 Asfaltita.....	54
2.3.8 Carbón.....	55
2.4 Hipótesis de la investigación.....	56
2.4.1 Hipótesis general.....	56
2.4.2 Hipótesis específicas	56

CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	57
3.1 Ubicación del área de estudio.....	57
3.2 Accesibilidad al área de estudio	58
3.3 Hidrografía.....	59
3.4 Clima y vegetación.....	60
3.5 Unidades geomorfológicas.....	62
3.6 Marco geológico	65
3.6.1 Cretácico	65
3.6.2 Neógeno	67
3.6.3 Cuaternario.....	67
3.6.4 Unidades Litodémicas	68
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	70
4.1 Tipo y diseño de la investigación	70
4.2 Unidad de análisis	70
4.3 Población de estudio	70
4.4 Tamaño de muestra	70
4.5 Técnicas de recolección de datos	70
4.5.1 Muestreo de los sedimentos de quebrada	71
4.5.2 Muestreo de rocas	73
4.6 Técnicas de análisis de muestras	74
4.6.1 Análisis de los sedimentos de quebrada	74
4.6.2 Análisis de rocas	76
4.7 ETAPA 1: Tratamiento estadístico de datos históricos	79
4.7.1 Análisis exploratorio de datos (EDA).....	79
4.7.2 Tratamiento de datos censurados.....	89
4.7.3 Prueba de normalidad (kolmogorov - Smirnov ^a , Shapiro - Wilk).....	96
4.7.4 Prueba T-Student.....	98
4.7.5 Nivelamiento de los datos geoquímicos	103
4.8 ETAPA 2: Interpretación de imágenes satelitales	106
4.9 ETAPA 3: Muestreo de rocas en campo	107
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	110
5.1 ETAPA 1: Geoquímica de los sedimentos de quebrada	110
5.1.1 Estadística Univariada.....	110
5.1.2 Estadística Bivariada	115
5.1.3 Estadística Multivariada	119
5.1.4 Determinación de los parámetros geoquímicos del vanadio	123
5.1.5 Distribución geoquímica del vanadio	124
5.2 ETAPA 2: Delimitación de las áreas de muestreo de rocas.....	126
5.2.1 Interpolación geoquímica del vanadio en la Formación Pariatambo para definir áreas de muestreo de rocas.....	126

5.2.2	Interpretación satelital para delimitar áreas de muestreo de rocas	128
5.3	ETAPA 3: Geoquímica de rocas	135
5.3.1	Área 1: Características geológicas y geoquímicas	135
5.3.2	Área 2: Características geológicas y geoquímicas	145
5.4	Determinación de áreas favorables para la prospección geológica por vanadio	155
5.4.1	Área Yanashallash.....	157
5.4.2	Área Kikash	160
CONCLUSIONES		163
RECOMENDACIONES.....		164
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		165
ANEXOS		170

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de Mina Ragra	20
Figura 2 Ilustración esquemática del origen propuesto de Mina Ragra	23
Figura 3 Mapa croquis del centro del Perú que muestra la ubicación de los depósitos de asfaltita ..	27
Figura 4 Depósitos de asfaltitas vanadíferas en la Cordillera Occidental del Perú	28
Figura 5 Mapa de ubicación de los principales tipos de depósitos de vanadio en el mundo	31
Figura 6 Contenido promedio de vanadio en las capas de la Tierra.....	33
Figura 7 Correlaciones de los contenidos de V con SiO ₂ y Sc en extremos geoquímicos	33
Figura 8 Tendencia mundial en la producción de vanadio 2012 – 2022 (en toneladas métricas).....	50
Figura 9 Producción mundial de vanadio en el 2021	51
Figura 10 Tendencia del consumo reportado (TM) de vanadio en los EE.UU. 2012 - 2022	52
Figura 11 Tendencia del precio (\$) del pentóxido de vanadio por libra 2012 - 2022	53
Figura 12 Mapa de ubicación del área de estudio	57
Figura 13 Mapa de accesibilidad al área de estudio.....	58
Figura 14 Mapa hidrográfico del área de estudio.....	59
Figura 15 Mapa climático del área de estudio.....	61
Figura 16 Mapa geomorfológico del área de estudio.....	64
Figura 17 Simbología del mapa geológico del área de estudio	68
Figura 18 Mapa geológico del área de estudio	69
Figura 19 Mapa del diseño de muestreo de los sedimentos de quebrada en el área de estudio	72
Figura 20 Muestreo de rocas por facies, perpendicular a la estratificación y en un tramo de dos metros aproximadamente	73
Figura 21 Mapa de distribución de muestras de los sedimentos de quebrada separada por dominio litoestratigráfico y diferenciado por proyecto	82
Figura 22 Gráficos de probabilidad de la distribución del Au	95
Figura 23 Gráficos de probabilidad de la distribución del Au a escala logarítmica.....	96
Figura 24 Interpretación de imágenes satelitales con Google Earth Pro para delimitar áreas de muestreo de rocas	107
Figura 25 Identificación de la Formación Pariatambo en contacto con la Formación Chúlec (unidad inferior al Pariatambo).....	108
Figura 26 Intercalación de calizas y lutitas negras de la Formación Pariatambo	109
Figura 27 Toma de datos (rumbo y buzamiento) de la estación a muestrear	109
Figura 28 Histograma del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior	111
Figura 29 Box Plot del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior	112
Figura 30 Gráfico Q-Q Plot del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior.....	112
Figura 31 Histograma del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico	114
Figura 32 Box Plot del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico	114
Figura 33 Gráfico Q-Q Plot del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico... ..	115
Figura 34 Dendrograma en el dominio Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior	121
Figura 35 Dendrograma en el dominio Sedimentarios carbonatados del Cretácico.....	122
Figura 36 Mapa de la distribución geoquímica del vanadio	125
Figura 37 Mapa de interpolación de la Formación Pariatambo y las áreas anómalas de vanadio por dispersión geoquímica secundaria.....	127
Figura 38 Mapa de ubicación de la primera área interpolada	128
Figura 39 Mapa satelital de la primera área interpolada	129
Figura 40 Mapa de ubicación de la segunda área interpolada	130
Figura 41 Mapa satelital de la segunda área interpolada	130
Figura 42 Mapa de ubicación de la tercera área interpolada.....	131
Figura 43 Mapa satelital de la tercera área interpolada	132
Figura 44 Mapa de ubicación del "Área 1" para el muestreo de rocas.....	132
Figura 45 Mapa de ubicación de la cuarta área interpolada	133
Figura 46 Mapa satelital de la cuarta área interpolada	134

Figura 47 <i>Mapa de ubicación del "Área 2" para el muestreo de rocas</i>	134
Figura 48 <i>Mapa de ubicación de las muestras de rocas en el Área 1</i>	135
Figura 49 <i>Mapa geológico y ubicación de las muestras de rocas en el Área 1</i>	136
Figura 50 <i>Sección geológica del Área 1 y ubicación de las muestras de rocas</i>	137
Figura 51 <i>Distribución geoquímica del vanadio por formación geológica – Área 1</i>	140
Figura 52 <i>Distribución geoquímica del vanadio por facies en la Fm. Pariatambo</i>	141
Figura 53 <i>Mapa de ubicación de las muestras de rocas en el Área 2</i>	145
Figura 54 <i>Mapa geológico y ubicación de las muestras de rocas en el Área 2</i>	146
Figura 55 <i>Sección geológica del Área 2 y ubicación de las muestras de rocas</i>	147
Figura 56 <i>Distribución geoquímica del vanadio por formación geológica</i>	150
Figura 57 <i>Distribución geoquímica del vanadio por facies en la Fm. Pariatambo</i>	151
Figura 58 <i>Mapa con ubicación de las áreas de interés prospectivo por vanadio</i>	156
Figura 59 <i>Mapa de ubicación del área prospectiva Yanashallash</i>	157
Figura 60 <i>Mapa geológico del área prospectiva Yanashallash</i>	158
Figura 61 <i>Mapa de concesiones mineras dentro del área prospectiva Yanashallash</i>	159
Figura 62 <i>Mapa de ubicación del área prospectiva Kikash</i>	160
Figura 63 <i>Mapa geológico del área prospectiva Kikash</i>	161
Figura 64 <i>Mapa de concesiones mineras dentro del área prospectiva Kikash</i>	162

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Concentración de vanadio por tipo de roca</i>	32
Tabla 2 <i>Minerales que contienen vanadio en los Depósitos de titanio - magnetita vanadífera</i>	37
Tabla 3 <i>Minerales que contienen vanadio en los Depósitos de vanadio alojados en areniscas</i>	39
Tabla 4 <i>Minerales que contienen vanadio en los Depósitos de vanadio alojados en lutitas</i>	42
Tabla 5 <i>Minerales que contienen vanadio en los Depósitos de vanadato</i>	44
Tabla 6 <i>Minerales que contienen vanadio en los Depósitos magmáticos epitermal/pórfido</i>	46
Tabla 7 <i>Producción mundial de vanadio (en toneladas métricas)</i>	50
Tabla 8 <i>Consumo de vanadio en los EE.UU. (en toneladas métricas)</i>	52
Tabla 9 <i>Características de los tipos de climas en el área de estudio</i>	60
Tabla 10 <i>Límites de detección de los sedimentos de quebrada por proyecto del Ingemmet</i>	75
Tabla 11 <i>Métodos analíticos aplicados a las muestras de rocas</i>	77
Tabla 12 <i>Condiciones de medición (DRx)</i>	78
Tabla 13 <i>Límites de detección en las muestras de rocas</i>	78
Tabla 14 <i>Dominios litoestratigráficos presentes en el área de estudio</i>	80
Tabla 15 <i>Cantidad de muestras de los sedimentos de quebrada separado por dominio litoestratigráfico y por proyecto</i>	81
Tabla 16 <i>Laboratorios y tipo de análisis realizado en cada proyecto</i>	83
Tabla 17 <i>Comparación de los límites de detección de los dos proyectos</i>	84
Tabla 18 <i>Porcentaje de datos censurados en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico</i>	86
Tabla 19 <i>Porcentaje de datos censurados en los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior</i>	87
Tabla 20 <i>Cantidad de datos en los dominios litoestratigráficos principales</i>	89
Tabla 21 <i>Porcentaje de datos censurados del dominio de los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior del proyecto "Estudios de los Recursos Minerales del Perú, Franja 4"</i>	91
Tabla 22 <i>Porcentaje de datos censurados del dominio de los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior del proyecto "GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)"</i>	92
Tabla 23 <i>Porcentaje de datos censurados del dominio de los Sedimentarios carbonatados del Cretácico del proyecto "Estudios de los Recursos Minerales del Perú, Franja 4"</i>	93
Tabla 24 <i>Porcentaje de datos censurados del dominio de los Sedimentarios carbonatados del Cretácico del proyecto "GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)"</i>	94
Tabla 25 <i>Resumen estadístico de la distribución del Au con el método tradicional y con el método ROS Log normal</i>	96
Tabla 26 <i>Prueba T-Student para el dominio Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior</i>	100
Tabla 27 <i>Prueba T-Student para el dominio Sedimentarios carbonatados del Cretácico</i>	102
Tabla 28 <i>Métodos para nivelar datos geoquímicos</i>	105
Tabla 29 <i>Estadísticos descriptivos del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior</i>	111
Tabla 30 <i>Estadísticos descriptivos del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico</i>	113
Tabla 31 <i>Correlación de Pearson del vanadio con otros elementos en el dominio Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior</i>	116
Tabla 32 <i>Correlación de Pearson del vanadio con otros elementos en el dominio Sedimentarios carbonatados del Cretácico</i>	118
Tabla 33 <i>Parámetros geoquímicos en el dominio Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior</i>	123
Tabla 34 <i>Parámetros geoquímicos en el dominio Sedimentarios carbonatados del Cretácico</i>	124
Tabla 35 <i>Coordenadas y descripciones de campo de las muestras de rocas en el Área 1</i>	138
Tabla 36 <i>Concentración de vanadio en las muestras de rocas del Área 1</i>	139
Tabla 37 <i>Parámetros geoquímicos del vanadio por formación geológica - Área 1</i>	140
Tabla 38 <i>Parámetros geoquímicos del vanadio por facies en la Fm. Pariatambo</i>	141
Tabla 39 <i>Índices de Pearson en la Fm. Pariatambo del Área 1</i>	142

Tabla 40	<i>Clasificación mineralógica según su importancia con el vanadio – Área 1</i>	144
Tabla 41	<i>Coordenadas y descripciones de campo de las muestras de rocas en el Área 2.....</i>	148
Tabla 42	<i>Concentración de vanadio de las muestras de rocas del Área 2</i>	149
Tabla 43	<i>Parámetros geoquímicos del vanadio por formación geológica</i>	150
Tabla 44	<i>Parámetros geoquímicos del vanadio por facies en la Fm. Pariatambo</i>	151
Tabla 45	<i>Índices de Pearson en la Fm. Pariatambo del Área 2</i>	152
Tabla 46	<i>Clasificación mineralógica según su importancia con el vanadio - Área 2</i>	154

RESUMEN

El vanadio es considerado como un mineral estratégico en diversos países, se utiliza principalmente como aditivo en el acero porque hace aumentar su resistencia, sin embargo, se espera que la producción de vanadio crezca rápidamente debido al uso para las baterías de flujo redox. En la actualidad, el Perú no produce vanadio, la única mina de vanadio que existió fue Mina Ragra ubicada en Pasco, donde en 1906 inició sus operaciones hasta su cierre en 1955. Por lo tanto, analizando las demandas en aumento en el mundo por vanadio, será de mucha importancia definir áreas de interés favorables para la prospección de este elemento.

Mediante la información histórica que se tiene del vanadio en el Perú, se interpreta que este elemento está muy relacionado a la materia orgánica de la Formación Pariatambo, donde sus lutitas bituminosas tienen altos valores de vanadio entre 0.1 y 0.2%, pero si la materia orgánica llegaba a ser una asfaltita, muy similar al carbón, pero de origen marino podría llegar a tener entre 0.5 a 1.5% de vanadio. Existen mucha información de los años 50 sobre ocurrencias de asfaltitas en la Cordillera Central del Perú, pero, al ser muy antiguo no tiene coordenadas. Lo que se tiene claro es que estas vetas de asfaltitas ocurrirían en la Formación Pariatambo, así como sucede en Mina Ragra, donde se tuvo vetas de asfaltitas con minerales de alta ley de vanadio como la patronita.

El área de estudio se encuentra entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones de Áncash y Huánuco y solo delimita formaciones geológicas de edad Cretácica. Para poder iniciar el trabajo de prospección en el área, se trabajó con datos históricos del Ingemmet, los sedimentos de quebrada, realizando un correcto tratamiento estadístico para tener un mapa de anomalías de vanadio. Al evaluar cada zona anómala de vanadio mediante imágenes satelitales y su relación con la Formación Pariatambo, se optó por dos áreas para obtener muestras de roca. En cada área de muestreo se recolectó muestras de la Formación Pariatambo por facies, es decir, hubo muestras de calizas y lutitas, además se tomó muestras de formaciones

geológicas adyacentes al Pariatambo para corroborar que solo esta formación es la principal fuente de vanadio.

Los resultados de los análisis químicos corroboran lo interpretado en la información histórica del vanadio en el Perú, donde solo la Formación Pariatambo contiene altas concentraciones de vanadio llegando a superar los 1000 ppm. Además, los resultados químicos nos muestran que las lutitas son las que contienen mayor concentración de vanadio a comparación de las calizas dentro de esta formación.

Los resultados de los análisis mineralógicos y las bases teóricas nos muestran que, según la geoquímica del vanadio, estas estarían dentro de las estructuras de minerales arcillosos, minerales ricos en hierro y asociados a minerales específicos.

Finalmente, se define dos áreas de interés favorables para la prospección geológica por vanadio. El primero denominado Área Yanashallash, con un área de 25.64 km^2 y el segundo denominado Área Kikash, con un área de 2.01 km^2 . En ambas áreas de interés, solo delimita a la Formación Pariatambo como fuente de vanadio.

ABSTRACT

Vanadium is considered a strategic mineral in various countries due to its critical applications. It is primarily used as an additive in steel to enhance its mechanical properties, particularly its strength and resistance. However, global vanadium production is projected to increase significantly with the rising demand for redox flow batteries, a key component in large-scale energy storage systems. Currently, Peru does not produce vanadium. The only known vanadium mine, Mina Ragra, was located in Pasco and operated from 1906 until its closure in 1955. Given the increasing global demand for vanadium, it is imperative to identify favorable geological areas for vanadium prospecting in Peru.

Historical data indicate that vanadium in Peru is closely associated with the organic-rich rocks of the Pariatambo Formation. Bituminous shales within this formation contain vanadium concentrations ranging from 0.1% to 0.2%. In contrast, if the organic material is asphaltite, a marine-derived coal, vanadium concentrations can range from 0.5% to 1.5%. Reports from the 1950s document occurrences of asphaltite in the Central Cordillera of Peru, but these records lack precise geospatial coordinates. However, existing geological evidence suggests that asphaltite veins occur within the Pariatambo Formation, as observed at Mina Ragra, where high-grade vanadium minerals such as patronite were present.

The study area is situated between the districts of San Marcos and Queropalca, within the regions of Áncash and Huánuco, and is composed solely of Cretaceous-aged geological formations. To initiate prospecting activities in this area, historical data from Ingemmet and stream sediment samples were analyzed using rigorous statistical methodologies to generate a vanadium anomaly map. Each identified anomalous zone was further examined through satellite imagery to establish its correlation with the Pariatambo Formation. Based on these evaluations, two specific areas were selected for detailed rock sampling. Samples were systematically collected from different facies of the Pariatambo Formation, including

limestone and shale. Additionally, samples from adjacent geological formations were analyzed to confirm that vanadium mineralization is restricted to the Pariatambo Formation.

Geochemical analyses confirm the findings from historical data, revealing that significant vanadium concentrations are exclusive to the Pariatambo Formation, with values exceeding 1000 ppm. Furthermore, results indicate that vanadium is more concentrated in the shales than in the limestones within this formation.

Mineralogical studies, supported by theoretical geochemical models, suggest that vanadium is primarily hosted within clay minerals, iron-rich minerals, and specific vanadium-bearing mineral phases.

As a result of this research, two promising areas for vanadium prospecting have been delineated. The first, referred to as the Yanashallash Area, covers an area of 25.64 km², while the second, the Kikash Area, spans 2.01 km². In both areas, vanadium mineralization is confined exclusively to the Pariatambo Formation, highlighting its potential as a primary exploration target for vanadium resources in Peru.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Situación problemática

El vanadio es considerado un elemento crítico en la Unión Europea, los Estados Unidos y otras jurisdicciones (Simandl y Paradis, 2022). La Ley de Energía del 2020 define a un “mineral crítico” como no combustible o esencial para la seguridad económica o nacional de los Estados Unidos y que su suministro es vulnerable a interrupciones. Estos minerales cumplen una función especial en la fabricación de un producto, cuya ausencia tendría consecuencias negativas para la economía o la seguridad nacional.

Diversos países llaman a estos minerales críticos como “minerales estratégicos”, cada país las define de forma diferente según sus criterios. En el Perú, Acosta Ale et.al (2016) utiliza la definición de elementos estratégicos de Linnen et.al (2012) que considera a estos elementos que tienen alto riesgo de sufrir inconveniente en su suministro o que son importantes para la economía o defensa de un país.

El vanadio se utiliza hace décadas como aditivo en el acero, especialmente para aumentar su resistencia, de hecho, el 90% de su producción está destinado a esta aplicación, sin embargo, se espera que la producción del vanadio crezca rápidamente debido al aumento de su uso para las baterías de flujo redox (Simandl y Paradis, 2022)

En la actualidad, el Perú no produce vanadio. La única mina que explotaba vanadio fue Mina Ragra ubicada en Pasco que inició sus operaciones en 1906 hasta su cierre en 1955 (Samamé, 1981). Por lo tanto, el vanadio al ser considerado como elemento estratégico y/o crítico (según sea el caso) es de mucha importancia poder definir áreas de interés favorables para la prospección de este elemento y su posterior exploración en el territorio peruano.

Se han hecho muchas investigaciones referidas a la prospección geológica como herramienta para definir áreas de interés prospectivo de uno o más elementos en distintos proyectos, tal como la tesis de Ypanaqué (2022) en Perú, cuyo fin es caracterizar

geoquímicamente algunas vetas, afloramientos rocosos y realizar un cartografiado geológico con más detalle de las zonas de interés. Además de la prospección geológica, otra herramienta que se utiliza es la dispersión geoquímica secundaria para definir áreas regionales con anomalías geoquímicas de algún elemento de interés, como es el caso de la tesis de Vargas (2007), en Perú. A nivel internacional, se tiene los trabajos de Harmesa et.al (2023) en Surabaya, Indonesia, investigación sobre la especiación geoquímica del metal en el sedimento costero y de Duarte (2023) en el cuadrilátero Ferrífero, Brasil donde hizo un mapeo geoquímico por sedimento de corriente. Todas estas investigaciones nos sirven para realizar el trabajo de investigación de manera correcta.

1.2 Problemas de la investigación

1.2.1 Problema general

¿Al prospectar geológicamente por vanadio se podrá definir áreas de interés favorables entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco – Perú?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la unidad litoestratigráfica que contiene la mayor concentración de vanadio para definir áreas de interés favorables?
- ¿En qué facies de la unidad litoestratigráfica de aporte del vanadio se obtendrá la mayor concentración de este elemento para definir áreas de interés favorables?
- ¿Qué elementos asociados al vanadio en la unidad litoestratigráfica de aporte servirá para definir áreas de interés favorables?
- ¿Qué minerales son las principales fuentes de vanadio en la unidad litoestratigráfica de aporte de este elemento para definir áreas de interés favorables?

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación práctica

Con los resultados de esta investigación permitirá identificar áreas de interés prospectivo por vanadio, se podrá caracterizar las o la unidad litoestratigráfica de aporte y su relación entre ellas, complementándose con la información histórica recopilada en este trabajo.

1.3.2 Justificación teórica

La investigación pretende brindar conocimiento mediante la prospección geológica, al usar correctamente datos históricos de los sedimentos de quebrada, interpretar la información histórica recopilada, analizar imágenes satelitales para encontrar los lugares ideales para el muestreo de rocas. Y finalmente, interpretar los resultados químicos y mineralógicos para definir áreas de interés favorables por vanadio.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Prospectar geológicamente por vanadio para definir áreas de interés favorables entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco – Perú.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la unidad litoestratigráfica que contiene la mayor concentración de vanadio para definir áreas de interés favorables.
- Determinar las facies con mayor concentración de vanadio en la unidad litoestratigráfica de aporte de este elemento para definir áreas de interés favorables.
- Determinar los elementos asociados al vanadio en la unidad litoestratigráfica de aporte para definir áreas de interés favorables.
- Determinar los principales minerales fuentes de vanadio en la unidad litoestratigráfica de aporte de este elemento para definir áreas de interés favorables.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 *Mina Ragra*

Mina Ragra se encuentra en el distrito de Huayllay, provincia de Pasco, región de Pasco (ver Fig. 1). Antes de su descubrimiento como productor de vanadio, diversos mineros lo denunciaron con el objetivo de aprovechar sus sustancias carbonosas que en él existía como fuente de combustible, pero al tener altos contenidos de azufre de sus minerales los resultados fueron negativos (Panizo, 1948).

En 1900 se encontraba en operaciones la fundición de Huaraucaca, propiedad del señor Fernandini y su ingeniero a cargo el señor Antenor Rizo Patrón Lequerica. Su fundición generaba un constante interés en suministro de carbón, utilizado generalmente de la Cuenca Oyón. El señor Fernandini y el ingeniero Rizo Patrón sacaron muestras de carbón del yacimiento Mina Ragra. Al llevársela a su fundición el ingeniero Rizo Patrón observó que el carbón era realmente asphaltita y ocurría otro mineral negro que no era carbón. Entonces al hacerle un análisis cualitativo, resultó que tenía una fuerte proporción de vanadio juntamente con el azufre. Luego realizó una serie de análisis químicos cuantitativos, en especímenes seleccionados, prácticamente puros del mineral de vanadio, comprobó que la suma de porcentajes de los elementos determinados se acercaba al 100% lo cual no había lugar para otros elementos de dicho mineral negro. Por consecuencia, lo determinó como un sulfuro de vanadio de fórmula aproximada V_2S_5 . El ingeniero Rizo Patrón al revisar libros de mineralogía y no encontrar que el vanadio esté en combinación química exclusiva con el azufre, dedujo que se trataba de una nueva especie mineral hasta ese entonces (Samamé, 1981).

A principios de 1906 llegó al Perú una comisión técnica representada por los hermanos Flannery, de Pittsburgh, quienes buscaban depósitos más sustanciales de minerales de vanadio con el fin de desarrollar una nueva industria para el acero. Los hermanos Flannery contrataron

al Dr. Foster Hewett para investigar los depósitos peruanos de óxidos de vanadio contenido en la ceniza de las asphaltitas. Los análisis revelaron que el contenido de ceniza variaba en las asphaltitas, pero era uniformemente menor al contenido de ceniza en la mayor parte de los carbones. Ese mismo año el peruano José Julián Bravo y el Dr. Hewett ratificaron la exactitud de la clasificación hecha por el Ingeniero Antenor Rizo Patrón del mineral de Mina Ragra como un sulfuro de vanadio. El Ingeniero Bravo lo bautizó al nuevo mineral como “rizopatronita” en el Perú, mientras que, el Dr. Hewett lo nombró “patronite” en los Estados Unidos, en recuerdo del ingeniero que lo descubrió (Samamé, 1981).

Según Wilson (2002) ya desde la década de 1890, el vanadio se reconoció por primera vez cuando se trabajaba en vetas de asphaltita carbonífera para proporcionar coque para fundir los minerales producidos localmente y también como combustible para el sistema ferroviario. Se encontró que en la ceniza residual de la asphaltita contenía pentóxido de vanadio. Como resultado de este descubrimiento muchas operaciones a pequeña escala comenzaron a explotarlo como fuente de vanadio y no como combustible. Sin embargo, ante el descubrimiento de Mina Ragra, este opacó a las pequeñas operaciones ofreciendo una gran cantidad de minerales de alta ley.

Mina Ragra fue una operación a tajo abierto iniciada por Vanadium Corporation of America en 1906 y cerrada alrededor de 1955. Aunque era un tajo pequeño (alrededor de 200m x 100m de área y 65m de profundidad), los minerales eran lo suficientemente ricos como para producir el equivalente de varios cientos de toneladas de vanadio metálico al año. Durante las tres primeras décadas del siglo XX, Mina Ragra satisfizo a más de la mitad de la demanda mundial de vanadio (Wilson, 2002).

Las siguientes especies minerales de vanadio han sido encontradas en este yacimiento:

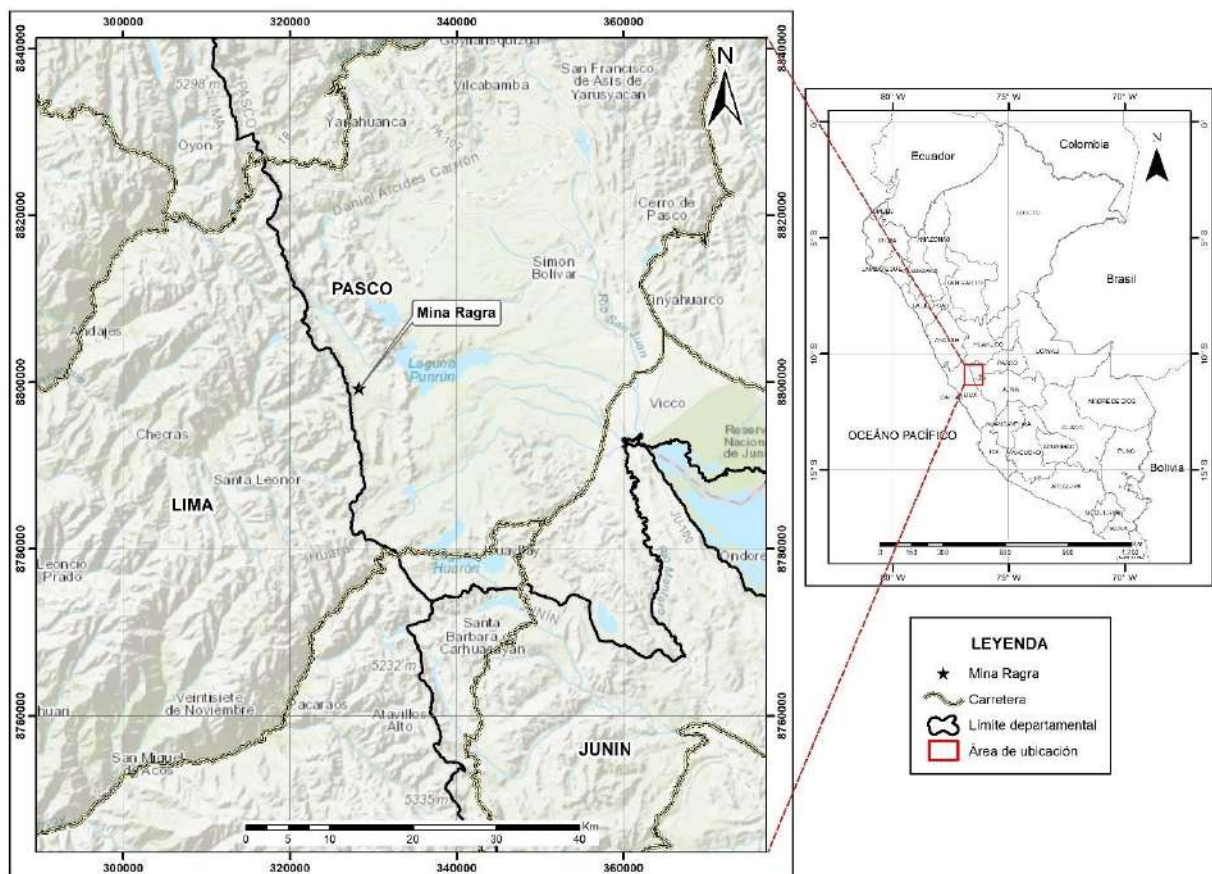
- Patronita: sulfuro de vanadio con 40 a 45% de ácido vanádico, después de tostado.
- Bravoíta: sulfuro de hierro y níquel con pequeñas cantidades de titanio, encontrado

entre los sulfuros.

- Pascoíta: hidro vanadato de calcio con 25% de ácido vanádico y 11% de agua.
- Minarragrita: óxido verde con 60 a 65% de ácido vanádico.
- Óxido Bruno: con 45 a 55% de ácido vanádico.
- Veta Madre: sulfato de calcio con 3 a 10% de ácido vanádico.
- Brosas: minerales pobres con menos de 3% de ácido vanádico.
- Melano-vanadita: cristales negros de hidrovandato de calcio, descubierto por el Ing. José V. Paniza en la zona norte del yacimiento.
- Quisqueíta: variedad asfáltica con mucho azufre y trazas de vanadio.
- Coque: proveniente de las asfaltitas con trazas de vanadio.

Figura 1

Mapa de ubicación de Mina Ragra



2.1.1.1 Origen de Mina Ragra

Según Wilson (2002) para entender el origen de Mina Ragra se ha considerado varias interrogantes, sin embargo, para este trabajo de investigación solo abordaremos dos de ellas, de donde se deriva el material original de Mina Ragra y cuál fue su mecanismo de emplazamiento.

- ✓ **Derivación del material original:** se derivaría de la Formación Pariatambo, debido a que esta unidad es de aproximadamente 100 m de lutitas negras y calizas bituminosas con diseminaciones de pirita y olor fétido al romperlo, está asociado con asfaltitas que contienen vanadio en el cinturón de empuje imbricado justo al oeste de Mina Ragra. Estas lutitas bituminosas de la Formación Pariatambo tienen 0.1 – 0.2% de vanadio mientras que las asfaltitas contienen 0.5 – 1.5% de vanadio. Cantidades menores de Ni, Mo, Ti y alrededor de 5% de azufre.

Los basaltos submarinos ocurren intercalados con la formación en algunas áreas, mientras que un gran volumen de basaltos coetáneos se acumuló en lo que ahora es la región costera del centro del Perú. Y es posible que los componentes metálicos de las lutitas bituminosas hayan estado asociados con este vulcanismo. Como resultado de la maduración térmica, la materia orgánica se convirtió en asfaltenos que formaron segregaciones dentro de la Formación Pariatambo concentrando componentes metálicos de la formación en los asfaltenos, también enriquecidos en azufre.

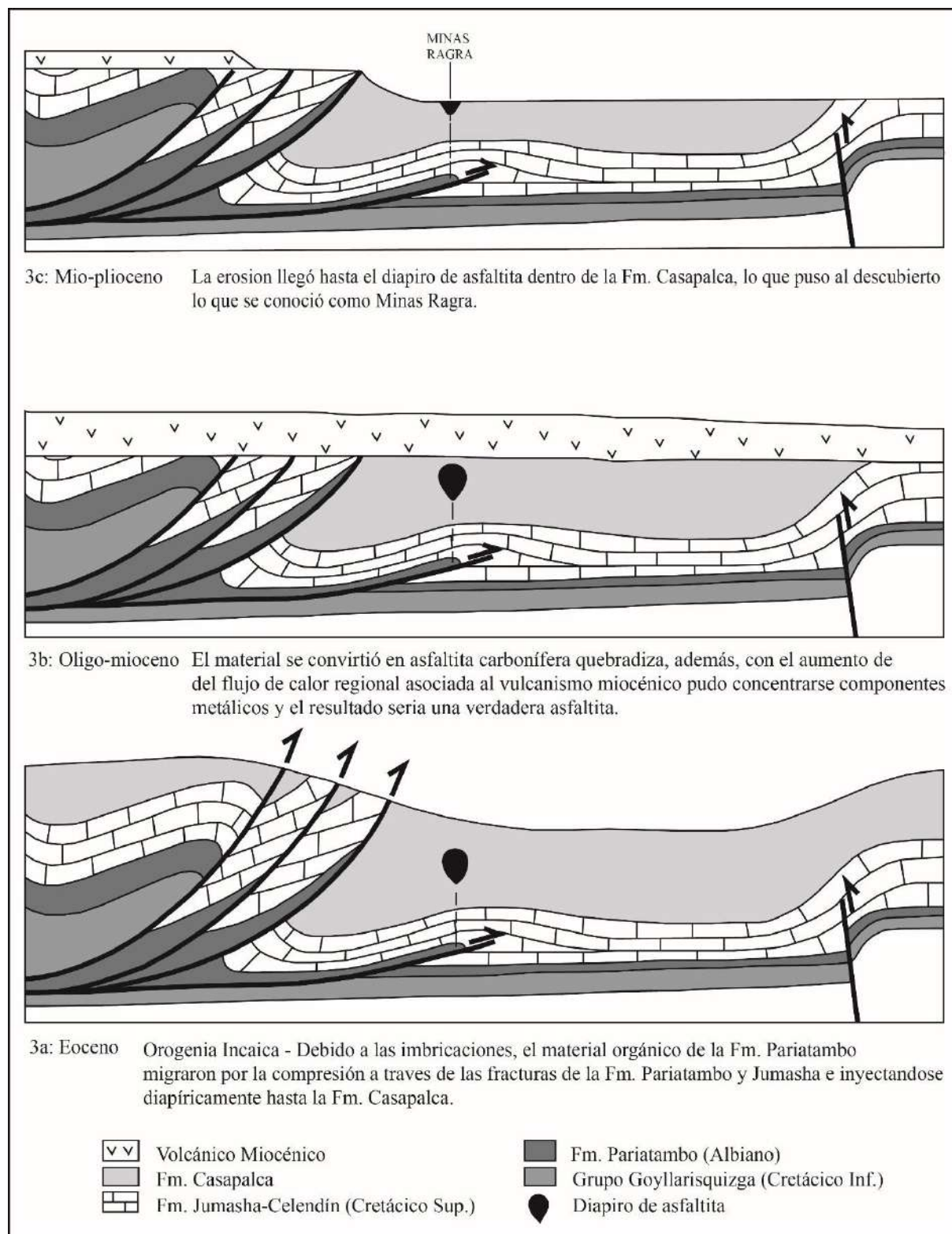
En la orogenia Incaica (Eoceno), los asfaltenos aun altamente plásticos migraron debido al régimen compresivo regional, ingresaron a las fracturas de la Formación Pariatambo y en la superpuesta Formación Jumasha donde ahora forman cuerpos transversales y concordante. Después de este emplazamiento, el material se convirtió en asfaltita carbonífera quebradiza, que generalmente constaba de aproximadamente 50% de carbono, 40% de volátiles, 5% de azufre, 0.5 – 1.5% de vanadio y cenizas menores. Probablemente la conversión en asfaltita se dio con el resultado del aumento del flujo de calor regional

asociada con el vulcanismo generalizado del Terciario Temprano. Por lo tanto, se puede deducir que el material original de Mina Ragra se derivó de las asphaltitas asociadas con la Formación Pariatambo (ver Fig. 2).

- ✓ **Mecanismo de emplazamiento:** Mina Ragra se encuentra en un sinclinal de la Formación Casapalca. Está claro que las asphaltitas debieron haber emplazado tectónicamente dentro de los lechos rojos del Casapalca, pero el mecanismo no está tan claro. La Formación Pariatambo comúnmente ocurre en la base de las láminas de cabalgamiento individuales en el cinturón de rocas caliza imbricada hacia el oeste y facilitó el desarrollo del cabalgamiento. Probablemente las lutitas/calizas/asfaltenos todavía plásticos imbricados pasaron hacia el este de la faja imbricada y este material fue inyectado diapíricamente en las secuencias de lecho rojo suprayacente. El sinclinal de la Formación Casapalca fue posterior.

Figura 2

Ilustración esquemática del origen propuesto de Mina Ragra



Nota. La imagen representa las secuencias del mecanismo de emplazamiento del diapiro de asphaltita en Mina Ragra. Tomado de The Minas Ragra vanadium deposit. Central Peru: posible génesis (p.633), por J. J. Wilson, 2002, Sociedad Geológica del Perú.

2.1.2 *Asfaltitas vanadíferas en el Centro del Perú*

Según Baragwanath (1921) las asfaltitas ocurren como una serie de vetas en las calizas del Cretácico encontrándose en cuatro distritos, sin embargo, el vanadio no se encuentra en cantidades suficientes para que la extracción comercial sea rentable en esa época.

Las asfaltitas vanadíferas del Perú Central se encuentran en las regiones de Junín y Lima a lo largo de ambas vertientes de la Cordillera Occidental de los Andes. Las ocurrencias se extienden desde Marcapomacocha por el norte hasta Sillapata (Carhuapampa) por el sur.

- El distrito de Yantac, cerca de Marcapomacocha que comprende parte de la provincia de Yauli, región de Junín y parte de la provincia de Canta, región de Lima. Se han descubierto más de una docena de vetas, interestratificado en calizas de edad Cretácica. La asfaltita tiene de 10 a 20% de ceniza, que va desde 5 a 16% de óxido vanádico que en promedio es alrededor de 7%.
- Los depósitos de asfaltita de Sillapata (Carhuapampa) está ubicado en la provincia de Huarochirí, región de Lima a quince millas de la estación ferroviaria de Matucana. Las vetas ocurren en una franja de caliza metamorfozada entre dos grandes flujos de rocas riolíticas. Son estrechos e irregulares, han sido depositados tanto al largo de los planos de estratificación de la caliza como en fisuras que cortan la formación en varios ángulos. La asfaltita es baja en volátiles y alta en carbono fijo y ceniza. El contenido promedio de vanadio es un poco menos de 1% de V_2O_5 .
- Los depósitos más importantes de asfaltita se encuentran cerca de Huari, un pequeño pueblo en la provincia de Tarma, región de Junín. El mineral es cerca de una verdadera asfaltita en su apariencia y comportamiento. Existen dos depósitos importantes:
 - Mina Chiucho: situada a quince millas de la vía férrea, a una altura de 13800 pies.

La asfaltita se presenta en depósitos lenticulares interestratificado en una serie de calizas y areniscas. La veta principal tiene un espesor de 6 pulgadas a 35 pies, rumbo

NO y buzamiento casi vertical. Su análisis es humedad (2.35%), volátiles (40.45%), azufre (4.9%), carbono fijo (55%), ceniza (2.2%). El porcentaje de vanadio presente en la ceniza es bajo, oscilando entre el 1 y 2.5%.

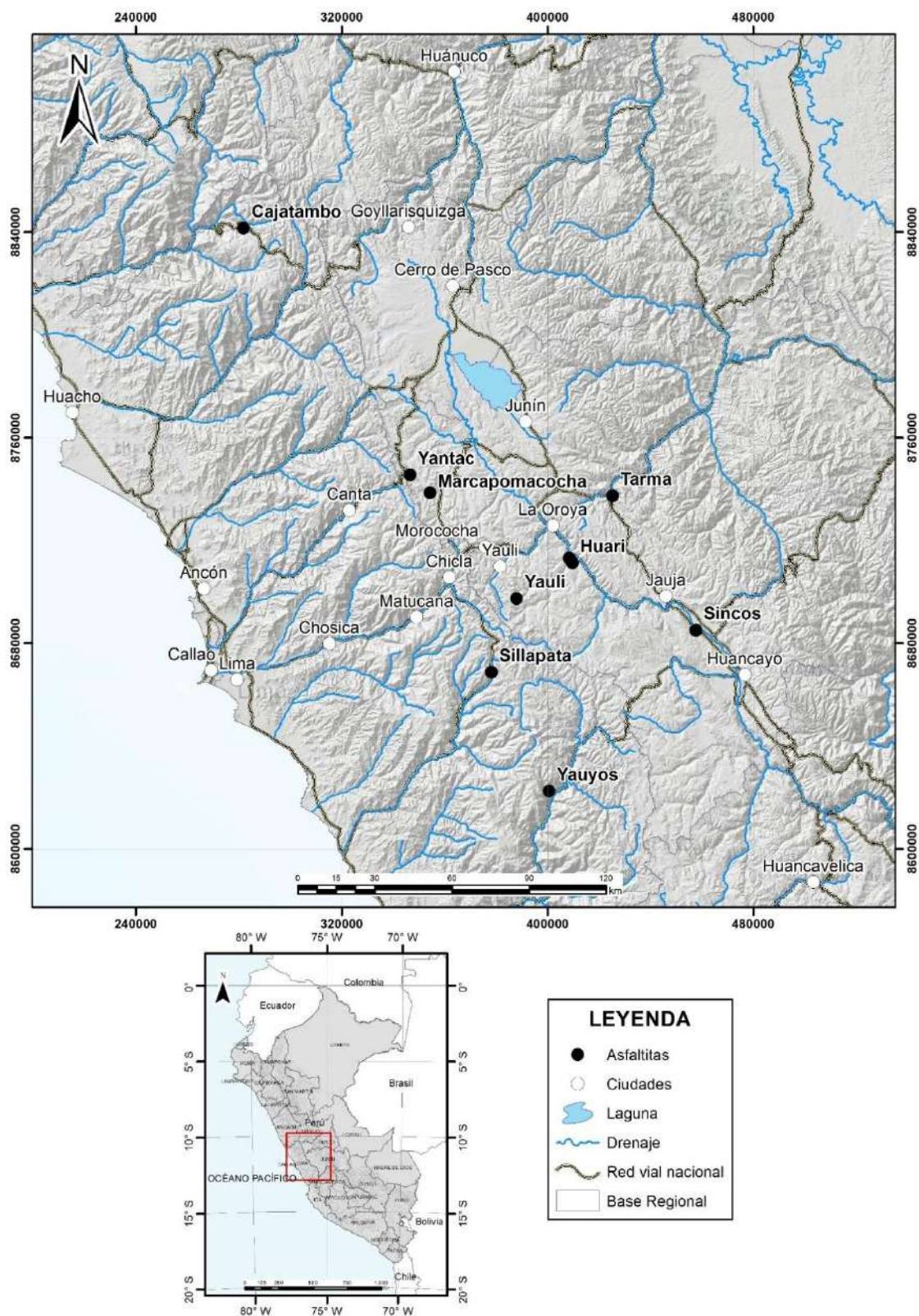
- Mina La Lucha: se encuentra a cinco millas de la vía férrea, la cual se conecta mediante un pequeño tranvía. La veta se encuentra en caliza, consiste en una serie de lentes separados por largos tramos estériles. Su característica principal son las ramificaciones angostas desde la veta principal que penetran en las grietas de las calizas. La asfaltita es similar a la de la Mina Chiucho, aunque algo más alta en cenizas e incluso más baja en vanadio. Su análisis en humedad (1.15%), volátiles (48.65%), azufre (5.2%), carbono fijo (44.48%), ceniza (5.72%).
- Las asfaltitas del distrito de Yauli, con excepción de la Mina Rumichaca, no son importantes como fuente de combustible sino por su alto contenido de vanadio. La asfaltita tiene un carácter antracítico, baja en ceniza y arde con poca o ninguna llama, dejando una ceniza ligera, que cuando se expone a la intemperie se vuelve verde debido a la presencia de óxido vanádico. Estas ocurren en calizas altamente deformadas e inclinadas de edad Cretácico superior, tanto al largo de sus planos de estratificación como en vetas que cortan la formación.
 - Mina Llacsacocha: esta mina antigua se encuentra a 13 millas al sur del pueblo de Yauli. Tiene cierta apariencia a una antracita, es negro y lustroso, aparentemente libre de pirita. Se presenta como una serie de lentes a lo largo de la estratificación de calizas, también con la asfaltita se asocia bandas de lutita oscura. El depósito parece una veta ordinaria de carbón semi-antracítico algo triturado, pero en las pequeñas fisuras que irradian desde la veta principal. Cerca de esta veta se encuentra una roca intrusiva ácida de color verde claro que también siguen los planos de la estratificación de las calizas, lo que hace pensar que influyó en la alteración del

asfalto original a su estado actual de antracita. Su análisis en volátiles (88.2%), carbón fijo (9%), ceniza (2.8%). Las muestras de varias pilas de asphaltita en los vertederos promediaron un 3% de ceniza, con un 15% de V_2O_5 , lo que indica un contenido de vanadio en el material de solo 0.45% de V_2O_5 .

- Mina Rumichaca: la asphaltita es similar a la de Llacsacocha pero se rompe más finamente en la minería. Ocurre en lentes irregulares interestratificado en calizas variando de espesor desde unas pocas pulgadas hasta 40 pies en un punto. El promedio de todas las muestras dio un 16% de ceniza con un 5.3% de V_2O_5 en la ceniza.
- Mina Negrita: ubicada a 15 millas de la vía férrea cerca de la laguna Huallacocha. La asphaltita corta las calizas y lutitas del distrito. La veta no está tan lejos de un gran intrusivo de monzonita. La única muestra arrojó un 2% de ceniza, con un 17% de óxido vanádico en la ceniza. La asphaltita de Negrita se rompe más toscamente y es generalmente más pura que la de Llacsacocha o Rumichaca y es similar en apariencia y análisis.

Figura 3

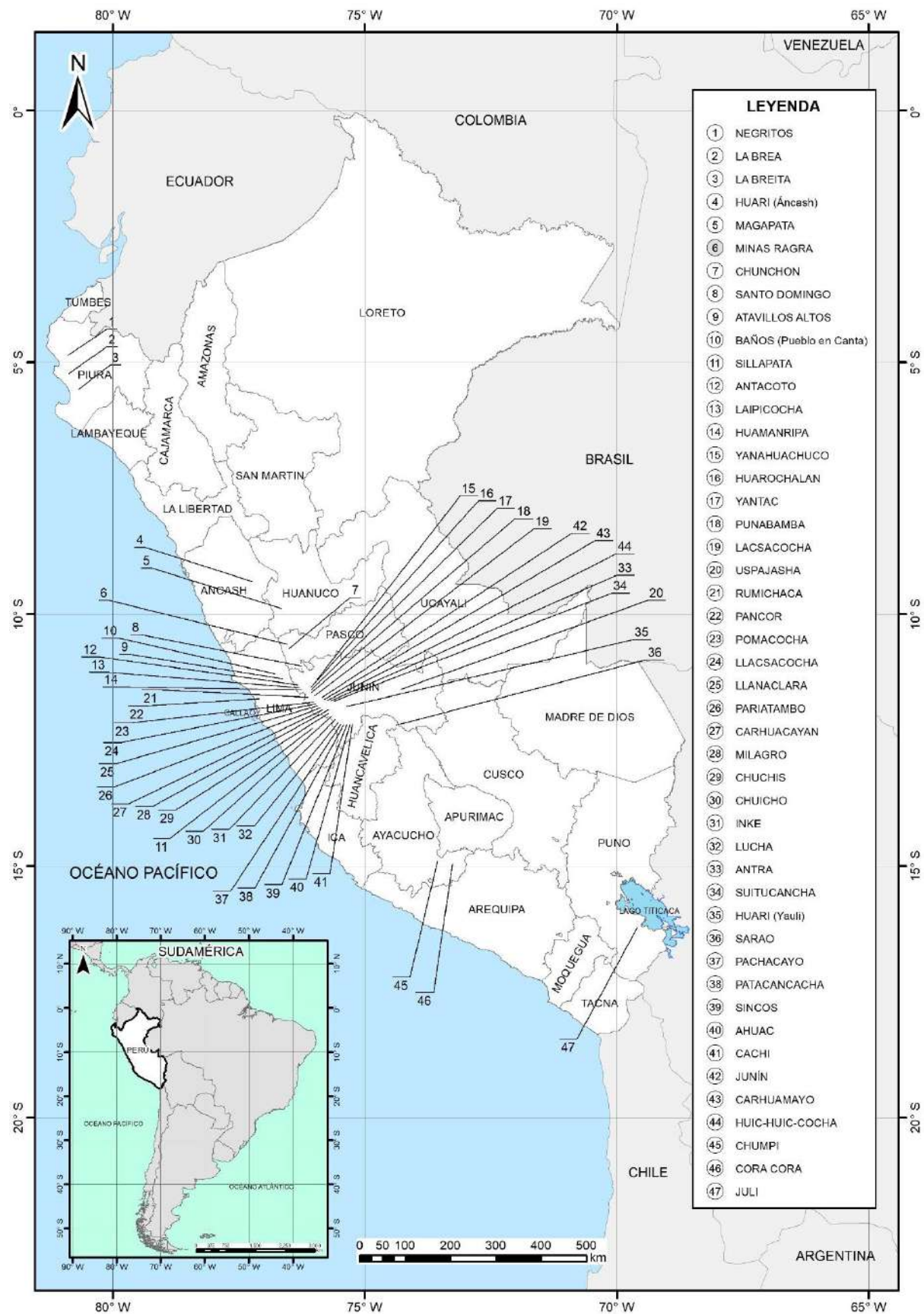
Mapa croquis del centro del Perú que muestra la ubicación de los depósitos de asfaltita



Nota. Modificado de The vanadiferous asphaltites of central Peru; occurring as a series of veins in Cretaceous limestones, they are found in four districts – Vanadium is present, but not in sufficient quantity to make commercial extraction (p. 778 – 781), por J.G. Baragwanath, 1921, *Engineering and Mining Journal*, 111(19).

Figura 4

Depósitos de asfaltitas vanadíferas en la Cordillera Occidental del Perú



Nota. Modificado de El Perú Minero, Tomo V: Metales y minerales (p. 209) por M. Samamé (1981).

2.1.2.1 Ocurrencia y características de las asphaltitas vanadíferas del Centro del Perú

Por lo mencionado en el ítem anterior existe similitud en la ocurrencia y asociación geológica de las asphaltitas peruanas. Todas las asphaltitas se encuentran como una serie de lentes en calizas extremadamente deformadas e inclinadas de edad Cretácica donde hay estrechas bandas de lutitas intercaladas, asimismo, existen rocas ígneas posteriores alrededores que puede o no haber tenido alguna influencia en la formación de estos depósitos. Estas asphaltitas exhiben poca o ninguna pirita, pero contiene de 2 a 5% de azufre, todos contienen vanadio que probablemente esté como sulfuro.

Las asphaltitas parece haberse formado hacia el final del periodo de movimiento que resultó en los fallamientos e inclinaciones de las calizas del centro del Perú, en vetas sobre las fisuras o planos de estratificación. Se propusieron varias teorías sobre el origen de las asphaltitas, donde al parecer las fisuras extrajeron “piscina” o depósitos de petróleo asfáltico pesado existente en las calizas o lutitas o en alguna formación subyacente. El petróleo surgió probablemente en la fisura debido a la presión hidrostática (así como sube el petróleo en pozos cuando se perforan las arenas bituminosas). Los verdaderos asfaltos se formaron entonces por la condensación del petróleo, eran los productos de la destilación natural perdiendo los constituyentes volátiles del petróleo original. La presión subsiguiente crea una tendencia a que la fisura se cerrara y, por lo tanto, comprimiera el relleno de asfalto provocando que parte del material fuera forzado hacia las pequeñas juntas y grietas de la roca de la pared. La presión continua, posiblemente ayudado por el calor y por la presencia de azufre en forma de hidrógeno sulfurado, produjo un endurecimiento general del material y un metamorfismo a su actual estado similar al carbón (Baragwanath, 1921).

2.1.2.2 Posible génesis de la concentración de vanadio

Según Baragwanath (1921), el origen del vanadio presenta un problema interesante, aunque difícil, suponiendo que el asfalto se derivó del petróleo que se encontraba en los

sedimentos circundantes y que se encontró su camino hacia las fisuras abiertas. Es difícil concebir que el vanadio se haya filtrado a través de la roca caja, incluso si las reacciones químicas requeridas en tal proceso fueran posibles.

Parece haber una relación entre el bitumen y la presencia de vanadio, donde se ha encontrado rastros de este metal en muchas vetas de asphaltita en los Estados Unidos, e incluso depósitos de asfalto. Esta asociación es particularmente marcada en Mina Ragra, que el Sr. Hewitt considera como “una fase extrema de diferenciación de la asphaltita”.

Es muy improbable que el vanadio se haya derivado de las rocas que contienen las fisuras de asphaltita o de soluciones vanadíferas que circulan en las vetas durante su formación. En cambio, la presencia generalizada de vanadio asociado con los asfaltos, asphaltitas o incluso lutitas bituminosas en varias partes del mundo, se llega a pensar que el metal fue un constituyente original del petróleo asfáltico o bitumen a partir del cual se formaron las asphaltitas peruanas.

2.2 Bases teóricas

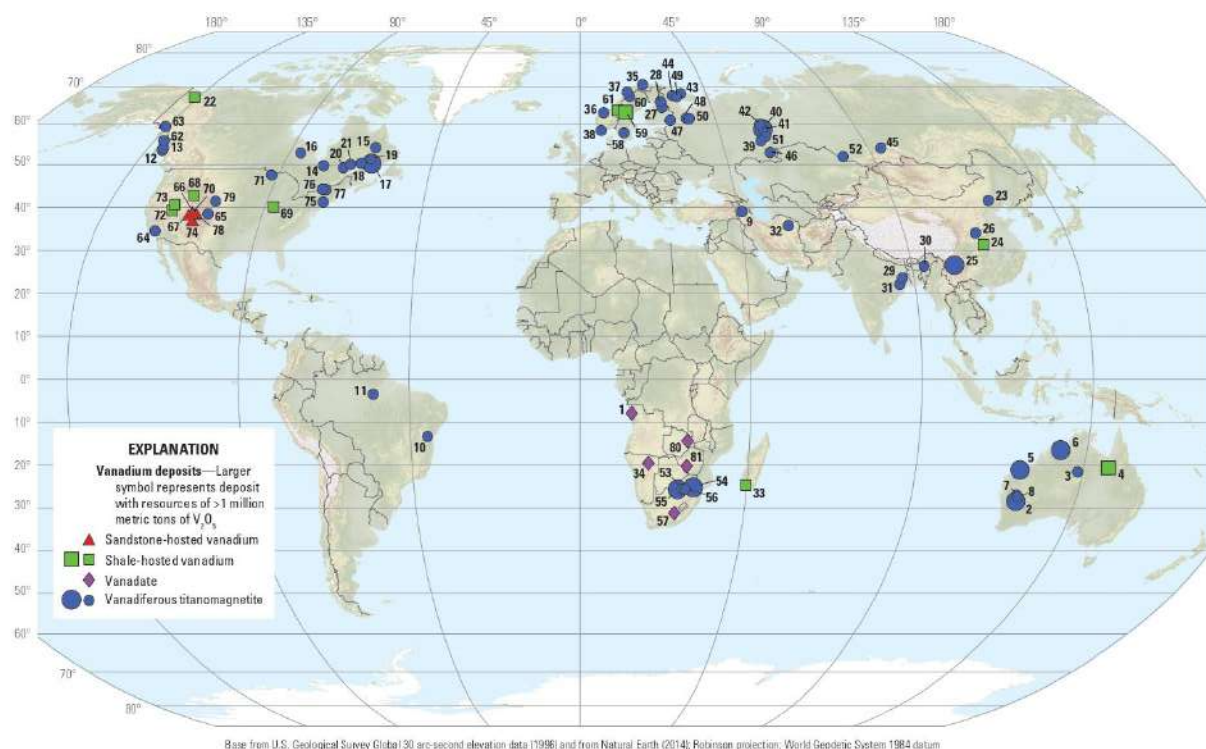
2.2.1 Vanadio

El vanadio es un metal estratégico que se utiliza principalmente en la producción de aleaciones metálicas, como acero de alta resistencia y aleaciones para uso en la industria aeroespacial. Otros usos secundarios son como catalizadores para la industria química y en cerámica, vidrios y pigmentos.

El vanadio es el vigésimo segundo elemento más abundante en la corteza terrestre. Tiene un total de 156 minerales que lo contienen como componente principal (>10% en peso). Comprende cuatro tipos de depósitos minerales: titanio - magnetita vanadífera, vanadio alojado en areniscas, vanadio alojado en lutitas y depósitos de vanadatos. Además, se puede obtener como subproducto en la refinación del petróleo y procesamiento del carbón (Kelley et al., 2017).

Figura 5

Mapa de ubicación de los principales tipos de depósitos de vanadio en el mundo



Nota. Los números se refieren al número de identificación en el Anexo 1, que contiene información adicional sobre los recursos de vanadio en estos depósitos. Tomado de Vanadium. Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply (Chapter U), por K. D. Kelley et al., 2017.

2.2.2 Geoquímica del vanadio

El vanadio es un oligoelemento con una abundancia promedio en la corteza continental superior de aproximadamente 60 ppm y en la corteza continental inferior un promedio de 285 ppm. El vanadio tiene mayor concentración en rocas ígneas máficas (alrededor de 250 ppm), en rocas ultramáficas y de composición intermedia su concentración es menos abundante (alrededor de 50 ppm) y en rocas félsicas concentra pequeñas cantidades (alrededor de 20 ppm). (ver Tabla 1) (Kelley et al. 2017).

El vanadio está muy relacionado con sedimentos ricos en materia orgánica. La concentración promedio en las lutitas es alrededor de 130 a 205 ppm, pero en algunas lutitas carbonosas puede tener hasta 5000 ppm de vanadio, por ejemplo, las lutitas en el este de Kentucky. La adición del vanadio a los sedimentos ricos en carbono orgánico se debe a la

reducción, adsorción y complejación. Las especies de vanadato (V^{+5}) disueltas en aguas de mar óxicas se reducen a iones de vanadio (V^{+4}) mediante compuestos orgánicos o sulfuros de hidrógeno (H_2S) y se adsorben fácilmente en la superficie de las partículas a medida que se asientan durante la sedimentación. El vanadio V^{+3} puede sustituir al aluminio en los sitios octaédricos de las arcillas (Breit y Wanty, 1991).

Tabla 1

Concentración de vanadio por tipo de roca

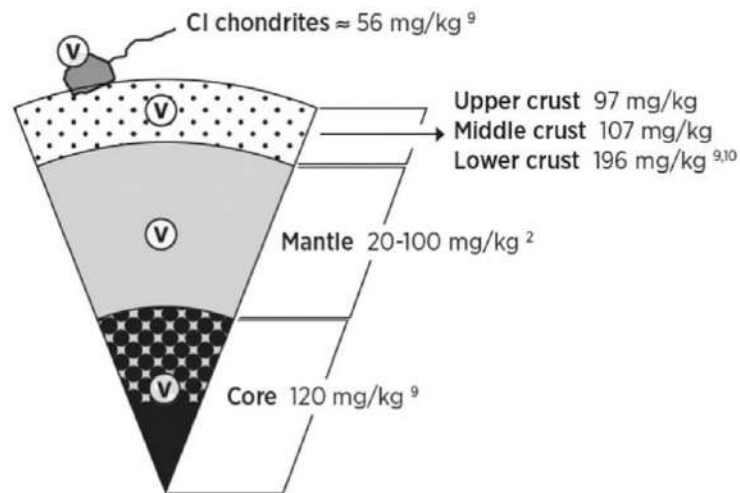
Ambiente	Concentración de vanadio	Unidad	Comentarios	Referencia(s)
Rocas				
Corteza continental superior	60	ppm	Promedio	Taylor y McLennan (1995)
Corteza continental promedio	230	ppm	Promedio	Taylor y McLennan (1995)
Corteza continental inferior	285	ppm	Promedio	Taylor y McLennan (1995)
Granito	20	ppm	Promedio	Levinson (1974, p. 44)
Basalto	250	ppm	Promedio	Levinson (1974, p. 44)
Caliza	15	ppm	Promedio	Levinson (1974, p. 44)
Lutita	130	ppm	Promedio	Levinson (1974, p. 44)
Lutita negra	205	ppm	Promedio	Ketris y Yudovich (2009)

Nota. Tomado de Vanadium. Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply (Chapter U), por Kelley et al., 2017.

Según Huang (2015) para entender la distribución del vanadio en la Tierra es comparándola con el contenido de vanadio en las condritas. Las condritas C1 representan los materiales primitivos indiferenciados del sistema solar a partir del cual se formó la Tierra. La concentración de vanadio en las condritas C1 son bastantes consistente con 56 ppm; en el núcleo de la Tierra es de 120 ppm. En el manto se promedió con los contenidos de vanadio en las peridotitas que van desde los 20 a los 100 ppm, las cuales son más bajos que la concentración en los basaltos de la dorsal oceánica (MORB), basaltos de islas oceánicas (OIB) y basaltos de arco de islas (IAB), lo cual indica que el vanadio es levemente incompatible durante la fusión parcial del manto. Y en la corteza inferior es de 196 ppm, un contenido de

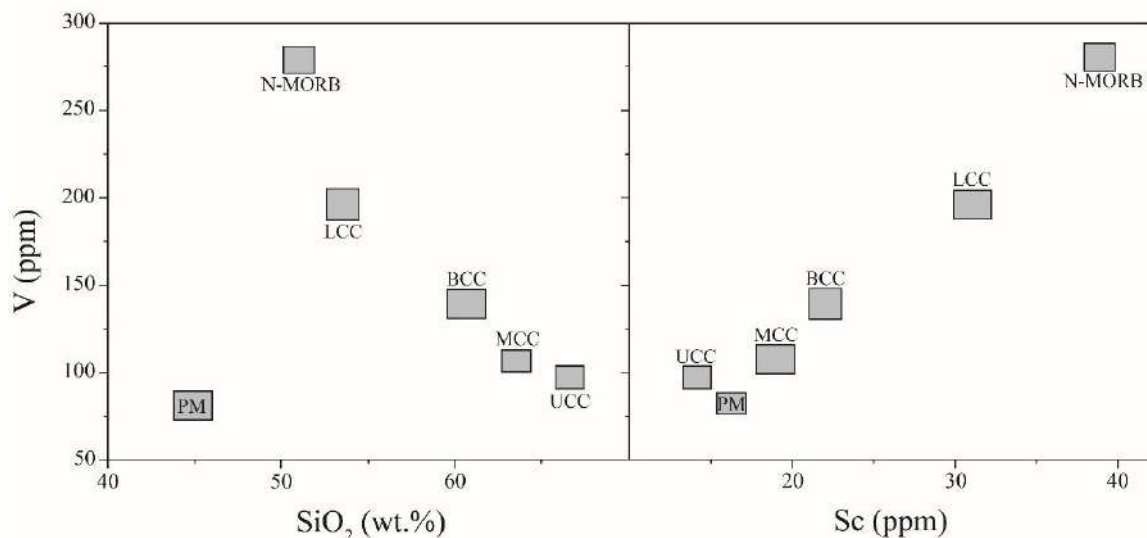
vanadio dentro del rango de los basaltos derivados del manto, pero mayor que el manto primitivo (82 ppm), la corteza media con 107 ppm y la corteza superior con 97 ppm (ver Fig. 6 y 7).

Figura 6
Contenido promedio de vanadio en las capas de la Tierra



Nota. Tomado de Vanadium: Global (bio)geochemistry. Chemical Geology, vol 417, p.68-89, por Huang et al. (2015).

Figura 7
Correlaciones de los contenidos de V con SiO₂ y Sc en extremos geoquímicos



Nota. PM: manto primitivo; UCC: corteza continental superior; MCC: corteza continental media; LCC: corteza continental inferior; BCC: corteza continental promedio; N-MORB: basaltos normales de la dorsal oceánica. Esquema tomado de Vanadium: Global (bio)geochemistry. Chemical Geology, vol 417, p.68-89, por Huang et al. (2015).

El vanadio se puede incorporar a la estructura de minerales secundarios como arcillas (micas, illitas, caolinita y clorita), óxidos hidratados de Fe-Mn y facies ricas en materia orgánica durante la diagénesis, el metamorfismo y los procesos térmicos hidratados (Huang, 2015). Los estados de oxidación del vanadio son +2, +3, +4 y +5. El ion trivalente V^{+3} tiene un radio octaédrico de 0.061nm muy idéntico al hierro férrico (Fe^{+3} , 0.063nm). Como consecuencia, el vanadio puede sustituir a minerales ricos en hierro como el anfíbol, la biotita, magnetita y el piroxeno. Y en los minerales arcillosos el V^{+4} sustituye al aluminio (Al^{+3} , 0.054nm) en la lámina octaédrica como VO^{+2} en los minerales de hierro y ferromagnesianos (Kelley et al., 2017).

El petróleo crudo puede contener altas concentraciones de vanadio, esto es debido a que el vanadio es absorbido por algas, plancton y plantas y su incorporación en grupos de porfirina (p.e. clorofila). La materia orgánica se asienta en cuencas donde tiene lugar la degradación, provocando el desarrollo de condiciones anóxicas. La descomposición de la materia orgánica y los procesos diagenéticos tienden a concentrar elementos traza en estos materiales. El vanadio es uno de los elementos que se enriquecen y se concentran en las fracciones de crudo pesado del petróleo (hasta 1200 ppm). El asfalteno en el petróleo crudo contiene hasta 5000 ppm. Barwise (1990) desarrolló un esquema de clasificación que relaciona al Ni/V con el ambiente deposicional, ya que el níquel también es un metal abundante en el petróleo. Los ambientes identificados para la acumulación de materia orgánica que conduce a la génesis del petróleo son marinos si $Ni/V < 0.5$ y lacustres o terrestres si $Ni/V = 1-10$. Esta clasificación por relaciones de Ni/V se ha utilizado para distinguir las fuentes de petróleo crudo entre ambientes marinos y terrestres (Barwise, 1990).

El vanadio en el carbón generalmente se considera como un elemento traza debido a que su concentración suele ser menor a 100 ppm. El carbón puede contener hasta un 70% (en volumen) de material no carbonoso, que suelen ser minerales de aluminosilicatos, como arcillas

o carbonatos.

En las lutitas que contienen altas concentraciones de materia orgánica, conocidas como lutitas negras o carbonosas, generalmente están enriquecidas de vanadio en relación con las lutitas “promedio”. Las lutitas carbonosas pueden contener hasta 16000 ppm en comparación con las lutitas no carbonosas que promedian 130 ppm. Así como en el carbón, el vanadio en las lutitas se asocia preferentemente con minerales arcillosos (Huang, 2015).

2.2.3 Tipos de depósitos de vanadio y su mineralogía

Existen cuatro tipos principales de depósitos de minerales donde el vanadio se presenta en concentraciones económicas. También está presente como componente menor en otros tipos de depósitos, así como en combustibles fósiles como fuente importante de vanadio (Kelley et al., 2017).

2.2.3.1 Depósito de titano - magnetita vanadífera

Este tipo de depósito se encuentra en casi todo el mundo y son las principales fuentes de vanadio, los depósitos de vanadio de mayor importancia económica incluyen al Complejo Bushveld, en Sudáfrica; la intrusión en capas de Panzhihua en la provincia de Sichuan, China; el macizo de Kachkanar en los Montes Urales en Rusia; el Complejo Windimurra en Australia Occidental y el Complejo Bell River (depósito Matagami) y el Complejo Lac Doré en Quebec, Canadá.

Estos depósitos consisten en acumulaciones magmáticas de magnetita e ilmenita que pueden tener leyes más del 1% de rutilo, y que comúnmente contiene de 0.2 a 1% de V_2O_5 como en el Complejo Bushveld (Reynolds, 1985). La mayoría de estos depósitos son de edad arcaica o proterozoica y se formaron en entornos tectónicos continentales de intraplaca, otros depósitos más jóvenes como en la región Panzhihua, provincia Sichuan, China. Algunos depósitos están asociados a las plumas del manto y puntos calientes.

Los depósitos están alojados principalmente dentro de rocas ígneas máficas y

ultramáficas (anortosita y gabro comúnmente), sin embargo, estas litologías pueden variar. Por ejemplo, en el Complejo Bushveld la litología varía desde dunita y piroxenita hasta la anortosita y con capas de óxido puro. Otros depósitos vanadíferos están alojados en complejos zonificados entre máficos a ultramáficos con altos niveles de cromo y elementos del grupo del platino, por ejemplo, los depósitos de Unión Bay en Alaska (Estados Unidos) y el Complejo Kachkanar en Sverdlovsk Oblat, Rusia. Algunos depósitos están asociados con rocas ígneas alcalinas, por ejemplo, la sienodiorita está genéticamente relacionado con el gabro en capas en el distrito de Panzhihua, provincia Sichuan, China y el depósito de Ganjang en Assam, noreste de India.

En cuanto a la mineralogía, la mayor parte del vanadio está en solución sólida en la magnetita – ulvoespinela, donde el V^{+3} ha reemplazado al Fe^{+3} ; la espinela rica en vanadio, la coulsonita (FeV_2O_4) se presenta como pequeñas ampollas y hojas de exsolución en la magnetita en algunos depósitos. La ilmenita, hematita, rutilo y perovskita comúnmente acompañan a la magnetita. Cuando la magnetita se expone al intemperismo se puede oxidar a vanadomaghemita ($(FeTi)_2O_3$).

Los minerales pueden presentarse masivos o diseminados. Los minerales masivos generalmente consisten en granos muy compactos, con más del 80% de titanio – magnetita y cantidades variables de clinopiroxeno, olivino y plagioclasa. Si hay silicatos, estos están completamente rodeados de óxidos. Por otro lado, los minerales diseminados son generalmente de grano grueso y están compuestos de alrededor del 50% de titanio – magnetita, 20% de clinopiroxeno, 20% de plagioclasa, 10% de ilmenita y pequeñas cantidades de olivino (Kelley et al., 2017).

Tabla 2*Minerales que contienen vanadio en los Depósitos de titano - magnetita vanadífera*

Depósitos de titano - magnetita vanadífera	
Mineral	Fórmula química
Coulsonita	$(Fe, V)_3O_4$
Hematita	Fe_2O_3
Ilmenita ¹	$FeTiO_3$
Magnetita ¹	Fe_3O_4
Perovskita	$CaTiO_3$
Rutilo	TiO_2

¹Más común

Nota. Tomado de Vanadium. Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply (Chapter U), por K. D. Kelley et al., 2017).

2.2.3.2 Depósitos de vanadio alojados en areniscas

Algunos de los depósitos de uranio alojados en areniscas en el mundo, tienen enriquecimiento de vanadio. Estos depósitos que contienen uranio y vanadio tienen leyes promedio que oscilan entre 0.1 y 1% en peso de vanadio. Estados Unidos es el principal productor de vanadio de este tipo de yacimiento, en particular de la Meseta del Colorado, además es su principal fuente interna de vanadio. Otras areniscas enriquecidas de vanadio incluyen al depósito Bigirlyi en el Territorio del Norte, Australia que tiene una ley de 0.13% en peso de vanadio, los depósitos en el distrito de Tonco Amblyo, Argentina que tiene leyes de 0.1 a 0.3% en peso de vanadio.

La provincia de la Meseta del Colorado incluye una serie de eventos geológicos y tectónicos, la cual incluye la deposición de estratos evaporíticos – sapropélicos de los cuales se derivaron los fluidos de salmuera; deposición de areniscas fluviales de grano fino, localmente carbonosas, que sirvieron como roca hospedante para los depósitos, la generación de magma y emplazamiento de lacolitos durante el Terciario que puede haber calentado y transportado los fluidos de salmuera hacia arriba a lo largo de estructuras favorables. Estos depósitos ocurren como lentes fluviales de areniscas en unidades de edad Triásica (Formación Chinle) y Jurásica (Formación Morrison). El depósito de vanadio de mayor importancia

económica está dentro del Miembro Salt Wash, unidad basal de la Formación Morrison, con un espesor de 30 a 150m, contiene arenisca fluvial lateralmente continua y lutitas intercaladas. Los depósitos de vanadio alojado en arenisca se encuentran típicamente en áreas con acumulaciones locales de material carbonoso detrítico. La pirita es común en todas las formas de material vegetal carbonizado. Las concentraciones de V_2O_5 en los minerales suelen ser del 1% o más y algunos depósitos al suroeste de Colorado tiene leyes de más de 2.5% (Shawe, 2011).

Los minerales de uranio – vanadio forman la matriz de las areniscas mineralizadas y reemplazan localmente a los granos detríticos de cuarzo y feldespato. Los minerales primarios de estos depósitos consisten de minerales negros compuesto por coffinita, montroseita, uraninita y aluminosilicato de vanadio (es decir minerales con V^{+3} , de baja valencia). Estos minerales primarios se modifican por oxidación secundaria progresiva por encima del nivel freático para formar un conjunto de minerales oxidados dominado por carnotita, corvusita y tyuyamunita. En los depósitos de vanadio – uranio del Miembro Salt Wash, uno de sus principales minerales es la roscoelita (una mica que contiene vanadio) acompañado de clorita, clorita – smectita, illita – montmorillonita e hidróxicas de vanadio (illita que contiene vanadio) (Kelley et al., 2017).

Tabla 3

Minerales que contienen vanadio en los Depósitos de vanadio alojados en areniscas

Depósitos de vanadio alojados en areniscas	
Mineral	Fórmula química
Carnotita	$K_2(UO_2)_2(VO_8) \cdot 1 - 3H_2O$
Coffinita	$U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$
Corvusita	$(Na, Ca, K)VO_2 \cdot 4H_2O$
Doloresita	$H_8V_6O_{16}$
Hewettita	$CaV_6^{+5}O_{16} \cdot 9H_2O$
Montroseita	$(V^{+3}Fe^{+3}V^{+4})O(OH)$
Paramontroseita	VO_2
Pascoita	$Ca_3(V_{10}O_{28}) \cdot 17H_2O$
Roscoelita	$K(V^{+3}, Al, Mg)[(Si, Al)_4O_{10}](OH)_2$
Tyuyamunita	$Ca(UO_2)2V_2O_8 \cdot 5 - 8H_2O$
Uraninita	$UO_2(con Pb, Th, V, Zr)$
Arcillas de vanadio	<i>Mica hidratada que contiene vanadio</i>
Clorita de vanadio	<i>Clorita que contiene vanadio</i>
Volbortita	$Cu_3V_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$

Nota. Tomado de Vanadium. Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply (Chapter U), por K. D. Kelley et al., 2017).

2.2.3.3 Depósitos de vanadio alojados en lutitas

Las lutitas negras ricas en vanadio se encuentran en las sucesiones marinas del Proterozoico Tardío y el Fanerozoico. Estas rocas sedimentarias de grano fino se depositaron en mares epicontinentales (interiores) y en márgenes continentales. Por lo general, tiene altas concentraciones de materia orgánica (más del 5%) y azufre reducido (más del 1%, principalmente como pirita), así como metales como cobre, molibdeno, níquel, platinoides, plata, uranio, vanadio y zinc. Las concentraciones superan regularmente el 0.18% de V_2O_5 y pueden llegar hasta el 1.7% de V_2O_5 . Las lutitas negras vanadíferas se encuentran comúnmente con depósitos de fosforita y lutitas bituminosas marinas y en América del Norte son equivalentes marinos de ciclotemas que contienen carbón (Kelley et al., 2017).

Las lutitas negras vanadíferas bien caracterizadas incluyen a la Formación Woodruff en Nevada, Estados Unidos; el Miembro Meade Peak de lutita fosfática de la Formación Phosphoria en el oeste de Wyoming y el sureste de Idaho, Estados Unidos; las lutitas del

Miembro Meca Quarry entre Illinois e Indiana, Estados Unidos; la Formación Doushantuo en la provincia Hubei, sur de China; y parte de la Formación Toolebuc en Queensland, Australia. El depósito Green Giant en el sur de Madagascar consiste en lutitas vanadíferas metamorfizadas.

La fuente última de vanadio de estas lutitas negras es el vanadio disuelto en el agua del mar. Aun es incierto el mecanismo de enriquecimiento de vanadio, todas requieren la reducción del V^{+5} (estado redox dominante en los océanos). Varias especies de fitoplancton utilizan el vanadio y la sedimentación de sus restos probablemente actúa como fuente menor de vanadio en las lutitas negras. En aguas profundas e intersticiales donde hay déficit de oxígeno, el vanadio disuelto se reduce a V^{+4} , introduciéndose a la fracción sedimentaria. La reducción adicional a V^{+3} requiere la presencia de sulfuro acuoso disuelto (H_2S) y promueve la incorporación de vanadio en materia orgánica sedimentaria y arcillas autigénicas. Las concentraciones de vanadio se correlacionan con el carbono orgánico en las lutitas negras, lo que quiere decir que el vanadio se incorpora a la materia orgánica en el momento de la sedimentación. Si la sedimentación ocurre a suficientes profundidades pueden producir petróleo con altas concentraciones de vanadio. Incluso el vanadio puede incorporarse a la illita en el momento de la sedimentación (Kelley et al., 2017).

Las lutitas negras vanadíferas de América del Norte se encuentran en las sucesiones marinas del Devónico al Pérmico. Las lutitas negras de la Formación Woodruff del Devónico Superior (Nevada) contiene de 0.5 a 1.2% de V_2O_5 en rocas inalteradas que contienen altas concentraciones de materia orgánica (más del 10%). Sus zonas oxidadas contienen de 1.1 a 1.4% de V_2O_5 , lo que refleja un enriquecimiento secundario de vanadio durante la oxidación, el principal mineral de vanadio en las lutitas oxidadas es la metahevetita ($CaV_6O_{16} \cdot 2H_2O$) (Desborough et al., 1979).

Las lutitas de Mecca Quarry entre Illinois e Indiana es notoriamente rica en varios

metales, incluido el vanadio tiene un promedio de concentración de 5 970 ppm y puede llegar hasta los 10 000 ppm. Sin embargo, tiene pocas decenas de centímetros de espesor, por lo que no se considera un recurso de vanadio rentable (Coveney y Martin, 1983).

La Formación Phosphoria del Pérmico en Idaho y Wyoming contiene un depósito de fosfato de clase mundial que también incluye estratos ricos en vanadio. El intervalo de lutitas negras dentro del Miembro Mead Peak (lutitas fosfatadas) contiene un promedio de 1.2% de V_2O_5 y desde 1940 es considerado una fuente económica potencial de vanadio (Piper, 1999).

El depósito Julia Creek en la Formación Toolebuc del Cretácico en Queensland, Australia, es un ejemplo de lutita bituminosa de vanadio. Esta lutita bituminosa se depositó en un mar epicontinental poco profundo en condiciones reductoras que facilitaron el enriquecimiento de vanadio. Las concentraciones varían de 0.1 a 1% de V_2O_5 . Otras lutitas bituminosas vanadíferas (más del 0.17% de V_2O_5) incluyen la Formación Mississippian Heath en Montana, Estados Unidos y la Formación La Luna del Cretácico que es una importante roca generadora de petróleo en Colombia y Venezuela (Kelley et al., 2017).

Las lutitas bituminosas son las que albergan minerales como la patronita y la quisqueita en Mina Ragra, Perú. También alojan arcillas con vanadio en su estructura cristalina como la illita – smectita en las lutitas de Mecca Quarry (Kelley et al., 2017).

Tabla 4*Minerales que contienen vanadio en los Depósitos de vanadio alojados en lutitas*

Depósitos de vanadio alojados en lutitas	
Mineral	Fórmula química
Illita-Smectita ³	$K_{0.8}(Al_{2.8}Mg_{0.5}Fe_{0.4}V_{0.3})(Si_{7.2}Al_{0.8})O_{20}(OH)_4$
Metahevetita	$CaV_6O_{16}H_2O$
Quisqueita ²	<i>Materia orgánica que contiene vanadio</i>
Patronita ²	$V^{+4}(S_2^{-2})_2$

²Mina Ragra, Perú (Fischer, 1973)³Mecca Quarry Shale, Illinois e Indiana (Peacor et al., 2000)

Nota. Tomado de Vanadium. Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply (Chapter U), por K. D. Kelley et al., 2017).

2.2.3.4 Depósitos de vanadato

Los vanadatos de plomo, zinc y cobre (vanadinita y minerales de la serie descloizita – mottramita) se forman en las zonas oxidadas de los depósitos de metales base, especialmente en áreas de climas áridos y oxidación profunda. Los minerales de vanadato de cobre, plomo y zinc de Otavi Mountainland, norte de Namibia, fue alguna vez considerado uno de los depósitos de vanadio más grande del mundo. Otras áreas incluyen Angola, Sudáfrica, Zambia (mina Kabwe) y Zimbabue. También hay pequeños depósitos en Argentina, México y los Estados Unidos (Arizona, California, Nevada y Nuevo México) con pocas posibilidades que lleguen a ser explotados. Los vanadatos como suministros de vanadio esencialmente cesaron en 1978 cuando la última mina de este tipo de depósito cerró en Berg Aukas (Otavi Mountainland) en Namibia (Kelley et al., 2017).

Los minerales de vanadato y la wulfenita (molibdato de plomo) forman costras en cavidades abiertas o se intercalan con arcillas residuales dentro de estos depósitos. Los vanadatos en Otavi Mountainland ocurren en brechas de colapso y cavidades de solución relacionadas con el desarrollo kárstico en rocas carbonatadas neoproterozoicas del Supergrupo Otavi y asociados espacialmente con yacimientos de sulfuros primarios dentro de estratos de carbonato.

Los depósitos de vanadato son acumulaciones secundarias que se forman durante procesos supergénicos. Se infiere que estos minerales del Supergrupo Otavi se formaron durante varias etapas, dentro de un ambiente kárstico. Los vanadatos formados por fluidos a baja temperatura relacionados con la meteorización tienen una distinta edad que la de los sulfuros primarios. La fuente de vanadio es probable que sea de las rocas circundantes, especialmente de las lutitas. En el caso de los depósitos de Otavi Mountainland, rocas máficas del basamento paleoproterozoico más antiguo (Boni et al., 2007).

En estos depósitos existe una amplia variedad de minerales de vanadio, formalmente contiene un oxoanión de vanadio que generalmente está en su estado de oxidación más alto (V^{+5}). La mayor parte de los minerales son compuestos de cobre, hierro o plomo debido a que se forman en las zonas oxidadas en climas áridos y oxidación profunda. Los minerales más comunes de vanadio son la descloizita, la mottramita y la vanadinita, también la wulfenita ($PbMoO_4$), es común en estos tipos de depósitos. Una vez formados los vanadatos son estables en la zona oxidada, persisten desde la superficie hasta la zona oxidada y rara vez se lixivian y corroen (Kelley et al., 2017).

Tabla 5*Minerales que contienen vanadio en los Depósitos de vanadato*

Depósitos de vanadato	
Mineral	Fórmula química
Brachebuschita	$Pb_2(Mn, Fe)(VO_4)_2 \cdot H_2O$
Calciovolbortita	$CaCuVO_4(OH)$
Chervetita	$Pb_2V_2O_7$
Curienita	$Pb(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 5H_2O$
Descloizita ¹	$PbZn(VO_4)(OH)$
Francevilita	$(Ba, Pb)(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 5H_2O$
Heyita	$Pb_5Fe_2(VO_4)_2O_4$
Motramita ¹	$PbCu(VO_4)(OH)$
Mounanaita	$PbFe_2(VO_4)_2(OH)$
Piromelonita	$PbMnVO_4(OH)$
Sengierita	$Cu(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 8 \text{ o } 10H_2O$
Turanita	$Cu_5(VO_4)_2(OH)_4$
Vanadinita ¹	$Pb_5(VO_4)_3Cl$
Volbortita	$Cu_3(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$

¹Más común

Nota. Tomado de Vanadium. Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply (Chapter U), por K. D. Kelley et al., 2017).

2.2.3.5 Otros recursos de vanadio magmático – hidrotermal

Algunos depósitos magmáticos – hidrotermales de niobio – titanio contienen concentraciones elevadas de vanadio. Los depósitos de Potash Sulphur (llamado también Wilson Springs) en Arkansas fueron las fuentes más importantes de vanadio en Norteamérica en las décadas de 1970 y 1980, donde se produjeron casi 4.3 millones de toneladas métricas de 1.2% de V_2O_5 . Esta zona se ubica en una zona de enriquecimiento secundario que se formaron durante y después de la intrusión de sienita y rocas alcalinas máficas y albergan una gran cantidad de minerales que contienen vanadio. Los complejos ígneos alcalinos y de carbonatita adyacentes en el depósito Christy dentro del Complejo Magnet Cove en Arkansas, tiene altas concentraciones de vanadio junto con titanio, niobio y/o tierras raras. Tiene alrededor de 1% de vanadio contenidos en minerales de magnetita y titanio.

Existen otros tipos de depósitos que concentran vanadio, que son menos relevantes. Por

ejemplo, los minerales pesados de hierro (depósitos de apatita – magnetita tipo Kiruna) en Suecia y Chile donde reportan concentraciones de 1 000 a 2 000 ppm de vanadio y minerales de óxido de hierro separados (magnetita y hematita) hasta con 0.479% de peso en vanadio. En los depósitos de pórfido en Northparkes, Australia, contiene rutilo con contenido de vanadio de 0.2 y 1.3% en peso. El rutilo del depósito de pórfido Pebble en Alaska contiene 6.3% en peso de vanadio. Sin embargo, en algunos depósitos de hierro que no contienen titanio, como la magnetita y hematita, tienen concentraciones elevadas, hasta 0.619% de vanadio en peso (Kelley et al., 2017).

En algunas vetas de oro y cuarzo, en especial las que contienen minerales de telururo de oro, la roscoelita es el mineral común. En el depósito de telururo de oro de Tuvatu en Viti Levu, Fiji, el vanadio se encuentra en la roscoelita junto con carelianita, moscovita vanadiana, nolanita libre de titanio, rutilo vanadiano, schreyerita y un mineral de silicato de vanadio sin nombre. El rutilo en este depósito contiene hasta un 5.2% en peso V_2O_3 , la roscoelita contiene 32.71% en peso de V_2O_3 la cual es el valor mas alto informado en un depósito epitermal de oro y telurio. La fuente de vanadio es probablemente rocas ígneas alcalinas máficas que contienen magnetita que están asociados espacialmente con los minerales de oro.

En los depósitos de oro epitermal, la roscoelita es el más común, también está minerales como el rutilo o brookita, carelianita, nolanita, shreyerita y moscovita rica en vanadio y silicatos que contienen vanadio (Spry y Scherbarth, 2006).

Tabla 6*Minerales que contienen vanadio en los Depósitos magmáticos epitermal/pórfido*

Depósitos magmáticos epitermales/pórfidos	
Mineral	Fórmula química
Dutonita	$V^{+4}O(OH)_2$
Fervanita	$Fe_4^{+3}(VO_4)_4 \cdot 5H_2O$
Hewetita	$CaV_6^{+5}O_{16} \cdot 9H_2O$
Karelianita ⁴	V_2O_3
Metatyuyamunita ⁶	$Ca(UO_2)_2VO_4)_2 \cdot 5 - 7H_2O$
Montroseita	$(V^{+3}Fe^{+3}V^{+4})O(OH)$
Nolanita ⁴	$(V, Fe, Al)_{10}O_{14}(OH)_2$
Roscoelita	$K(V^{+3}, Al, Mg)[(Si, Al)_4O_{10}](OH)_2$
Rutilo, Brookita	TiO_2
Schreyerita ⁴	$VSiO_3(OH)$
Andradita de vanadio ⁵	$Ca^{+3}(Fe^{+3}, V^{+3})_2(SiO_4)_3$
Moscovita de vanadio ⁴	<i>Moscovita que contiene vanadio</i>
Silicatos de vanadio ⁴	$Si_3O_9V_2$
Vanadio que	$(Ca_{0.08}K_{0.02}Na_{0.03})_{0.13}$
contiene titanio	$(Al_{0.11}V_{0.90}Ti_{0.19}Fe_{0.64}Mg_{0.14})_{1.98}$
arcilla de capa mixto	$(Si_{3.79}Al_{0.21})_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$

⁴Depósito Tuvatu, Fiji (Spry y Scherbarth, 2006)⁵Potash Sulphur Springs o Wilson Springs, Arkansas (Howard y Owens, 1995)⁶Weeks and others, 1959.⁷Potash Sulphur Springs or Wilson Springs, Arkansas (McCormick, 1978).

Nota. Tomado de Vanadium. Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply (Chapter U), por K. D. Kelley et al., 2017).

2.2.3.6 Combustibles fósiles

El vanadio se correlaciona con el carbono orgánico, por lo que está enriquecido en muchas lutitas bituminosas. Existe cantidades significativas de vanadio disponibles para uso comercial como subproducto del petróleo, en cantidades menores como subproducto del carbón y arenas bituminosas. Las concentraciones más altas de vanadio las contienen los crudos pesados (Breit, 1992). Estos recursos de petróleo pesado y vanadífero se encuentran mayormente en Venezuela, donde concentra vanadio de hasta 1 400 ppm. Otros aceites con más de 50 ppm de vanadio se producen en Irán y Japón, también en Estados Unidos como Alaska, California, Louisiana, Mississippi, Oklahoma, Texa y Wyoming (Kelley et al., 2017).

El vanadio se recupera del petróleo mediante el procesamiento de cenizas generadas en centrales termoeléctricas (Breit, 1992).

Las concentraciones de vanadio en las cenizas formadas por la quema de carbones generalmente oscilan entre 0.01 y 0.3% en peso y algunas llegan hasta el 8%. En los carbones formados a partir de material vegetal subaéreo contienen valores bajos de vanadio, mientras que, los carbones sapropélicos marinos contienen altas concentraciones de vanadio (Breit, 1992). China es el único productor de vanadio del carbón, aunque los depósitos de carbón en Venezuela contienen altos contenidos de vanadio. El contenido de vanadio del carbón en los Estados Unidos es de 20 ppm (Kelley et al., 2017).

Las arenas bituminosas son grandes depósitos de bitumen o petróleo crudo extremadamente pesado. Estas arenas consisten en una mezcla de bitumen crudo (una forma semisólida del petróleo crudo), arena silíceas, minerales arcillosos y agua. Su refinación lleva a contener en las cenizas cantidades apreciables de metales valiosos como níquel, titanio y vanadio (Breit, 1992).

2.2.4 Usos y aplicaciones

La tendencia del vanadio en el mercado se inclina hacia la industria del acero. En el 2022, el uso del vanadio representó el 94% para Estados Unidos en las aplicaciones metalúrgicas del acero (Polyak, 2023). El vanadio se usa en el acero para impartir fuerza, tenacidad y resistencia al desgaste. Además, la formación de carburos y nitruros ricos en vanadio imparte resistencia al acero, si se adiciona unos pocos kilogramos de vanadio por tonelada, el acero aumenta su resistencia hasta en un 25% e inhibe su corrosión y oxidación. El producto principal desarrollado es el ferrovanadio (FeV), una aleación de hierro y vanadio, la cual es la que se agrega en mayor parte al acero (Kelley et al., 2017).

Los aceros de alta resistencia y baja aleación que contienen vanadio se utilizan ampliamente para la construcción de autopartes, edificios, puentes, grúas, tuberías, vagones de

ferrocarril, barcos y carrocerías de camiones, incluido el blindaje de vehículos militares (Polyak, 2012). También se utilizan cada vez más en la industria del petróleo y el gas para satisfacer la demanda de tuberías con mayor resistencia y tenacidad a baja temperatura. Además, el vanadio se utiliza en varias combinaciones con el cromo, niobio, manganeso, molibdeno, titanio y tungsteno, siempre con un grado de limitación en la sustitución de estos metales (Kelley et al., 2017).

El vanadio es insustituible en las aplicaciones aeroespaciales debido a que las aleaciones de vanadio – titanio tienen la mejor relación de resistencia – peso de cualquier material descubierto hasta ahora. El vanadio cuando se combina con el titanio produce una aleación más resistente y estable, y cuando se combina con el aluminio produce un material adecuado para motores de reacción y estructuras de aviones de alta velocidad (Kelley et al., 2017).

Las aplicaciones no metalúrgicas del vanadio incluyen catalizadores, cerámicas, electrónica y productos químicos del vanadio. El dióxido de vanadio se utiliza en el revestimiento de vidrio que bloquean la radiación infrarroja (Polyak, 2013).

El vanadio se usa cada vez más en tecnologías de batería. Una batería que sigue siendo prometedora para estabilizar la distribución de energía en sistemas renovables es la batería de flujo redox de vanadio, que es un conjunto de celdas de energía en las que dos electrolitos a base de vanadio están separados por una membrana de intercambio de protones. Sus principales ventajas son (Kelley et al., 2017):

- Su capacidad casi ilimitada, usando tanques de almacenamiento secuencialmente más grandes.
- Su capacidad de estar completamente descargados durante largos periodos de tiempo sin efectos perjudiciales.
- La facilidad de recargarlos reemplazando el electrolito si no hay una fuente de energía

disponible para cargarlo.

- Capacidad para soportar daños permanentes si los electrolitos se mezclan accidentalmente.

2.2.5 Problemas e investigaciones futuras

El desarrollo de las infraestructuras conlleva a la necesidad de usar productos de acero que son las principales fuentes de demanda de vanadio en el mundo. Al parecer los recursos mundiales de vanadio satisfacen la demanda actual. Sin embargo, se espera que la demanda futura aumente debido a los siguientes factores:

- China es el principal productor de acero y consumidor de vanadio en el mundo y se espera que su demanda de vanadio para la producción de acero se mantenga fuerte durante los próximos 10 a 20 años.
- China y Japón han legislado un mayor contenido de vanadio en las varillas de acero para que aumente su calidad y compita con otros importantes países productores de acero, por lo tanto, se espera un aumento drástico en el uso de vanadio para la producción de acero en China y Japón.
- Se prevé que la producción de acero de la India se duplique debido a su industrialización.
- Debido al desarrollo de fuentes alternativas de energía renovable, probablemente se requerirá un mayor uso de vanadio para las baterías de flujo redox de vanadio.

Por lo tanto, con el aumento anticipado en la demanda de vanadio y con el suministro limitado que se tiene actualmente, es necesario identificar nuevas fuentes de vanadio. Una alternativa son las lutitas ricas en vanadio, las cuales tienen gran tonelaje y buenas leyes. Solo se requerirán investigaciones futuras para crear nuevos métodos para extraer el vanadio de manera rentable (Kelley et al. 2017).

2.2.6 Producción, consumo y precio

La producción mundial de vanadio en los últimos 11 años aumentó de forma constante (ver Fig. 8), siendo China el principal productor de vanadio seguido de Rusia. En la Fig. 9 se observa la producción de vanadio por países en el año 2021. Todos los datos obtenidos fueron recopilados de la U. S. Geological Survey – Mineral Commodity Summaries desde los 2012 al 2022 (Ver Tabla 7).

Tabla 7

Producción mundial de vanadio (en toneladas métricas)

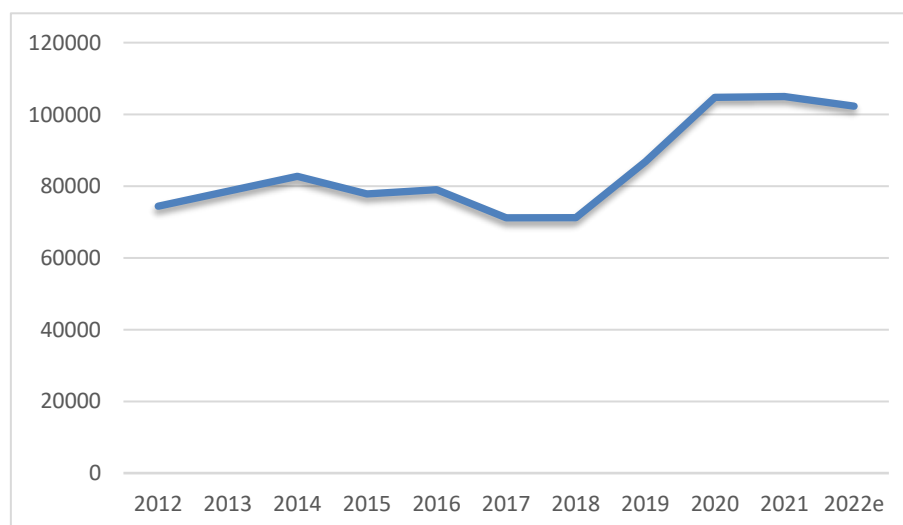
País	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022 ^e
Estados Unidos	272	591						460	17		
Australia		400									
Brasil			1030	5800	8000	5210	5500	5940	6620	5780	6200
China	39000	41000	45000	42000	45000	40000	40000	54000	70000	70300	70000
Rusia	15000	15000	15100	16000	16000	18000	18000	18400	19500	20100	17000
Sudáfrica	19500	21000	21000	14000	10000	7960	7700	8030	8580	8800	9100
Otros países	600	600	580								
Total mundial	74372	78591	82710	77800	79000	71170	71200	86830	104717	104980	102300

^e Estimado

Fuente: Elaboración propia desde: U.S. Geological Survey - Mineral Commodity Summaries de los años 2012 al 2023.

Figura 8

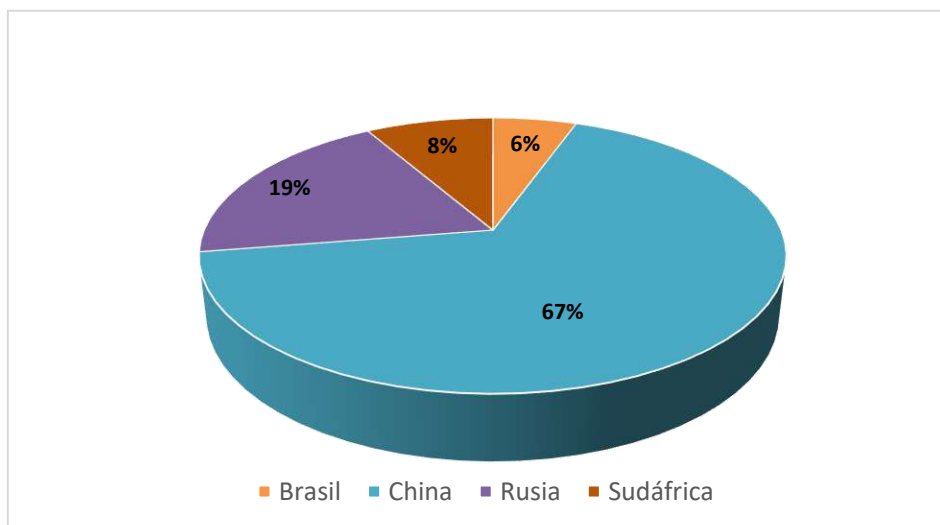
Tendencia mundial en la producción de vanadio 2012 – 2022 (en toneladas métricas)



Nota. Elaboración propia desde: U.S. Geological Survey – Mineral Commodity Summaries de los años 2012 al 2023.

Figura 9

Producción mundial de vanadio en el 2021



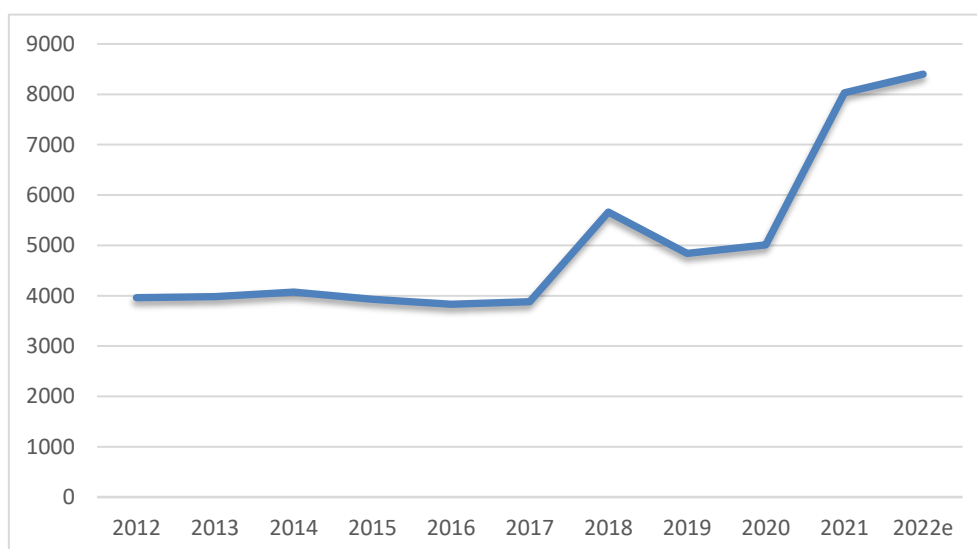
Nota. Elaboración propia desde: U.S.Geological Survey – Mineral Commodity Summaries del 2022.

El consumo de vanadio se representará con los datos obtenidos de la U. S. Geological Survey – Mineral Commodity Summaries, que brinda información del consumo de EE. UU. de este elemento como se detalla en la Tabla 8 desde el año 2012 al 2022. En el consumo reportado de vanadio en EE. UU. es constante desde el 2012 al 2017, a partir de ese año se vio un crecimiento notorio hasta el 2022 (ver Fig. 10). El precio del vanadio se reporta en dólares por libra de pentóxido de vanadio, donde se ve una ligera baja entre el 2012 al 2016, a partir de ese año el precio empieza a subir hasta el pico máximo en el 2018, reduciéndose para el 2019, pero con una tendencia de subida en el precio en los últimos años desde el 2020 (ver Fig. 11).

Tabla 8*Consumo de vanadio en los EE.UU. (en toneladas métricas)*

Estadísticas destacadas: EE.UU.	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022^e
Consumo Aparente	8530	10100	12300	14100	8600	8670	10100	7350	2860	8340	9500
Consumo Reportado	3960	3980	4070	3930	3830	3880	5660	4840	5010	8030	8400
Precio, promedio, dólares por libra de pentóxido de vanadio	6.49	6.04	5.61	4.16	3.38	7.61	16.40	12.20	6.70	8.17	9.20

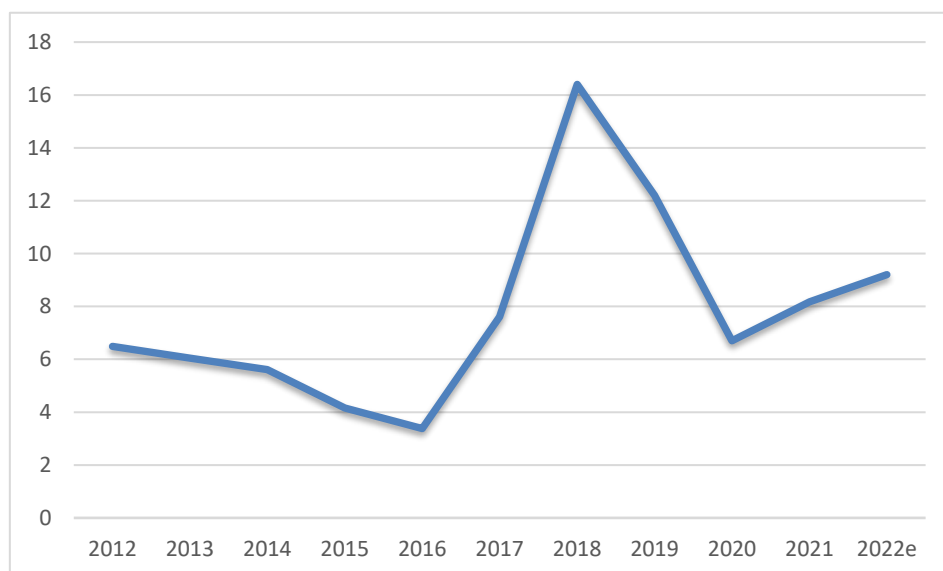
Fuente: Elaboración propia desde: U.S. Geological Survey - Mineral Commodity Summaries de los años 2012 al 2023.

Figura 10*Tendencia del consumo reportado (TM) de vanadio en los EE.UU. 2012 - 2022*

Nota. Elaboración propia desde: U.S. Geological Survey – Mineral Commodity Summaries de los años 2012 al 2023.

Figura 11

Tendencia del precio (\$) del pentóxido de vanadio por libra 2012 - 2022



Nota. Elaboración propia desde: U.S.Geological Survey – Mineral Commodity Summaries de los años 2012 al 2023.

2.3 Definiciones operativas

2.3.1 Anomalía geoquímica

Las anomalías geoquímicas aparecen como áreas donde la abundancia de un elemento es mayor que en las áreas circundantes. Puede ser efecto de algunas características especiales del medio ambiente que causan el enriquecimiento local de un elemento a partir del material de origen de la composición de fondo (Hawkes, 1957).

2.3.2 Background

Es un rango de datos geoquímicos obtenidos en áreas donde el equilibrio no ha sido alterado por la presencia de un depósito mineral. Los datos se encuentran estadísticamente dentro de un rango bien definido (Hawkes, 1957).

2.3.3 Threshold

También llamado umbral, es un valor que indica que por debajo de ella las variaciones de los datos geoquímicos representan solo valores normales, es decir, los valores están dentro del rango del background. Y por encima de del threshold tiene importancia debido a que es un

indicativo de una zona mineralizada (Hawkes, 1957).

2.3.4 *Dispersión geoquímica secundaria*

La dispersión geoquímica secundaria es la capacidad de migración de un elemento desde su origen a través de medios diferentes mediante procesos físico - químicos y mecánicos. El movimiento del elemento depende de los diferentes agentes de la superficie terrestre.

La meteorización es la primera fase del ciclo geoquímico secundario, es una fase de cambios físicos y químicos necesarios para llevar las rocas al equilibrio con las nuevas condiciones en la superficie terrestre. Si embargo, los cambios físicos y químicos que sufren los productos de la meteorización a medida que son transportados desde su fuente hasta el lugar de su sedimentación están influenciados por diversos agentes transportadores, como el flujo de hielo, agua y sistema circulatorio de las plantas, que son los que determinan los patrones de dispersión de los productos de la erosión (Hawkes, 1957).

2.3.5 *Prospección*

Es la investigación en una determinada región, mediante trabajos geológicos, geoquímicos, mineros, para poder determinar la posibilidad de concentraciones de minerales de interés comercial o petrolífero. La prospección puede llamarse prospección geológica, prospección geofísica o prospección geoquímica de acuerdo al tipo de estudio a realizarse (Dávila, 2011).

2.3.6 *Prospección geológica*

Según la RACEFN Glosario de Geología de la Universidad de Granada la prospección geológica tiene como objetivo la posibilidad de aprovechamiento de minerales de interés económico. Para tal objetivo, sigue una campaña de investigación más detallada.

2.3.7 *Asfaltita*

Las asfaltitas tienen un origen marino y una génesis similar al petróleo. La materia orgánica, del cual provienen las asfaltitas, se acumuló dentro de los sedimentos en un ambiente

euxínico (aguas estancadas, con niveles mínimos de oxígeno), donde se bituminizó licuándose parcialmente. Este proceso de bituminización es similar a la carbonización, pero sin la eliminación del hidrogeno, formándose los hidrocarburos. Las asphaltitas constituyen el residuo pastoso de los líquidos similares al petróleo, después de la eliminación de los hidrocarburos livianos. Estos líquidos escaparon preferentemente por las fracturas formando vetas de asfalto.

Las asphaltitas tienen propiedades similares al carbón, por eso muchos las confunden. Pero algunas características son muy diferentes, por ejemplo, la asphaltita menos diagenizada tiene alto contenido de hidrocarburos, que es muy superior al material volátil del carbón. Además, las asphaltitas forman frecuentemente vetas discordantes, mientras que, el carbón se presenta en mantos y lentes concordantes.

Las asphaltitas abundan en las franjas Interandina y Subandina, donde algunos de los sedimentos depositados se formaron en condiciones euxínicas. En la Franja Interandina las condiciones euxínicas se presentaron durante la depositación de las formaciones Aramachay y Pariatambo, que incluyen abundante materia orgánica. Varias zonas de la Franja Interandina, como al Oeste de la región Junín existe numerosas vetas de asphaltita que al parecer provienen de la removilización del bitumen contenido en las formaciones mencionadas (Dunin – Borkowski, 1996).

2.3.8 Carbón

El carbón es un material no metálico sólido, utilizado ampliamente en la industria como combustible energético. Desde el punto de vista geológico, el carbón es un sedimento orgánico depositado en cuerpos tabulares o estratos denominados mantos. Se trata de un gel no cristalino, formado a partir de restos vegetales preservados de la zona de oxidación en zonas pantanosas. Con los restos vegetales también se depositan materiales no combustibles que constituyen las cenizas y reducen su valor.

La materia orgánica pierde, debido al calor del interior de la Tierra y la presión de las

capas sobreyacentes, primero el agua, y posteriormente, los compuestos volátiles de oxígeno, nitrógeno e hidrógeno con carbono, quedando al final el carbono no combinado y la parte inorgánica no combustible. Este proceso es denominado carbonización y determina el rango de los carbones.

Los carbones se clasifican de acuerdo a la carbonización de la materia orgánica (rango de los carbones). Durante el proceso de carbonización, se forman primero las turbas, luego los lignitos y hullas, y finalmente, las antracitas. Cada una de estas variedades de carbones tiene características y usos propios. El último eslabón de la carbonización es el grafito, constituido de carbono cristalizado, que, al tener características y usos completamente diferentes, no se considera como un carbón (Dunin – Borkowski, 1996).

2.4 Hipótesis de la investigación

2.4.1 *Hipótesis general*

Al prospectar geológicamente por vanadio se podrá definir áreas de interés favorables entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco - Perú.

2.4.2 *Hipótesis específicas*

- La determinación de la unidad litoestratigráfica que contiene la mayor concentración de vanadio permitirá definir áreas de interés favorables.
- La determinación de las facies con mayor concentración de vanadio en la unidad litoestratigráfica de aporte de este elemento permitirá definir áreas de interés favorables.
- La determinación de los elementos asociados al vanadio en la unidad litoestratigráfica de aporte de este elemento permitirá definir áreas de interés favorables.
- La determinación de los principales minerales de vanadio en la unidad litoestratigráfica de aporte de este elemento permitirá definir áreas de interés favorables.

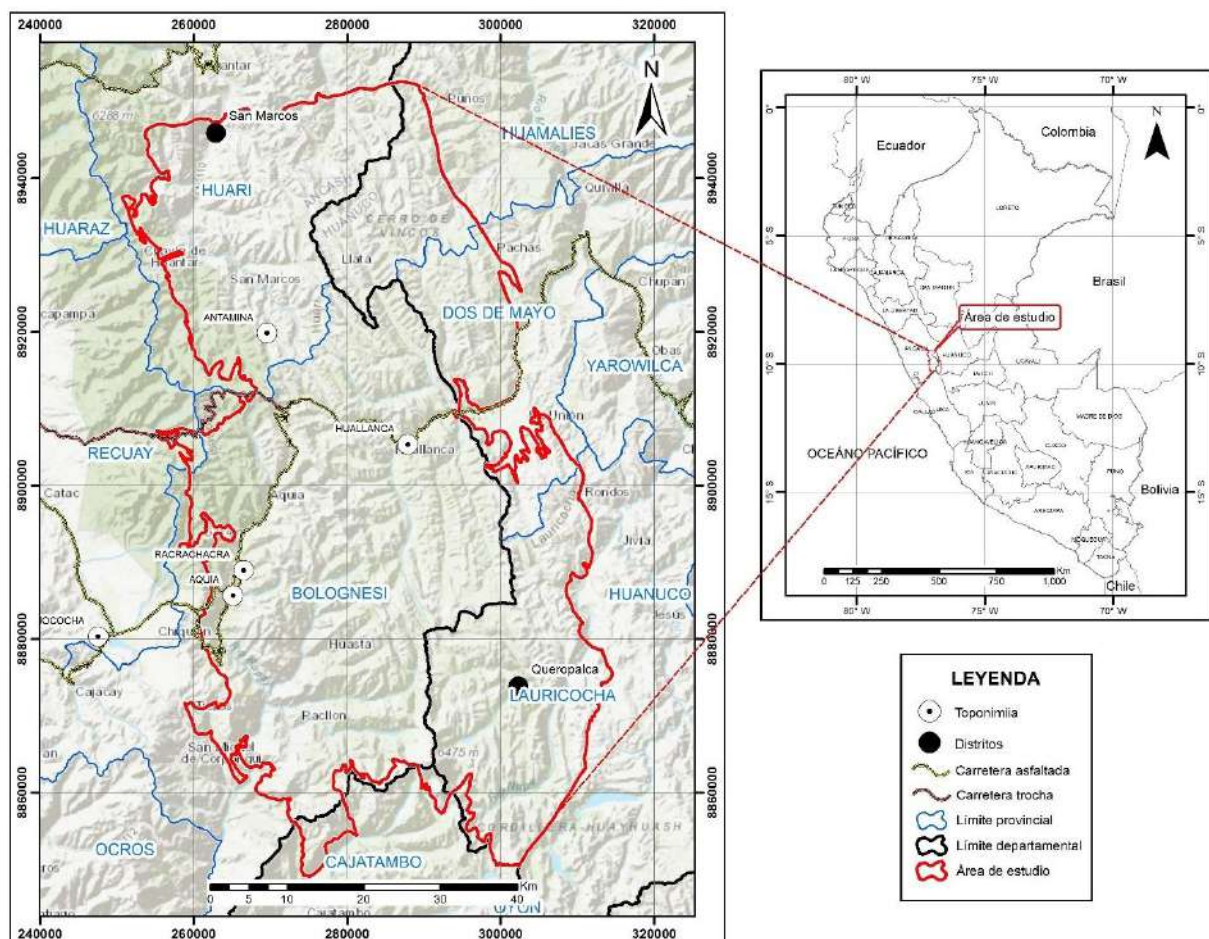
CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra entre el distrito de San Marcos, provincia de Huari, región Áncash y el distrito de Queropalca, provincia de Lauricocha, región Huánuco. En general la zona de estudio se encuentra al SE de la Cordillera Blanca, abarcando unidades de edad Cretácica ubicadas en tres unidades morfoestructurales, parte de la Cordillera Occidental al NO, Valles Interandinos y la Cordillera Oriental al E y SE del área de estudio, con una ligera orientación de rumbo andino (NO-SE).

Figura 12

Mapa de ubicación del área de estudio

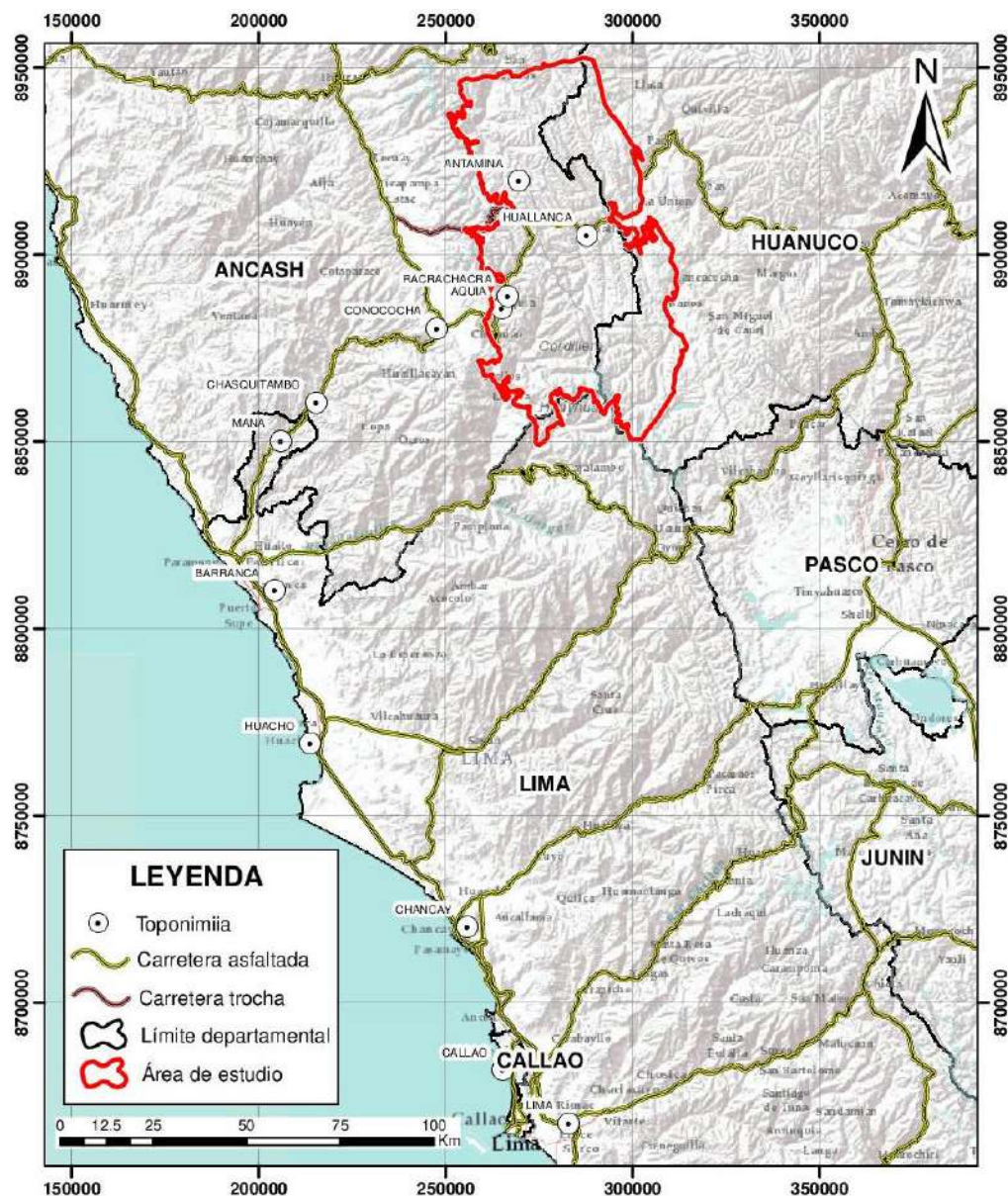


3.2 Accesibilidad al área de estudio

El acceso desde la ciudad de Lima al área de estudio es por vía terrestre con una distancia de 380 Km, con un tiempo de viaje de 8 horas aproximadamente. Se parte de Lima por la Panamericana Norte hasta la ciudad de Paramonga (cruzando el río Pativilca y la ciudad de Barranca), se hace un desvío al este por carretera igualmente asfaltada, cruzando centros poblados como Manas, Chasquitambo, Aquia y Huallanca para llegar al centro del área de estudio (ver Fig. 13).

Figura 13

Mapa de accesibilidad al área de estudio

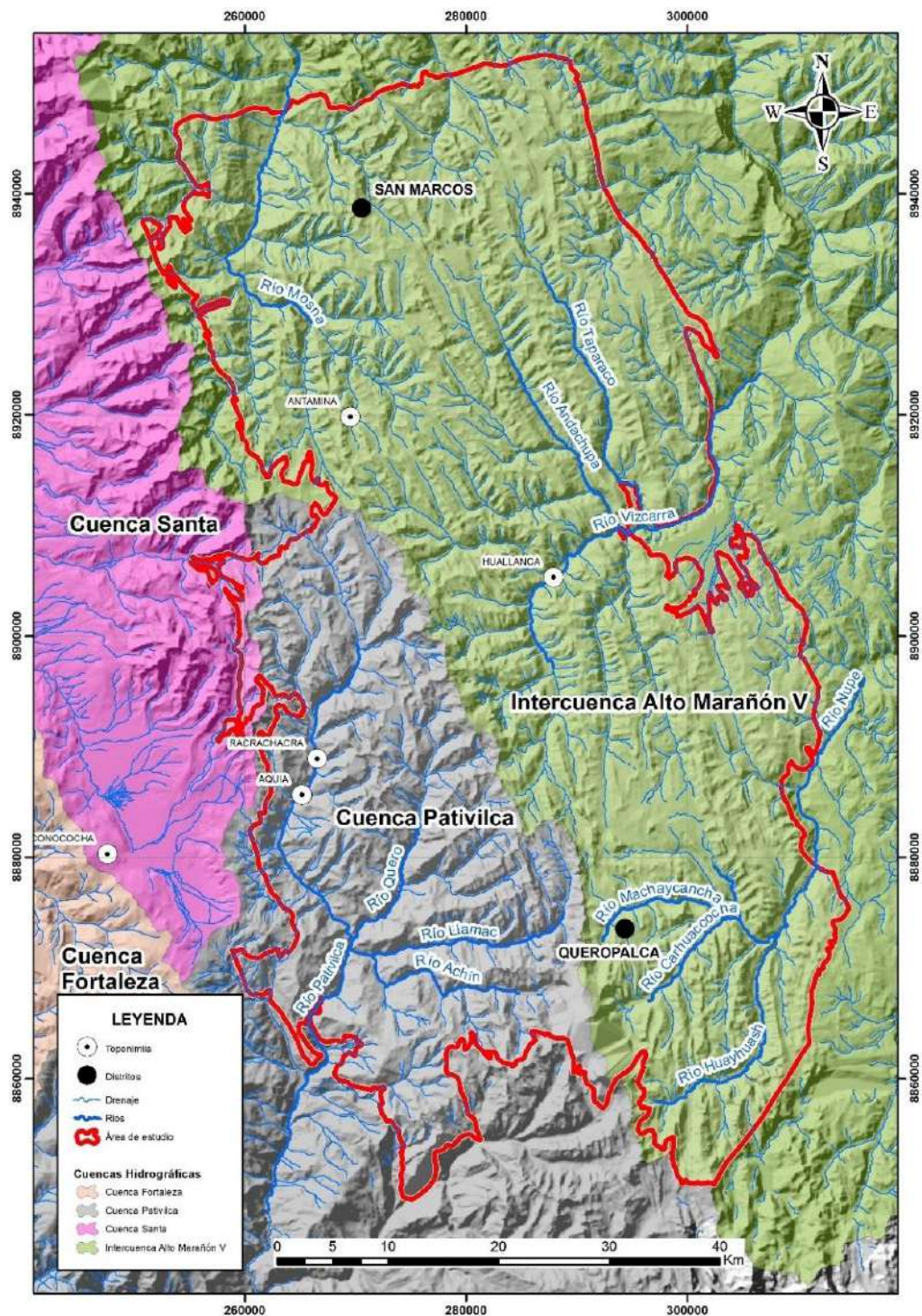


3.3 Hidrografía

El área de estudio cuenta con dos cuencas hidrográficas principalmente, la Cuenca Pativilca (ríos Pativilca, Quero, Llamac y Achín) y la Intercuenca Alto Marañón V (ríos Mosna, Vizcarra, Andachupa, Taparaco, Huayhuash, Carhuacocha, Machaycancha y Nupe).

Figura 14

Mapa hidrográfico del área de estudio



3.4 Clima y vegetación

El área de estudio posee un clima mayormente frío, lluvioso con otoño e invierno secos, con temperaturas que pueden llegar bajo cero y alcanzar un máximo de 23°C. A continuación, se muestra la Fig. 15 que muestra un mapa de clasificación climática del Perú según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite – SENAMHI (2020) y en la Tabla 9 se muestra las características de los climas. Donde el área de estudio tiene 10 de los 38 tipos de climas que tiene el Perú.

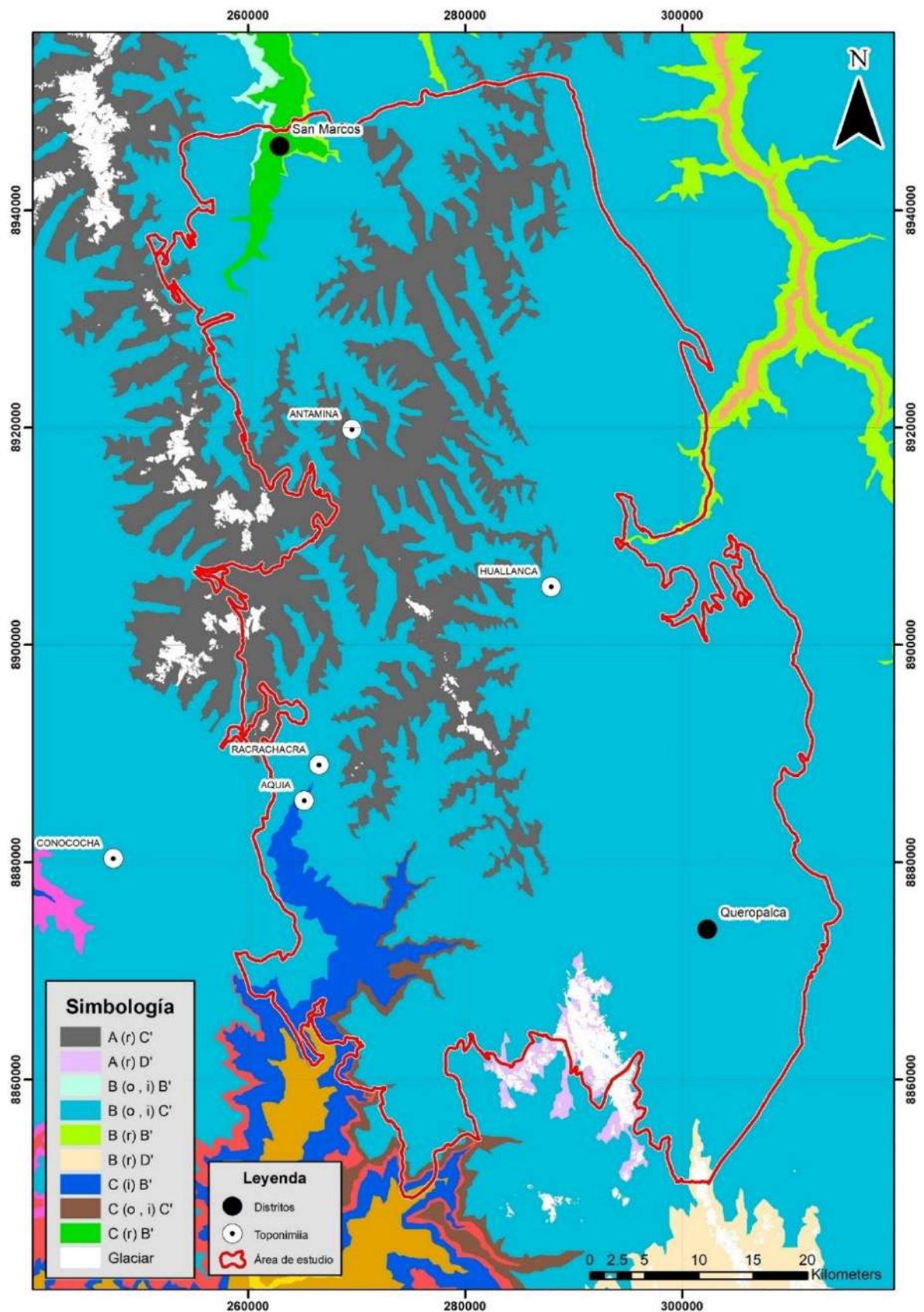
Tabla 9

Características de los tipos de climas en el área de estudio

Código	Clima	Temp. máxima	Temp. mínima	Precipitación anual
A (r) C'	Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Frío.	Entre 17°C a 21°C	Entre 3°C a 7°C	Entre 1200 mm a 1800 mm aproximadamente
A (r) D'	Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Semifrío.	Entre 13°C a 15°C	Entre 1°C a 5°C	Entre 700 mm a 1200 mm aproximadamente
B (o,i) B'	Lluvioso con otoño e invierno secos. Templado.	Entre 19°C a 23°C	Entre 3°C a 7°C	Entre 700 mm y 1500 mm aproximadamente
B (o,i) C'	Lluvioso con otoño e invierno secos. Frío.	Entre 9°C a 19°C	Entre -3°C a 3°C	Entre 500 mm y 1200 mm aproximadamente
B (r) B'	Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado.	Entre 25°C a 29°C	Entre 11°C a 17°C	Entre 1200 mm y 3000 mm aproximadamente
B (r) D'	Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Semifrío.	Entre 11°C a 15°C	Entre -7°C a 3°C	Entre 700 mm y 900 mm aproximadamente
C (i) B'	Semiseco con invierno seco. Templado	Entre 21°C a 25°C	Entre 7°C y 11°C	Entre 300 mm a 700 mm aproximadamente
C (o,i) C'	Semiseco con otoño e invierno secos. Frío.	Entre 15°C a 19°C	Entre -1°C a -3°C	Entre 700 mm a 900 mm aproximadamente
C (r) B'	Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado.	Entre 21°C a 25°C	Entre 7°C a 11°C	Entre 700 mm a 2000 mm aproximadamente
Glaciar	Hielo penne. Glaciar	Entre 7°C a 11°C	Entre -7°C a -1°C	Entre 900 a 1500 mm aproximadamente

Figura 15

Mapa climático del área de estudio



Nota. Tomado según la Clasificación Climática de Warren Thornthwaite – SENAMHI (2020).

3.5 Unidades geomorfológicas

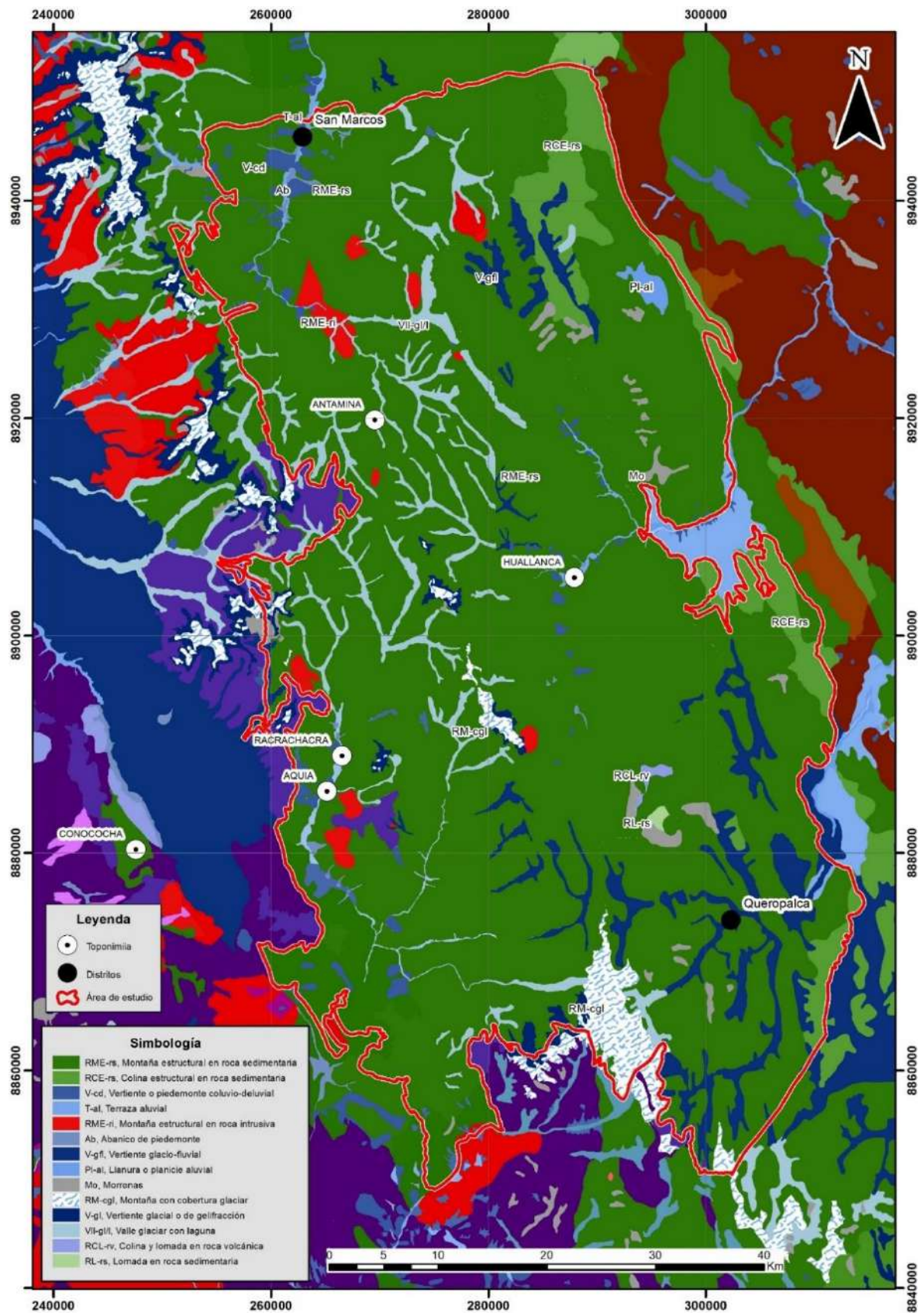
En el área de estudio se tiene distintas geoformas caracterizado por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet como montañas, colinas, abanicos de piedemonte, terrazas, etc. Las cuales se describen a continuación (Zavala et al., 2009):

- **Montañas estructurales en rocas sedimentarias (RME-rs):** corresponde a elevaciones del terreno que forman parte de las cordilleras levantadas por el tectonismo. Su morfología depende de procesos exógenos degradacionales, como la lluvia-escorrentía, aguas subterráneas.
- **Colina estructural en roca sedimentaria (RCE-rs):** tiene una altura mayor a 300 m respecto al nivel de base local. Son afloramientos de roca sedimentaria, reducidos por procesos denudativos. Se conforman por elevaciones alargadas, con laderas disectadas y de pendiente entre 25° a 50°.
- **Vertiente o piedemonte coluvio – deluvial (V-cd):** son las acumulaciones de laderas originadas por procesos de movimiento de masa (deslizamiento, derrumbes y caídas de rocas), también, por las acumulaciones de material fino y detrítico, caídos o lavados por escorrentía superficial, las cuales se acumulan al pie de las laderas.
- **Terraza aluvial (T-al):** son porciones de terreno que se encuentran al costado de una llanura de inundación o del lecho del río principal a mayor altura de estos. Son antiguos niveles de sedimentación fluvial, las cuales fueron cortadas por las corrientes como consecuencia de la profundización del valle.
- **Montaña estructural en roca intrusiva (RME-ri):** corresponde a afloramientos de rocas intrusivas, reducidas por procesos denudativos, con pendiente moderada a alta.
- **Abanico de piedemonte (Ab):** constituye un depósito generado por el movimiento en masa complejo (deslizamiento - avalancha de detritos - flujo de detritos), que se canaliza por una quebrada, originando un abanico en su desembocadura.

- **Vertiente glacio-fluvial (V-gfl):** esta unidad posee un relieve suavemente ondulado, compuesto por la acumulación de sedimentos de arrastre glacio-fluvial del Cuaternario.
- **Llanura o planicie aluvial (V-gfl):** son lechos fluviales antiguos, que quedaron a una altura superior al lecho actual, constituyendo terrazas no inundables durante eventos lluviosos normales. En estos terrenos se desarrollan actividades agrícolas.
- **Morrenas (Mo):** son geoformas convexas suaves y alargadas, producidas por la acumulación de materiales depositados por la acción glacial durante el Pleistoceno. Tienen tamaño de gravas con formas angulosas, bloques, arenas, dispuestas sin estratificación en abundante matriz de limo y arcilla.
- **Montaña con cobertura glacial (RM-cgl):** es una unidad con muy fuerte pendiente (mayor a 60%), presenta cobertura de hielo o nieve permanente.
- **Vertiente glacial o de gelifracción (V-gl):** las rocas presentan rotura (efecto palanca), consecuencia de las tensiones que soporta al congelarse el agua contenida en sus diaclasas, fracturas, clivaje, etc.
- **Valle glacial con laguna (Vll-gl/l):** se caracterizan por conformar incisiones de laderas rectas, con una típica sección transversal en U, que generalmente se presentan hacia su cabecera circos glaciares.
- **Colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv):** este relieve está compuesto por rocas volcánicas reducidos por procesos denudativos. Se caracterizan por presentar laderas disectadas y de pendiente moderada a baja.
- **Lomada en roca sedimentaria (RL-rs):** están modeladas en capas o estratos de areniscas limosas con conglomerados. La diferencia de altitud es entre 20 a 30 m. el terreno es uniforme con pendientes menores a 10°.

Figura 16

Mapa geomorfológico del área de estudio



Nota. Tomado del Ingemmet (2024).

3.6 Marco geológico

Se hizo una síntesis de la geología del área de estudio, tomando en cuenta la geología a escala 1:100 000 de los cuadrángulos de Recuay (20i), La Unión (20j), Chiquián (21i) y Yanahuanca (21j) caracterizados por Cobbing, J., Sánchez, A., Martínez, W. y Zárata, H. (1996).

La secuencia litoestratigráfica del área de estudio incluye formaciones que van desde las edades del Cretácico hasta el Neógeno, con algunos volcánicos, intrusivos y depósitos cuaternarios.

3.6.1 Cretácico

Formación Oyón

Consiste en areniscas cuarzosas blancas intercaladas con limoarcillitas en estratos de 5 a 30 cm, con niveles de carbón y restos de plantas con una orientación andina. Según Carrascal et al. (2000) tanto en la Cuenca del Santa y la Cuenca Oyón, ubicados al norte y sur del área de estudio respectivamente, la Formación Oyón contiene carbón esencialmente en la parte superior (250 m de potencia aproximadamente), controladas estructuralmente por anticlinales y sinclinales. Edad Cretácico Inferior, Berriasiano - Valanginiano.

Grupo Goyllarisquizga

Formación Chimú

Consiste en areniscas blancas y masivas en capas de 1 a 3 m de espesor con limoarcillitas grises y niveles de carbón. En la parte inferior contiene intercalaciones de lutitas gris oscuras y carbón. Sus afloramientos tienen orientación andina, es concordante sobre la Formación Oyón e infrayace a la Formación Santa. Según Carrascal et al. (2000) tanto en la Cuenca del Santa y Cuenca Oyón, ubicados al norte y sur del área de estudio respectivamente, la Formación Chimú contiene carbón esencialmente en la parte inferior (200 m de potencia) controladas estructuralmente por anticlinales y sinclinales con rumbo andino.

Formación Santa

Consiste de calizas de color gris oscura con venillas de calcita y lentes de lutitas grises con niveles de carbón, sus estratos tienen grosores de 10 cm a 1 m; puede presentar concreciones de chert de color gris oscuro a blanco. No es una unidad fosilífera, pero contiene fragmentos de conchas. Su grosor es regularmente constante de 100 a 150 m. En la descripción de los cuadrángulos del área la describen como areniscas cuarzosas, lutitas y niveles de carbón. Edad Cretácico Inferior.

Formación Carhuaz

Consiste en arenisca gris oscura a verdosa con venillas de calcita y lentes de lutitas grises a negras y limolitas marrones. La parte superior consiste en limoarcillitas rojas y limolitas pardo gris. Esta formación es concordante sobre la Formación Santa. Edad Cretácico Inferior.

Formación Pariahuanca

Consiste de calizas macizas de color gris azulado en estratos de 1 a 2 m de grosor. En el área consta de caliza beige a pardo amarillentas, intercaladas con margas, areniscas cuarzosas y areniscas calcáreas. Descansa concordante sobre la Formación Carhuaz con una orientación andina. Edad Cretácico Inferior.

Formación Chúlec

Consiste en calizas arenosas y areniscas calcáreas gris claro a beige, en estratos medianos. Descansa concordante al Grupo Goyllarisquizga. Edad Cretácico Inferior.

Formación Pariatambo

Consiste de secuencias tabulares de calizas grises a gris oscuras, mudstone. Se encuentra intercaladas con niveles de lutitas negras bituminosas con abundantes nódulos de aproximadamente 50 cm, contiene abundante fauna fósil. Descansa concordante a la Formación Chúlec. Tiene un espesor aproximado de 400 m. Edad Albiano del Cretácico Inferior.

Formación Jumasha

Consiste en calizas micríticas gris a beige en estratos mediano a gruesos (1 a 2 m), intercaladas con calizas nodulares. Es una de las unidades más importantes y característicos de los Andes Centrales. Edad Cretácico Superior.

Formación Celendín

Consiste en calizas en estratos medianos, intercaladas con calizas nodulares alternadas con margas y areniscas calcáreas. Esta unidad sobreyace concordante a la Formación Jumasha e infrayace a la Formación Casapalca, una secuencia de pase rápida de un ambiente marino a capas rojas continentales. Edad Cretácico Superior.

Formación Casapalca

Consiste en areniscas rojas intercaladas con limolitas, limoarcillitas, conglomerados, yeso y caliza. Sobreyace a la Formación Celendín y aflora en un área pequeño del área de estudio. Edad Cretácico Superior.

3.6.2 Neógeno

Formación Calipuy

Consiste en intercalaciones de lavas andesíticas, dacitas y riolitas de color gris pardo marrón, morado, en bancos gruesos, tobas cenizas y secuencias clásticas conglomerados y lutitas marrón rojizos. Solo aflora al sur y sureste del área de estudio. Edad Mioceno.

3.6.3 Cuaternario

Depósito glaciar

Acumulaciones de bloques, subangulosos con matriz de limoarenas. Edad Pleistoceno.

Depósito glaciar – fluvial

Gravas, arenas subangulosos a subredondeados, polimícticas con matriz limoarenosa. Edad Pleistoceno.

Deposito aluvial

Gravas y arenas con matriz limoarenosa. Edad Holoceno.

3.6.4 Unidades Litodémicas

Batolito de la costa

Parte del Batolito de la Costa aflora al suroeste del área de estudio, consiste en granodioritas. Edad Cretácico Superior.

Riodacita

Ubicada al norte del área de estudio como pequeños cuerpos. Edad Paleógeno.

Monzogranito

Cuerpos intrusivos aflorando al norte del área de estudio y al suroeste fuera del área de estudio. Edad Paleógeno – Neógeno.

Batolito de la Cordillera Blanca – granodiorita, tonalita

Parte del Batolito de la Cordillera Blanca aflora al oeste fuera del área de estudio con un pequeño cuerpo dentro del área de estudio. Edad Neógeno.

Dacita

Pequeño cuerpo cartografiado en la zona central del área de estudio. Edad Neógeno.

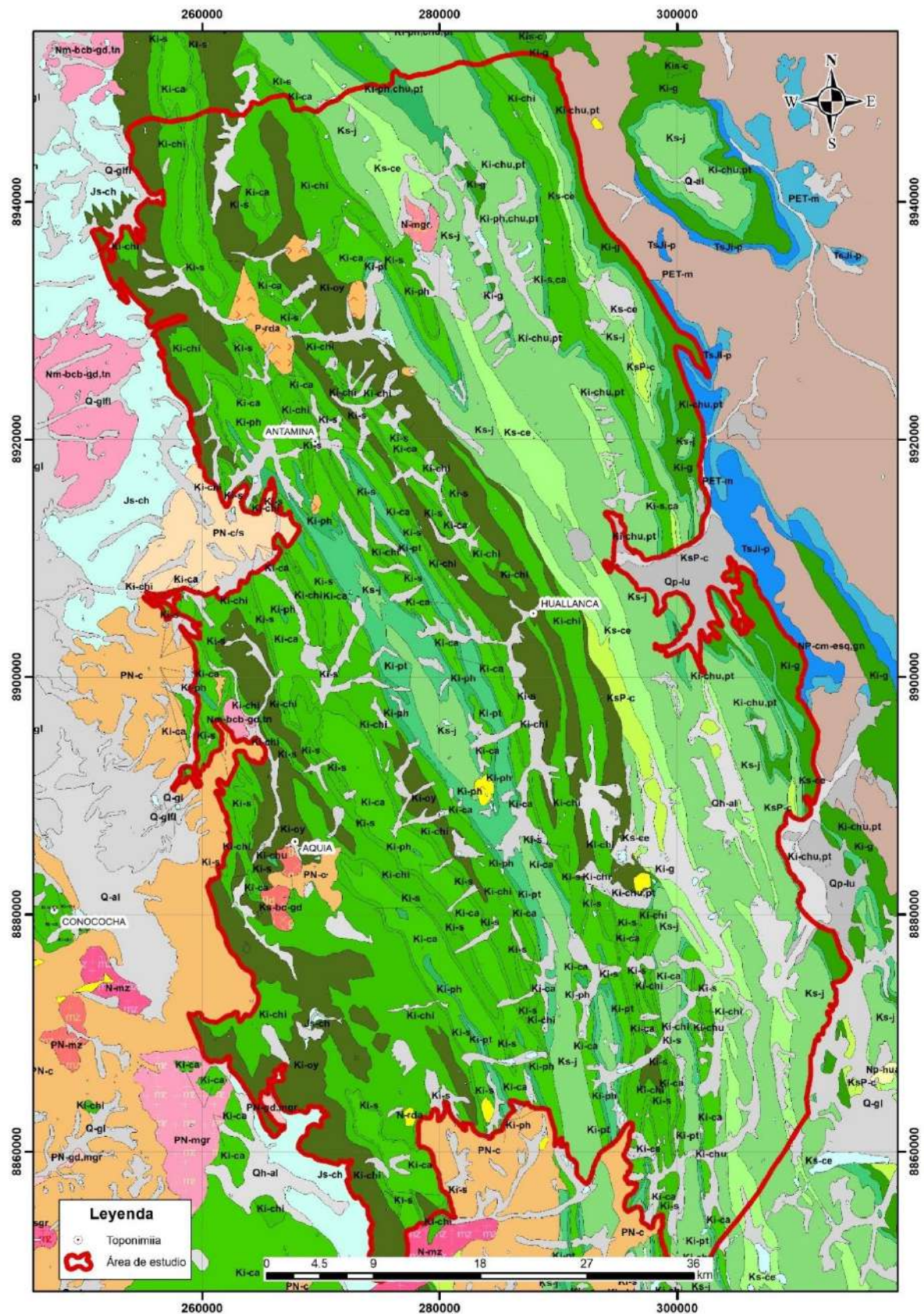
Figura 17

Simbología del mapa geológico del área de estudio

SIMBOLOGÍA			
UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES LITODÉMICAS	
Qh-al	Depósito aluvial	Ki-ph	Formación Pariahuanca
Q-gl	Depósito glaciár	Ki-ca	Formación Carhuaz
Qp-lu	Formación La Unión	Ki-s-ca	Formación Santa-Carhuaz
PN-c	Grupo Calipuy	Ki-s	Formación Santa
PN-c/s	Grupo Calipuy-Miembro Superior	Ki-chi	Formación Chimú
KsP-c	Formación Casapalca	Ki-oy	Formación Oyón
Ks-ce	Formación Celendín		
Ks-j	Formación Jumasha		
Ki-pt	Formación Pariatambo		
Ki-chu	Formación Chúlec		
Ki-chu,pt	Formación Chúlec, Pariatambo		
		N-mgr	Monzogranito
		N-da	Dacita
		N-mz	Monzonita
		PN-mgr	Cord. Blanca-granodiorita, tonalita
		PN-mgr	Monzogranito
		P-rda	Riodacita
		Ks-bc-gd	Bat. Costa-granodiorita

Figura 18

Mapa geológico de la área de estudio



Nota. Tomado del Ingemmet (2024).

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo y diseño de la investigación

La investigación es de tipo descriptivo porque describirá el comportamiento geoquímico secundario del vanadio en un ambiente sedimentario, tipo exploratorio porque aborda las relaciones geoquímicas del vanadio con otros elementos y tipo explicativo porque se intentará encontrar la fuente primaria de las altas concentraciones de vanadio con muestras de rocas de las distintas unidades litoestratigráficas del Cretácico.

4.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis comprende los sedimentos de quebradas que tienen influencia de unidades sedimentarias del Cretácico y muestras de rocas ubicadas en las áreas anómalas de vanadio por dispersión geoquímica secundaria entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco – Perú.

4.3 Población de estudio

La población de estudio está conformada por 313 muestras de sedimentos de quebrada que tienen influencia de unidades sedimentarias del Cretácico y 12 muestras de rocas en las áreas anómalas de vanadio por dispersión geoquímica secundaria entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco – Perú.

4.4 Tamaño de muestra

Consiste en 313 muestras de sedimentos de quebrada y 12 muestras de rocas entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco - Perú.

4.5 Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos de los sedimentos de quebrada se realizó de forma indirecta, a través de datos históricos del Ingemmet en su portal web GEOCATMIN, donde se descargó la base de datos con los resultados de análisis químicos de las muestras.

La recolección de datos de las muestras de rocas se realizó de forma directa, en campo,

tomando apuntes en una libreta de campo (rumbos y buzamientos, coordenadas, gráficos, descripciones tanto de las muestras como de los afloramientos donde se extrajo estas muestras) y fotografías tomadas desde un celular.

4.5.1 Muestreo de los sedimentos de quebrada

Los sedimentos de quebrada pertenecen a dos proyectos realizados por el Ingemmet, el primero titulado “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4” realizado en el 2005 y el segundo proyecto titulado “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)” en el 2008. La cantidad de muestras utilizadas de ambos proyectos son de 313 en total, las cuales tienen un diseño de muestreo de $1/10 \text{ km}^2$ (ver Fig. 19). Dicho muestreo se ha efectuado en quebradas de primer o segundo orden de drenaje, tanto secas como húmedas. Para el proyecto “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4” se realizó un pre – tamizado de 2 a 3kg de sedimento a malla 30, luego un tamizado a malla 80, obteniendo 250 a 300 g aproximadamente de material resultante, cantidad suficiente para los análisis respectivos. Y para el proyecto “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)” se realizó un tamizado a malla 30, asimismo, se utilizó el floculante Bozefloc para acelerar la precipitación de las partículas en suspensión.

Mapa del diseño de muestreo de los sedimentos de quebrada en el área de estudio



4.5.2 Muestreo de rocas

Las muestras de rocas se recolectaron por conveniencia, es decir, por facies en una unidad litoestratigráfica. Con una distancia relativa entre muestra y muestra dependiendo como variaba las características litológicas. Cada muestra tiene aproximadamente 2 kg y se muestreó en una distancia de 2m perpendicular a la estratificación. El tipo de muestreo realizado es “Chips Sample” donde se obtiene fragmentos de rocas de forma irregular siguiendo una línea imaginaria perpendicular al afloramiento (ver Fig. 20).

Figura 20

Muestreo de rocas por facies, perpendicular a la estratificación y en un tramo de dos metros aproximadamente



4.6 Técnicas de análisis de muestras

Todas las muestras de los sedimentos de quebrada fueron analizadas químicamente y sus resultados servirán para su tratamiento estadístico y encontrar el valor de fondo del vanadio. Las muestras de rocas fueron analizadas químicamente y por difracción de rayos X para obtener los principales minerales que contienen.

4.6.1 Análisis de los sedimentos de quebrada

Las muestras pertenecientes al proyecto “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4” del 2005 se mandó al laboratorio del Ingemmet para analizar al Au y Hg donde utilizaron dos métodos: Absorción Atómica y Ensayo al Fuego (para mayor aproximación), mientras que para el Hg se utilizó la técnica de vapor frío y Absorción Atómica. Para los elementos restantes se encargaron al Laboratorio SGS del Perú donde se analizaron las muestras por 35 elementos utilizando el método ICP-Digestión con agua regia, con extracción suficiente para metales básicos: Cu, Pb, Zn, Co y Ni de manera cuantitativa y extracción moderada para elementos como: Cr, Sn, W, V y Zr. Por lo tanto, se cuenta con resultados analíticos por 37 elementos.

Las muestras del proyecto “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)” del 2008 fueron preparadas y analizadas en los laboratorios de SGS del Perú S.A.C., por los métodos ICP-MS para 52 elementos con ataque de agua regia y para el oro usaron ensayo al fuego – absorción atómica. Estos análisis se efectuaron a los sedimentos tamizados por la malla 200.

Los límites de detección de cada elemento analizado en los distintos proyectos del Ingemmet se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10*Límites de detección de los sedimentos de quebrada por proyecto del Ingemmet*

Elemento	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)
	Límite de detección	Límite de detección
Ag (ppm)	<0.2	<0.01
Al (pct)	<0.01	<0.01
As (ppm)	<3	<1
Au (ppb)	<10	<5
B (ppm)	N.R.	<10
Ba (ppm)	<1	<5
Be (ppm)	<0.5	<0.1
Bi (ppm)	<5	<0.02
Ca (pct)	<0.01	<0.01
Cd (ppm)	<1	<0.01
Ce (ppm)	N.R.	<0.05
Co (ppm)	<1	<0.1
Cr (ppm)	<1	<1
Cs (ppm)	N.R.	<0.05
Cu (ppm)	<0.5	<0.5
Fe (pct)	<0.01	<0.01
Ga (ppm)	<10	<0.1
Ge (ppm)	N.R.	<0.1
Hf (ppm)	N.R.	<0.05
Hg (ppm)	<0.1	<0.01
In (ppm)	N.R.	<0.02
K (pct)	<0.01	<0.01
La (ppm)	<0.5	<0.1
Li (ppm)	N.R.	<1
Lu (ppm)	N.R.	<0.01
Mg (ppm)	<0.01	<0.01
Mn (ppm)	<2	<5
Mo (ppm)	<1	<0.05
Na (pct)	<0.01	<0.01
Nb (ppm)	<1	<0.05
Ni (ppm)	<1	<0.5
P (ppm)	<100	<50
Pb (ppm)	<2	<0.2
Rb (ppm)	N.R.	<0.2
S (pct)	<0.01	<0.01
Sb (ppm)	<5	<0.05

Sc (ppm)	<0.5	<0.1
Se (ppm)	N.R.	<1
Sn (ppm)	<10	<0.3
Sr (ppm)	<0.5	<0.5
Ta (ppm)	N.R.	<0.05
Tb (ppm)	N.R.	<0.02
Te (ppm)	N.R.	<0.05
Th (ppm)	N.R.	<0.1
Ti (pct)	<0.01	<0.01
Tl (ppm)	<2	<0.02
U (ppm)	N.R.	<0.05
V (ppm)	<2	<1
W (ppm)	<10	<0.1
Y (ppm)	<0.5	<0.05
Yb (ppm)	N.R.	<0.1
Zn (ppm)	<0.5	<1
Zr (ppm)	<0.5	<0.5

4.6.2 *Análisis de rocas*

Las muestras de rocas se analizaron en los laboratorios del Ingemmet. Se realizó dos estudios, un análisis químico en el Laboratorio de Química y un análisis mineralógico en el Laboratorio de Rayos X.

En el análisis químico se realizó 4 tipos de ensayo (ver Tabla 11), el primero roca total por el método fusión eléctrica con metaborato de litio e ICP-OES, el segundo un ensayo multielemental de 33 elementos por el método ICP-OES/MS por digestión multiácida, el tercero un ensayo multielemental de 23 elementos para las tierras raras por el método ICP-MS por fusión eléctrica con metaborato de litio y el cuarto un ensayo polimetálico para una muestra con características carbonosas por el método AAS por digestión multiácida. Los límites de detección de cada elemento analizado se muestran en la Tabla 13.

Tabla 11*Métodos analíticos aplicados a las muestras de rocas*

Tipo de ensayo	Método de referencia o proceso	Tratamiento químico de muestras	Tipo de reactivos	Equipo
Ensayo de roca total 18 elementos	Realizar el ensayo de elementos mayores en muestras sólidas por fusión eléctrica con metaborato de litio e ICP-OES	Fusión con metaborato de litio y dilución ácida en agua regia invertida	Fundente ultrapuro y ácidos ultrapuro	ICP-OES (RADIAL): marca VARIAN, modelo 735-ES
Ensayo multielemental 33 elementos	Realizar ensayo de elementos menores en muestras sólidas por digestión multiácida e ICP-OES. Realizar ensayo de elementos menores en muestras sólidas por digestión multiácida e ICP-MS	Digestión con 4 ácidos: HCl, HNO ₃ , HF, HClO ₄	Ácidos suprapur	ICP-OES (RADIAL): marca VARIAN, modelo 735-ES ICP-MS: marca PERKIN ELMER, modelo 300D
Ensayo multielemental 23 elementos	Realizar ensayo de tierras raras en muestras sólidas por fusión eléctrica con metaborato de litio e ICP-MS	Fusión con metaborato de litio y dilución ácido en agua regia invertida	Fundente ultrapuro y ácidos ultrapuro	ICP-MS: marca PERKIN ELMER, modelo 300D
LOI	Realizar el ensayo de pérdida de ignición en muestras sólidas	Calcinación entre 950°C y 1000°C	-	HORNO DE CALENTAMIENTO: marca HINRA PERU, modelo HME-14L
Polimetálicos	Realizar ensayo de polimetálicos en muestras sólidas por digestión multiácida y AAS	Digestión con ácidos HCl, HNO ₃ , HF, HClO ₄	Ácidos suprapur	Absorción atómica: Marca THERMO SCIENTIFIC, modelo ICE 3300

En el Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X, es una técnica utilizada para la identificación y cuantificación de fases cristalinas (minerales). Los compuestos sin estructuras definidas (amorfos) no pueden ser estudiados ni cuantificados por esta técnica. Se realizó en un difractómetro marca SHIMADZU, modelo XRD-7000 de ánodo de cobre, según las condiciones de la Tabla 12.

Tabla 12*Condiciones de medición (DRx)*

Tubos de Rayos X		Condiciones de Medida	
Tipo de ánodo	Cu	Rango de Barrido	3° - 70°
Energía	40 kV, 30mA	Paso	0.02°
		Tiempo por paso	2.0 s

Tabla 13*Límites de detección en las muestras de rocas*

Elemento	Estudio muestras de rocas
	Límite de detección
Ag (ppm)	<0.5
Al (pct)	<0.01
As (ppm)	<5
Ba (ppm)	<5
Be (ppm)	<0.6
Bi (ppm)	<10
Ca (pct)	<0.01
Cd (ppm)	<1
Ce (ppm)	<0.5
Co (ppm)	<1
Cr (ppm)	<1
Cs (ppm)	<0.05
Cu (ppm)	<2
Dy (ppm)	<0.1
Er (ppm)	<0.1
Eu (ppm)	<0.1
Fe (pct)	<0.01
Ga (ppm)	<0.3
Gd (ppm)	<0.1
Hf (ppm)	<0.2
Ho (ppm)	<0.1
In (ppm)	<0.2
K (pct)	<0.01
La (ppm)	<2
Li (ppm)	<2
Lu (ppm)	<0.15
Mg (ppm)	<0.01
Mn (ppm)	<0.01
Mo (ppm)	<2
Na (pct)	<0.01

Nb (ppm)	<0.5
Nd (ppm)	<0.1
Ni (ppm)	<5
P (pct)	<0.01
Pb (ppm)	<5
Pr (ppm)	<0.1
Rb (ppm)	<2
Sb (ppm)	<2
Sc (ppm)	<5
Si (pct)	<0.01
Sm (ppm)	<0.1
Sr (ppm)	<2
Ta (ppm)	<0.5
Tb (ppm)	<0.1
Th (ppm)	<0.2
Ti (pct)	<0.01
Tl (ppm)	<0.5
Tm (ppm)	<0.1
U (ppm)	<0.1
V (ppm)	<10
W (ppm)	<1
Y (ppm)	<5
Yb (ppm)	<0.1
Zn (ppm)	<1
Zr (ppm)	<5

4.7 ETAPA 1: Tratamiento estadístico de datos históricos

4.7.1 *Análisis exploratorio de datos (EDA)*

El universo estadístico está representado por 313 muestras de sedimentos de quebrada que tienen influencia de unidades cretácicas entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco – Perú.

Las 313 muestras fueron recopiladas de la base de datos de geoquímica del GEOCATMIN, toda la data a trabajar es una integración de dos proyectos del Ingemmet. El primer proyecto titulado “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4” realizado en el 2005 y el segundo proyecto titulado “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)” realizado en el 2008. Cabe resaltar que no

se tomaron todas las muestras de ambos proyectos, solo las muestras que estaban dentro del área de estudio (ver Anexo 2).

4.7.1.1 Separación en poblaciones estadísticas

El área de estudio está estratégicamente delimitada para abarcar unidades sedimentarias cretácicas, no obstante, dentro del polígono afloran unidades intrusivas, volcánicas y capas rojas.

Estas unidades geológicas son agrupadas en dominios geológicos regionales, las cuales tienen en común su carácter litológico y temporal para poder realizar un tratamiento estadístico adecuado (ver Tabla 14).

Tabla 14

Dominios litoestratigráficos presentes en el área de estudio

Dominio Litoestratigráfico	Unidades Geológicas	Cantidad de muestras
Intrusivos del Neógeno	Super Unidad Cahuish	2
Volcánicos del Paleógeno	Riodacita	5
Capas Rojas del Cretácico	Formación Casapalca	8
Sedimentarios carbonatados del Cretácico	Formaciones Celendín, Jumasha, Pariatambo, Chúlec y Pariahuanca	129
Sedimentarios sílico-clásticos del Cretácico Inferior	Grupo Goyllarisquizga (Formaciones Carhuaz, Santa, Chimú) y la Formación Oyón	169
		313

4.7.1.2 Integración de datos geoquímicos

Como se mencionó anteriormente la data usada en esta investigación es una integración de muestras de dos proyectos del Ingemmet que se realizó en distintos años. Por lo que es necesario conocer la cantidad de muestras que se está utilizando de ambos proyectos, conocer los laboratorios donde se mandó analizar las muestras de ambos proyectos, el tipo de análisis químico que se usó, el tipo de digestión. Todo ello con el fin de observar si existe variabilidad en la metodología usada en ambos proyectos y poder realizar un tratamiento estadístico

adecuado.

En la Tabla 15 se observa las cantidades de muestras de los sedimentos de quebrada separadas por dominios litoestratigráficos entre ambos proyectos. El proyecto del 2008 “GE-2: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)” tiene mayor cantidad de muestras que el proyecto del 2005 “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4”.

La distribución de las muestras de los sedimentos de quebrada por dominio litoestratigráfico y por proyecto se aprecia en la Fig. 21.

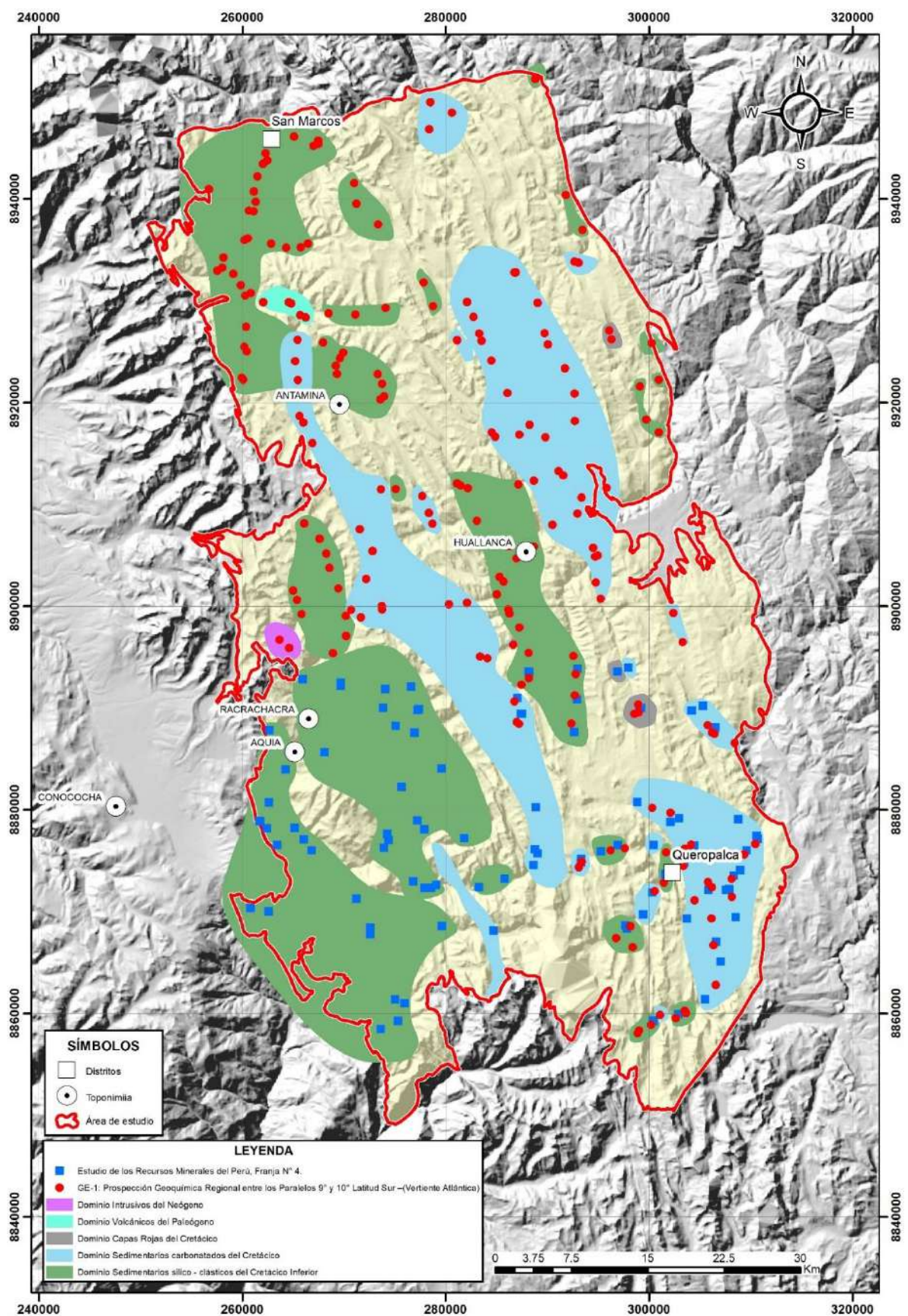
Tabla 15

Cantidad de muestras de los sedimentos de quebrada separado por dominio litoestratigráfico y por proyecto

Año - Proyecto Dominios Litoestratigráficos	2005: Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4	2008: GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)	
Intrusivos del Neógeno	0	2	2
Volcánicos del Paleógeno	0	5	5
Capas Rojas del Cretácico	3	5	8
Sedimentarios carbonatados del Cretácico	40	89	129
Sedimentarios sílico-clásticos del Cretácico Inferior	66	103	169
	109	204	313

Figura 21

Mapa de distribución de muestras de los sedimentos de quebrada separada por dominio litoestratigráfico y diferenciado por proyecto



Para el proyecto “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)” solo se mandó analizar las muestras al Laboratorio SGS del Perú mientras que para el proyecto “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4” se mandó a analizar sus muestras al laboratorio del Ingemmet al Au y Hg, y los elementos restantes al laboratorio del SGS del Perú (ver Tabla 16).

Tabla 16

Laboratorios y tipo de análisis realizado en cada proyecto

	Laboratorio	Multielemental	Análisis de oro AAS - Fire Assay	Análisis de mercurio
2008: GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)	SGS	52 elementos ICP-MS + agua regia	FA/AAS	ICP-MS
2005: Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4	Ingemmet y SGS	35 elementos ICP + agua regia	FA/AAS	AAS

Por último, se observó la gran cantidad de elementos que tienen diferentes límites de detección comparando ambos proyectos. Por otro lado, hay elementos que para el proyecto “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4” no han sido cuantificados como por ejemplo el Ce, Cs, U, etc., mientras que para el proyecto “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)” esos mismos elementos si han sido cuantificados, todo lo expuesto se puede observar en la Tabla 17.

Por lo mencionado anteriormente, existe una variación de laboratorio, en el análisis químico realizado en la muestras y variaciones en los límites de detección para un mismo elemento en los dos proyectos. Ante esta situación se puede sospechar que la data de ambos proyectos no sea estadísticamente equivalente y, por lo tanto, no se podría realizar un tratamiento estadístico correcto. Es necesario realizar una prueba de equivalencia entre ambas datas de los proyectos para poder determinar si es necesario o no realizar un nivelamiento de los datos geoquímicos.

Tabla 17*Comparación de los límites de detección de los dos proyectos*

Elemento	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)
	Límite de detección	Límite de detección
Ag (ppm)	<0.2	<0.01
Al (pct)	<0.01	<0.01
As (ppm)	<3	<1
Au (ppb)	<10	<5
B (ppm)	N.R.	<10
Ba (ppm)	<1	<5
Be (ppm)	<0.5	<0.1
Bi (ppm)	<5	<0.02
Ca (pct)	<0.01	<0.01
Cd (ppm)	<1	<0.01
Ce (ppm)	N.R.	<0.05
Co (ppm)	<1	<0.1
Cr (ppm)	<1	<1
Cs (ppm)	N.R.	<0.05
Cu (ppm)	<0.5	<0.5
Fe (pct)	<0.01	<0.01
Ga (ppm)	<10	<0.1
Ge (ppm)	N.R.	<0.1
Hf (ppm)	N.R.	<0.05
Hg (ppm)	<0.1	<0.01
In (ppm)	N.R.	<0.02
K (pct)	<0.01	<0.01
La (ppm)	<0.5	<0.1
Li (ppm)	N.R.	<1
Lu (ppm)	N.R.	<0.01
Mg (ppm)	<0.01	<0.01
Mn (ppm)	<2	<5
Mo (ppm)	<1	<0.05
Na (pct)	<0.01	<0.01
Nb (ppm)	<1	<0.05
Ni (ppm)	<1	<0.5
P (ppm)	<100	<50
Pb (ppm)	<2	<0.2
Rb (ppm)	N.R.	<0.2
S (pct)	<0.01	<0.01
Sb (ppm)	<5	<0.05

Sc (ppm)	<0.5	<0.1
Se (ppm)	N.R.	<1
Sn (ppm)	<10	<0.3
Sr (ppm)	<0.5	<0.5
Ta (ppm)	N.R.	<0.05
Tb (ppm)	N.R.	<0.02
Te (ppm)	N.R.	<0.05
Th (ppm)	N.R.	<0.1
Ti (pct)	<0.01	<0.01
Tl (ppm)	<2	<0.02
U (ppm)	N.R.	<0.05
V (ppm)	<2	<1
W (ppm)	<10	<0.1
Y (ppm)	<0.5	<0.05
Yb (ppm)	N.R.	<0.1
Zn (ppm)	<0.5	<1
Zr (ppm)	<0.5	<0.5

Nota. Los recuadros sombreados de amarillo nos muestran límites de detección diferentes para un mismo elemento.

4.7.1.3 Datos censurados

En las Tablas 18 y 19 se muestran los porcentajes de los datos censurados de los dominios litoestratigráficos a trabajar en esta investigación, los Sedimentarios carbonatados del Cretácico y los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior. Ambos dominios son separados por proyecto, formándose dos subpoblaciones por cada dominio para poder realizar un adecuado tratamiento a los datos censurados en cada dominio litoestratigráfico.

Tabla 18*Porcentaje de datos censurados en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico*

Elemento	SEDIMENTARIOS CARBONATADOS DEL CRETÁCICO							
	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)				Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.			
	Data Total	LD	Datos Censurados	% D. Censurados	Data Total	LD	Datos Censurados	% D. Censurados
Ag (ppm)	89	<0.01	0	0%	40	<0.2	13	33%
Al (pct)	89	<0.01	0	0%	40	<0.01	0	0%
As (ppm)	89	<1	0	0%	40	<3	5	13%
Au (ppb)	89	<5	52	58%	40	<10	26	65%
Ba (ppm)	89	<5	0	0%	40	<1	0	0%
Be (ppm)	89	<0.1	0	0%	40	<0.5	28	70%
Bi (ppm)	89	<0.02	0	0%	40	<5	40	100%
Ca (pct)	89	>15	28	31%	40	>15	14	35%
Cd (ppm)	89	<0.01	0	0%	40	<1	29	73%
Ce (ppm)	89	<0.05	0	0%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Co (ppm)	89	<0.1	0	0%	40	<1	0	0%
Cr (ppm)	89	<1	0	0%	40	<1	0	0%
Cs (ppm)	89	<0.05	0	0%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Cu (ppm)	89	<0.5	0	0%	40	<0.5	0	0%
Fe (pct)	89	<0.01	0	0%	40	<0.01	0	0%
Ga (ppm)	89	<0.1	0	0%	40	<10	40	100%
Ge (ppm)	89	<0.1	82	92%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Hf (ppm)	89	<0.05	9	10%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Hg (ppm)	89	<0.01	0	0%	40	<0.1	5	13%
In (ppm)	89	<0.02	16	18%	40	N.R.	N.R.	N.R.
K (pct)	89	<0.01	0	0%	40	<0.01	0	0%
La (ppm)	89	<0.1	0	0%	40	<0.5	1	3%
Li (ppm)	89	<1	0	0%	40	N.R.	0	0%
Lu (ppm)	89	<0.01	0	0%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Mg (ppm)	89	<0.01	0	0%	40	<0.01	0	0%
Mn (ppm)	89	<5	0	0%	40	<2	0	0%
Mo (ppm)	89	<0.05	0	0%	40	<1	4	10%
Na (pct)	89	<0.01	33	37%	40	<0.01	9	23%
Nb (ppm)	89	<0.05	1	1%	40	null	25	63%
Ni (ppm)	89	<0.5	0	0%	40	<1	0	0%
P (ppm)	89	<50	0	0%	40	<100	0	0%
Pb (ppm)	89	<0.2	0	0%	40	<2	0	0%
Rb (ppm)	89	<0.2	0	0%	40	N.R.	N.R.	N.R.
S (pct)	89	<0.01	9	10%	40	<0.01	0	0%
Sb (ppm)	89	<0.05	0	0%	40	<5	0	0%
Sc (ppm)	89	<0.1	0	0%	40	<0.5	1	3%
Se (ppm)	89	<1	69	78%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Sn (ppm)	89	<0.3	0	0%	40	<10	36	90%
Sr (ppm)	89	<0.5	0	0%	40	<0.5	0	0%
Ta (ppm)	89	<0.05	82	92%	40	N.R.	N.R.	N.R.

Tb (ppm)	89	<0.02	0	0%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Te (ppm)	89	<0.05	72	81%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Th (ppm)	89	<0.1	0	0%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Ti (pct)	89	<0.01	18	20%	40	<0.01	24	60%
Tl (ppm)	89	<0.02	0	0%	40	<2	31	78%
U (ppm)	89	<0.05	0	0%	40	N.R.	N.R.	N.R.
V (ppm)	89	<1	0	0%	40	<2	0	0%
W (ppm)	89	<0.1	38	43%	40	<10	37	93%
Y (ppm)	89	<0.05	0	0%	40	<0.5	0	0%
Yb (ppm)	89	<0.1	0	0%	40	N.R.	N.R.	N.R.
Zn (ppm)	89	<1	0	0%	40	<0.5	0	0%
Zr (ppm)	89	<0.5	0	0%	40	<0.5	1	3%

Nota. La columna del porcentaje de datos censurados está coloreada con una escala de color que va de verde (valores bajos) a rojo (valores altos) para facilitar la interpretación visual de los datos. Esta codificación de color es solo referencial y no sustituye el análisis numérico.

Tabla 19

Porcentaje de datos censurados en los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior

Elemento	SEDIMENTARIOS SÍLICO-CLÁSTICOS DEL CRETÁCICO INFERIOR							
	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)				Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.			
	Dato Total	LD	Datos Censurados	% D. Censurados	Dato Total	LD	Datos Censurados	% D. Censurados
Ag (ppm)	103	>10	1	1%	66	<0.2	34	52%
Al (pct)	103	<0.01	0	0%	66	<0.01	0	0%
As (ppm)	103	<1	0	0%	66	<3	6	9%
Au (ppb)	103	<5	66	64%	66	<10	50	76%
Ba (ppm)	103	<5	0	0%	66	<1	0	0%
Be (ppm)	103	<0.1	1	1%	66	<0.5	9	14%
Bi (ppm)	103	<0.02	0	0%	66	<5	46	70%
Ca (pct)	103	>15	1	1%	66	>15	3	5%
Cd (ppm)	103	<0.01	0	0%	66	<1	33	50%
Ce (ppm)	103	<0.05	0	0%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Co (ppm)	103	<0.1	0	0%	66	<1	0	0%
Cr (ppm)	103	<1	0	0%	66	<1	0	0%
Cs (ppm)	103	<0.05	0	0%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Cu (ppm)	103	<0.5	0	0%	66	<0.5	0	0%
Fe (pct)	103	>15	1	1%	66	<0.01	0	0%
Ga (ppm)	103	<0.1	0	0%	66	<10	62	94%
Ge (ppm)	103	<0.1	100	97%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Hf (ppm)	103	<0.05	52	50%	66	N.R.	N.R.	N.R.

Hg (ppm)	103	<0.01	1	1%	66	<0.1	25	38%
In (ppm)	103	<0.02	3	3%	66	N.R.	N.R.	N.R.
K (pct)	103	<0.01	0	0%	66	<0.01	0	0%
La (ppm)	103	<0.1	0	0%	66	<0.5	0	0%
Li (ppm)	103	<1	0	0%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Lu (ppm)	103	<0.01	0	0%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Mg (ppm)	103	<0.01	0	0%	66	<0.01	0	0%
Mn (ppm)	103	<5	0	0%	66	<2	0	0%
Mo (ppm)	103	<0.05	0	0%	66	<1	11	17%
Na (pct)	103	<0.01	75	73%	66	<0.01	15	23%
Nb (ppm)	103	<0.05	3	3%	66	null	null	null
Ni (ppm)	103	<0.5	0	0%	66	<1	0	0%
P (ppm)	103	<50	0	0%	66	<100	0	0%
Pb (ppm)	103	<0.2	0	0%	66	<2	0	0%
Rb (ppm)	103	<0.2	0	0%	66	N.R.	N.R.	N.R.
S (pct)	103	<0.01	13	13%	66	<0.01	3	5%
Sb (ppm)	103	<0.05	0	0%	66	<5	51	77%
Sc (ppm)	103	<0.1	0	0%	66	<0.5	0	0%
Se (ppm)	103	<1	100	97%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Sn (ppm)	103	<0.3	0	0%	66	<10	48	73%
Sr (ppm)	103	<0.5	0	0%	66	<0.5	0	0%
Ta (ppm)	103	<0.05	108	105%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Tb (ppm)	103	<0.02	0	0%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Te (ppm)	103	<0.05	90	87%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Th (ppm)	103	<0.1	0	0%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Ti (pct)	103	<0.01	85	83%	66	<0.01	36	55%
Tl (ppm)	103	<0.02	0	0%	66	<2	56	85%
U (ppm)	103	<0.05	0	0%	66	N.R.	N.R.	N.R.
V (ppm)	103	<1	0	0%	66	<2	0	0%
W (ppm)	103	<0.1	40	39%	66	<10	50	76%
Y (ppm)	103	<0.05	0	0%	66	<0.5	0	0%
Yb (ppm)	103	<0.1	0	0%	66	N.R.	N.R.	N.R.
Zn (ppm)	103	<1	0	0%	66	<0.5	0	0%
Zr (ppm)	103	<0.5	1	1%	66	<0.5	2	3%

Nota. La columna del porcentaje de datos censurados está coloreada con una escala de color que va de verde (valores bajos) a rojo (valores altos) para facilitar la interpretación visual de los datos. Esta codificación de color es solo referencial y no sustituye el análisis numérico.

4.7.2 Tratamiento de datos censurados

Generalmente a los datos censurados se les reemplaza por la mitad del límite de detección, sin embargo, este método no es recomendable debido que no muestra con exactitud la distribución de los elementos. Además, este método de reemplazar por la mitad del límite de detección no es aplicable cuando el porcentaje de valores censurados supera el 15%, en la Tabla 18 y 19 muchos elementos superan este porcentaje.

Teniendo en cuenta lo expuesto líneas arriba, el tratamiento de los datos censurados se realizará con el método de Regresión de Orden Estadístico para una distribución logarítmica normal que imputa valores siguiendo la función logarítmica de los demás valores que si se detectaron en el análisis químico.

El tratamiento de los datos censurados se aplicará a los dominios Sedimentarios carbonatados del Cretácico y los Sedimentarios sílico – clásticos del Cretácico Inferior, debido a que ellos son los que poseen la mayor cantidad de datos (ver Tabla 20). Los dominios restantes tienen menos de 10 datos y sería incorrecto una interpretación estadística con poca cantidad de datos.

Tabla 20

Cantidad de datos en los dominios litoestratigráficos principales

Año - Proyecto	Dominio	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	Sedimentarios sílico – clásticos del Cretácico Inferior	
2005: Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4		40	66	106
2008: GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)		89	103	192
		129	169	298

4.7.2.1 Regresión de Orden Estadístico (Log normal ROS)

Para aplicar este método se asume que los datos tienen una distribución logarítmica normal, debido a que la mayoría de abundancia de los metales en la corteza terrestre presenta una mejor distribución normal a escala logarítmica.

Por lo tanto, el método de Regresión de Orden Estadístico (Log normal ROS) se utiliza cuando los datos detectados siguen una distribución logarítmica normal. El software ProUCL tiene esta función para imputar valores a los datos censurados siguiendo la función logarítmica normal de los datos no censurados (Singh, A. y Singh, A. K., 2013).

4.7.2.1.1 *Tratamiento de los datos censurados para el dominio Sedimentarios sílico – clásticos del Cretácico Inferior*

Proyecto “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4”

Para esta subpoblación imputaremos valores a las muestras que tienen hasta el 80% de datos censurados con el método ROS Log normal (ver Anexo 3). La Tabla 21 muestra que elementos que tienen datos censurados y no reportados, para poder saber a qué elementos debemos aplicar el método mencionado líneas arriba.

Proyecto “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)”

Para esta subpoblación imputaremos valores a las muestras que tienen hasta el 80% de datos censurados con el método ROS Log normal (ver Anexo 4). La Tabla 22 muestra los elementos que tienen datos censurados.

Tabla 21

Porcentaje de datos censurados del dominio de los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior del proyecto "Estudios de los Recursos Minerales del Perú, Franja 4"

SEDIMENTARIOS SÍLICO – CLÁSTICOS DEL CRETÁCICO INFERIOR				
Elementos	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.			
	Dato Total	LD	Datos Censurados	% D. Censurados
Ag (ppm)	66	<0.2	34	52%
As (ppm)	66	<3	6	9%
Au (ppb)	66	<10	50	76%
Be (ppm)	66	<0.5	9	14%
Bi (ppm)	66	<5	46	70%
Ca (pct)	66	>15	3	5%
Cd (ppm)	66	<1	33	50%
Ce (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Cs (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Ga (ppm)	66	<10	62	94%
Ge (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Hf (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Hg (ppm)	66	<0.1	25	38%
In (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Li (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Lu (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Mo (ppm)	66	<1	11	17%
Na (pct)	66	<0.01	15	23%
Nb (ppm)	66	null	null	null
Rb (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
S (pct)	66	<0.01	3	5%
Sb (ppm)	66	<5	51	77%
Se (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Sn (ppm)	66	<10	48	73%
Ta (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Tb (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Te (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Th (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Ti (pct)	66	<0.01	36	55%
Tl (ppm)	66	<2	56	85%
U (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
W (ppm)	66	<10	50	76%
Yb (ppm)	66	N.R.	N.R.	N.R.
Zr (ppm)	66	<0.5	2	3%

Nota. La columna del porcentaje de datos censurados está coloreada con una escala de color que va de verde (valores bajos) a rojo (valores altos) para facilitar la interpretación visual de los datos. Esta codificación de color es solo referencial y no sustituye el análisis numérico.

Tabla 22

Porcentaje de datos censurados del dominio de los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior del proyecto "GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)"

Elemento	SEDIMENTARIOS SÍLICO – CLÁSTICOS DEL CRETÁCICO INFERIOR			
	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)			
	Dato Total	LD	Datos Censurados	% D. Censurados
Ag (ppm)	103	>10	1	1%
Au (ppb)	103	<5	66	64%
Be (ppm)	103	<0.1	1	1%
Ca (pct)	103	>15	1	1%
Fe (pct)	103	>15	1	1%
Ge (ppm)	103	<0.1	100	97%
Hf (ppm)	103	<0.05	52	50%
Hg (ppm)	103	<0.01	1	1%
In (ppm)	103	<0.02	3	3%
Na (pct)	103	<0.01	75	73%
Nb (ppm)	103	<0.05	3	3%
S (pct)	103	<0.01	13	13%
Se (ppm)	103	<1	100	97%
Ta (ppm)	103	<0.05	103	100%
Te (ppm)	103	<0.05	90	87%
Ti (pct)	103	<0.01	85	83%
W (ppm)	103	<0.1	40	39%
Zr (ppm)	103	<0.5	1	1%

Nota. La columna del porcentaje de datos censurados está coloreada con una escala de color que va de verde (valores bajos) a rojo (valores altos) para facilitar la interpretación visual de los datos. Esta codificación de color es solo referencial y no sustituye el análisis numérico.

4.7.2.1.2 Tratamiento de los datos censurados para el dominio Sedimentarios

carbonatados del Cretácico

Proyecto “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4”

Para esta subpoblación imputaremos valores a las muestras que tienen hasta el 80% de datos censurados con el método ROS Log normal (ver Anexo 5). La Tabla 23 muestra que elementos que tienen datos censurados y no reportados.

Tabla 23

Porcentaje de datos censurados del dominio de los Sedimentarios carbonatados del Cretácico del proyecto "Estudios de los Recursos Minerales del Perú, Franja 4"

Elemento	SEDIMENTARIOS CARBONATADOS DEL CRETÁCICO			
	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.			
	Data Total	LD	Datos Censurados	% D. Censurados
Ag (ppm)	40	<0.2	13	33%
As (ppm)	40	<3	5	13%
Au (ppb)	40	<10	26	65%
Be (ppm)	40	<0.5	28	70%
Bi (ppm)	40	<5	40	100%
Ca (pct)	40	>15	14	35%
Cd (ppm)	40	<1	29	73%
Ce (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Cs (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Ga (ppm)	40	<10	40	100%
Ge (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Hf (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Hg (ppm)	40	<0.1	5	13%
In (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
La (ppm)	40	<0.5	1	3%
Li (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Lu (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Mo (ppm)	40	<1	4	10%
Na (pct)	40	<0.01	9	23%
Nb (ppm)	40	null	25	63%
Rb (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Sc (ppm)	40	<0.5	1	3%
Se (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Sn (ppm)	40	<10	36	90%
Ta (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Tb (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Te (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Th (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Ti (pct)	40	<0.01	24	60%
Tl (ppm)	40	<2	31	78%
U (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Yb (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
W (ppm)	40	<10	37	93%

Yb (ppm)	40	N.R.	N.R.	N.R.
Zr (ppm)	40	<0.5	1	3%

Nota. La columna del porcentaje de datos censurados está coloreada con una escala de color que va de verde (valores bajos) a rojo (valores altos) para facilitar la interpretación visual de los datos. Esta codificación de color es solo referencial y no sustituye el análisis numérico.

Proyecto “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10°

Latitud Sur (Vertiente Atlántico)

Para esta subpoblación imputaremos valores a las muestras que tienen hasta el 80% de datos censurados con el método ROS Log normal (ver Anexo 6). La Tabla 24 muestra que elementos que tienen datos censurados y no reportados.

Tabla 24

Porcentaje de datos censurados del dominio de los Sedimentarios carbonatados del Cretácico del proyecto "GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)"

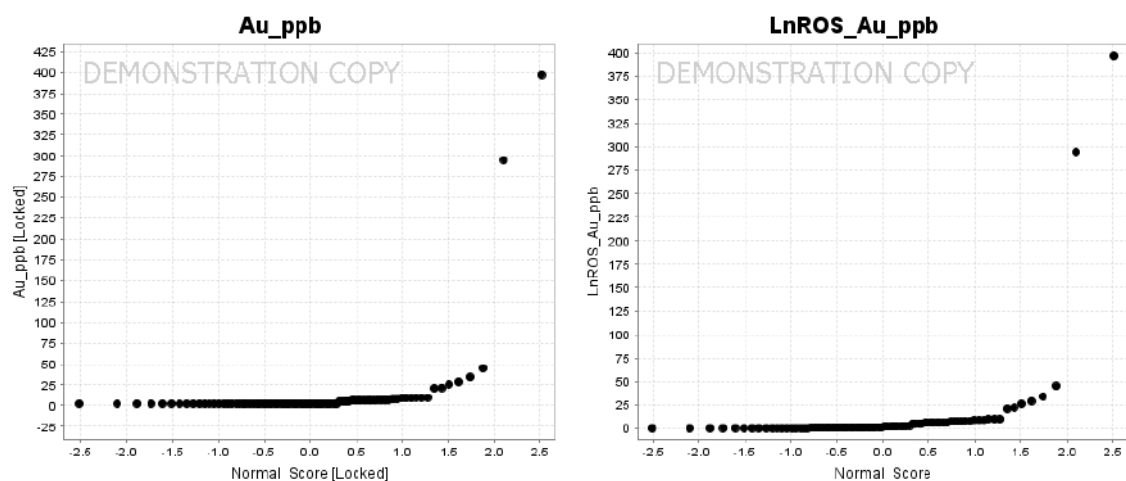
Elemento	SEDIMENTARIOS CARBONATADOS DEL CRETÁCICO			
	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)			
	Data Total	LD	Datos Censurados	% D. Censurados
Au (ppb)	89	<5	52	58%
Ca (pct)	89	>15	28	31%
Ge (ppm)	89	<0.1	82	92%
Hf (ppm)	89	<0.05	9	10%
In (ppm)	89	<0.02	16	18%
Na (pct)	89	<0.01	33	37%
Nb (ppm)	89	<0.05	1	1%
S (pct)	89	<0.01	9	10%
Se (ppm)	89	<1	69	78%
Ta (ppm)	89	<0.05	82	92%
Te (ppm)	89	<0.05	72	81%
Ti (pct)	89	<0.01	18	20%
W (ppm)	89	<0.1	38	43%

Nota. La columna del porcentaje de datos censurados está coloreada con una escala de color que va de verde (valores bajos) a rojo (valores altos) para facilitar la interpretación visual de los datos. Esta codificación de color es solo referencial y no sustituye el análisis numérico.

A continuación, para apreciar mejor este método se tiene como ejemplo la distribución del oro (Au) con un 62% de datos censurados. El software ProUCL es la encargada en esta investigación de imputar valores a esos datos censurados tomando en cuenta la distribución de los datos no censurados (los que han sido cuantificados) para predecir sus posibles valores. Como una forma de comparar el método clásico y el método ROS Log normal, se muestra la Fig. 22, la diferencia de sustituir los datos censurados por la mitad del límite de detección, que en el caso del oro sería 2.5 debido a que su límite de detección es < 5 . En una primera impresión se ve que ambos métodos muestran las mismas gráficas de probabilidad, sin embargo, cuando transformamos los datos a escala logarítmica se observa mejor las diferencias de estos métodos (ver Fig. 23). En la Tabla 25 se muestra las diferencias de los parámetros estadísticos más importantes entre estos métodos, y como varía al utilizar un método con respecto al otro.

Figura 22

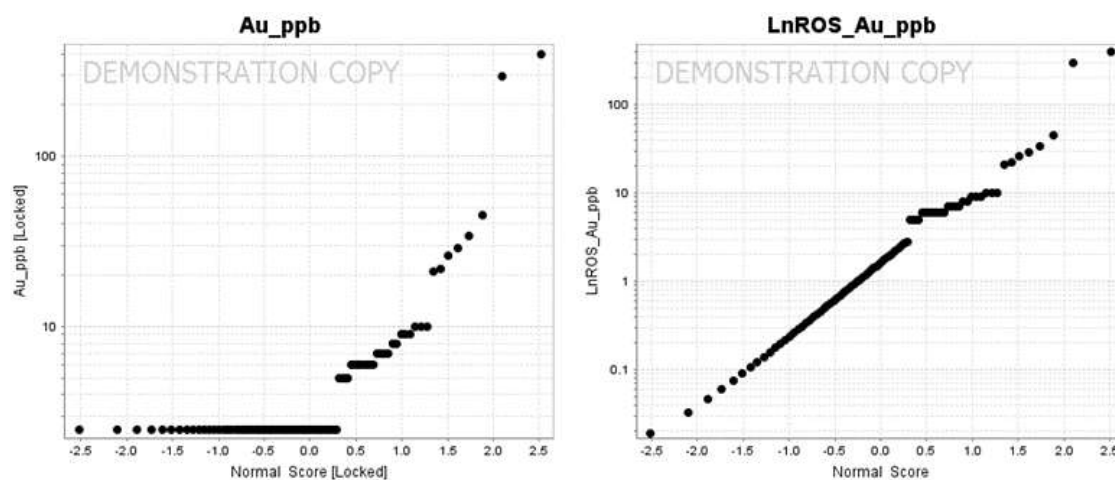
Gráficos de probabilidad de la distribución del Au



Nota. El gráfico de la izquierda muestra la distribución del Au con el método tradicional (mitad del límite de detección). El gráfico de la derecha muestra la distribución del Au imputando valores con el método ROS Log normal.

Figura 23

Gráficos de probabilidad de la distribución del Au a escala logarítmica



Nota. El gráfico de la izquierda muestra la distribución logarítmica del Au con el método tradicional (mitad del límite de detección). El gráfico de la derecha muestra la distribución logarítmica del Au imputando valores con el método ROS Log normal.

Tabla 25

Resumen estadístico de la distribución del Au con el método tradicional y con el método ROS Log normal

Estadística	Au_ppb	LnROS_Au_ppb
Cantidad	84	84
Mínimo	2.5	0.0189672
Máximo	397	397
Media	13.904762	12.89974
Mediana	2.5	1.625246
Media geométrica	4.461768	1.656772
Rango	394.5	396.981033
Rango Intercuartílico	3.5	5.566952
Desviación Estándar	53.277658	53.504369

Nota. Las celdas sombreadas de amarillo, resaltan la diferencia numérica en la estadística univariada entre los dos métodos mencionados.

4.7.3 Prueba de normalidad (kolmogorov - Smirnov^a, Shapiro - Wilk)

La prueba de normalidad Kolmogorov – Smirnov (con la corrección de Lilliefors) se usa para contrastar si un conjunto de datos se ajusta o no a una distribución normal. Esta prueba es similar a Shapiro – Wilk, sin embargo, esta prueba se puede utilizar hasta con 50 datos. Y la prueba Kolmogorov – Smirnov es recomendable utilizarlo con más de 50 datos.

Para ambas pruebas de normalidad es necesario conocer el contraste de la hipótesis:

- H_0 : los datos proceden de una distribución normal
- H_1 : los datos no proceden de una distribución normal

Para probar la hipótesis H_0 el valor de p (p – value) en cada prueba de normalidad (Kolmogorov – Smirnov y Shapiro Wilk) debe ser mayor a 0.05 a un intervalo de confianza (IC) del 95%, por el contrario, si es menor se rechaza la hipótesis H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 (Kolmogorov – Smirnov en r (Lilliefors) para testear la normalidad, s.f.).

Se aplicó la prueba de normalidad a los dominios de interés, luego del tratamiento de los datos censurados por el método ROS Log normal, tanto a la data normal y a la data a escala logarítmica debido a que esta transformación se aproxima a una distribución normal al reducir los valores extremos y distribuir los valores bajo.

4.7.3.1 Prueba de normalidad para el dominio litoestratigráfico de los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior

Para este dominio se separó la data en sus dos proyectos originales para poder realizar las pruebas de normalidad correspondiente. Para ambos proyectos se aplicó la prueba de Kolmogorov – Smirnov (corregido por Lilliefors) debido a que tienen más de 50 muestras. Además, se aplicó la prueba a escala logarítmica de cada elemento para poder compararlas (ver Anexo 7).

4.7.3.2 Prueba de normalidad para el dominio litoestratigráfico de los Sedimentarios carbonatados del Cretácico

Para este dominio se separó la data en sus dos proyectos originales para poder realizar las pruebas de normalidad correspondiente. Para el proyecto “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)” se aplicó la prueba de Kolmogorov – Smirnov (corregido por Lilliefors) debido a que tienen 84 muestras y para el proyecto “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4” se aplicó la prueba de Shapiro – Wilk debido a que tiene 40 muestras. Además, se aplicó la prueba a escala

logarítmica de cada elemento para poder compararlas (ver Anexo 8).

Evaluando las Anexos 7 y 8, se observa que no todos los elementos se ajustan a escala logarítmica. Esto significa que se trabajará con un método diferente para evaluar la estadística de la data. Pero se seguirá usando esta como referencia en el siguiente ítem para evaluar la equivalencia estadística de los resultados de ambos proyectos.

4.7.4 Prueba T-Student

La prueba T – Student (también conocida como prueba t) se usa como una herramienta para evaluar las medias de uno o dos grupos mediante una prueba de hipótesis. La prueba t se usa para determinar si un único grupo difiere de un valor conocido (prueba t de una muestra), si dos grupos difieren entre sí (prueba t de muestras independientes) y si hay una diferencia significativa en medidas pareadas (una prueba t de muestras dependientes o pareadas).

Para realizar una prueba t se asume que:

- Los datos son continuos
- Hay homogeneidad en la varianza (la variabilidad de cada grupo es similar)
- Las distribuciones son aproximadamente normales

Método

- ✓ μ_1 : media del elemento “x” para el proyecto GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur
- ✓ μ_2 : media del elemento “x” para el proyecto Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4
- ✓ Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Para un índice de confiabilidad (IC) del 95% la prueba de hipótesis sería:

- Hipótesis nula: $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
- Hipótesis alterna: $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Para probar la hipótesis H_0 el valor de p (p – value) debe ser mayor a 0.05, si es menor, se rechaza la hipótesis H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 a un intervalo de confianza (IC) del 95% (La prueba t , s.f.).

Según Habibnia et al. (2020) se realiza la prueba T – Student para comparar las medias de dos poblaciones y con el resultado poder integrarlas utilizando el método más adecuado. Por lo que es necesario aplicar este método antes de integrar los datos de ambos proyectos en los dominios a trabajar.

4.7.4.1 Prueba T-Student para el dominio litoestratigráfico de los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior

Se realizó la prueba T – Student para comparar las medias entre los dos proyectos mencionados. En la Tabla 26 se colocaron los logaritmos naturales de los elementos para poder comparar sus medias con la prueba t debido a que son los más aproximados a una distribución normal (requisito para realizar esta prueba). Existe excepciones de algunos elementos que no fueron necesarios transformarlo a escala logarítmica debido a que cumplen con la normalidad detallado en la Anexo 7.

Observando la Tabla 26, se hizo la prueba T – Student a 37 elementos que han sido cuantificados, 15 de ellos no tienen una diferencia significativa entre sus medias con un $\text{sig.}(\text{bilateral}) > 0.05$ (fondo de color amarillo), mientras que 22 elementos si tienen una diferencia significativa entre sus medias con un $\text{sig.}(\text{bilateral}) < 0.05$ (sin color de fondo). Los demás elementos que tienen un fondo de color gris significan que por lo menos en un proyecto no ha sido cuantificado su concentración por lo que no se puede aplicar la prueba T – Student, al no registrar datos en el resultado de uno de los dos proyectos. En la Tabla 17 se observa que elementos no han sido cuantificados para ambos proyectos.

Tabla 26*Prueba T-Student para el dominio Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior*

SEDIMENTARIOS SÍLICO – CLÁSTICOS DEL CRETÁCICO INFERIOR			
Elemento	PRUEBA T - STUDENT GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica) vs Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4		
	t	gl	Sig. (bilateral)
LnAg (ppm)	-1.511	172	0.133
Al (pct)	-6.022	85.041	0
LnAs (ppm)	-1.14	172	0.256
LnAu (ppb)	0.449	172	0.654
LnBa (ppm)	3.807	172	0
LnBe (ppm)	0.846	172	0.398
LnBi (ppm)	-21.716	172	0
LnCa (pct)	1.126	172	0.262
LnCd (ppm)	-0.402	172	0.688
Ce (ppm)			
LnCo (ppm)	3.003	172	0.003
LnCr (ppm)	-17.485	119.837	0
Cs (ppm)			
LnCu (ppm)	1.084	172	0.28
LnFe (pct)	-0.445	172	0.657
LnGa (ppm)	-19.382	164.469	0
Ge (ppm)			
Hf (ppm)			
LnHg (ppm)	6.861	92.363	0
In (ppm)			
LnK (pct)	-6.226	104.842	0
LnLa (ppm)	0.524	95.426	0.601
Li (ppm)			
Lu (ppm)			
LnMg (ppm)	-2.682	113.347	0.008
LnMn (ppm)	2.092	171	0.038
LnMo (ppm)	-1.593	99.15	0.114
LnNa (pct)	-6.611	171.86	0
LnNb (ppm)	-32.226	159.956	0
LnNi (ppm)	-3.854	106.231	0
LnP (ppm)	90.275	172	0

LnPb (ppm)	0.531	172	0.596
Rb (ppm)			
LnS (pct)	-0.84	156.793	0.402
LnSb (ppm)	-2.151	172	0.033
LnSc (ppm)	-0.51	92.507	0.959
Se (ppm)			
LnSn (ppm)	-30.87	171.99	0
LnSr (ppm)	0.79	172	0.43
Ta (ppm)			
Tb (ppm)			
Te (ppm)			
Th (ppm)			
LnTi (pct)	-5.053	172	0
LnTl (ppm)	-2.486	99.609	0.015
U (ppm)			
LnV (ppm)	-3.315	172	0.001
LnW (ppm)	-20.379	169.298	0
LnY (ppm)	3.047	172	0.003
Yb (ppm)			
LnZn (ppm)	0.478	172	0.633
LnZr (ppm)	-3.443	91.014	0.001

Nota. Las celdas sombreadas de amarillo resaltan al p (p – value) mayor a 0.05.

4.7.4.2 Prueba T-Student para el dominio litoestratigráfico de los Sedimentarios carbonatados del Cretácico

Se realizó la prueba T – Student para comparar las medias entre los dos proyectos. La Tabla 27 se colocaron los logaritmos naturales de los elementos para poder comparar sus medias con la prueba T – Student debido a que son los más aproximados a una distribución normal (requisito para realizar esta prueba). Existe excepciones de algunos elementos que no fueron necesarios transformarlos a escala logarítmica debido a que cumplen con la normalidad detallada en la Anexo 8.

Tabla 27*Prueba T-Student para el dominio Sedimentarios carbonatados del Cretácico*

SEDIMENTARIOS CARBONATADOS DEL CRETÁCICO			
Elemento	PRUEBA T - STUDENT GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica) vs Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4		
	t	gl	Sig. (bilateral)
LnAg (ppm)	-2.813	122	0.006
Al (pct)	0.338	122	0.736
LnAs (ppm)	1.353	122	0.178
LnAu (ppb)	-2.305	122	0.023
LnBa (ppm)	4.357	122	0
LnBe (ppm)	5.265	122	0
LnBi (ppm)	0.423	122	0.673
Ca (pct)	1.056	122	0.293
LnCd (ppm)	4.07	122	0
LnCe (ppm)			
LnCo (ppm)	2.645	122	0.009
LnCr (ppm)	-8.94	122	0
LnCs (ppm)			
LnCu (ppm)	1.924	122	0.057
Fe (pct)	2.148	122	0.034
Ga (ppm)	1.414	122	0.16
Ge (ppm)			
Hf (ppm)			
LnHg (ppm)	-1.025	50.641	0.31
In (ppm)			
LnK (pct)	-0.03	122	0.976
LnLa (ppm)	5.646	55.984	0
LnLi (ppm)			
Lu (ppm)			
LnMg (ppm)	2.119	122	0.036
LnMn (ppm)	3.605	122	0
LnMo (ppm)	-1.45	122	0.15
LnNa (pct)	1.743	120.835	0.084
Nb (ppm)			
LnNb (ppm)			
LnNi (ppm)	-0.578	122	0.564
LnP (ppm)	-1.656	122	0.1

LnPb (ppm)			
Rb (ppm)			
LnS (pct)	-5.094	121.344	0
LnSb (ppm)	-10.425	121.693	0
LnSc (ppm)	4.369	122	0
Se (ppm)			
LnSn (ppm)	-0.201	122	0.841
LnSr (ppm)	0.053	122	0.958
Ta (ppm)			
LnTb (ppm)			
Te (ppm)			
LnTe (ppm)			
LnTh (ppm)			
LnTi (pct)	2.937	97.722	0.004
LnTl (ppm)	-2.069	56.544	0.043
U (ppm)			
LnV (ppm)	2.68	100.449	0.009
LnW (ppm)	-0.522	122	0.603
LnY (ppm)	4.849	122	0
Yb (ppm)			
LnZn (ppm)	0.008	122	0.994
LnZr (ppm)	1.39	122	0.167

Nota. Las celdas sombreadas de amarillo resaltan al p (p – value) mayor a 0.05.

Observando la Tabla 27, se hizo la prueba T Student a 35 elementos que han sido cuantificados, 17 de ellos no tienen una diferencia significativa entre sus medias con un sig.(bilateral) > 0.05 (fondo de color amarillo), mientras que 18 elementos si tienen una diferencia significativa entre sus medias con un sig.(bilateral) < 0.05 (sin color de fondo). Los demás elementos que tienen un fondo de color gris significan que por lo menos en un proyecto no han sido cuantificado su concentración por lo que no se puede aplicar la prueba T – Student al no registrar datos en el resultado de uno de los dos proyectos. En la Tabla 17 se observa que elementos no han sido cuantificados para ambos proyectos.

4.7.5 Nivelamiento de los datos geoquímicos

Según Habibnia et al. (2020) al comprobar que no existe una equivalencia estadística entre las dos poblaciones a tratar, en este caso, los dos proyectos que se evaluaron con la prueba

T – Student en el ítem anterior, es necesario realizar un nivelamiento de los datos geoquímicos con el método más adecuado para poder integrarlas de forma correcta y poder trabajar de manera más exacta la distribución de los elementos.

El nivelamiento de datos geoquímicos consiste en disminuir las variaciones al integrar dos o más grupos de datos. Estas variaciones se deben a diferentes efectos:

- Geología: el nivelamiento puede reducir los efectos de las diferentes litologías en el background de los elementos.
- Regolitos: cuando se mezcla el regolito con muestreo de rocas, el nivelamiento disminuye los efectos del regolito.
- Métodos analíticos: cuando grupos de datos se analizaron en diferentes laboratorios, distintas formas de digestión, distintos límites de detección para los elementos, etc.
- Tipos de muestras: no se puede mezclar datos de suelos, stream sediment, roca, etc. Pero en caso extremo que se le deba hacer, la nivelación geoquímica disminuye los efectos causados al mezclar estos tipos de muestras.

Para esta investigación se integrará los datos de los dos proyectos mencionados en sus respectivos dominios litoestratigráficos, pero antes de hacerlo se aplicará el nivelamiento geoquímico debido a que la prueba T – Student arrojó que las datas de ambos proyectos no son equivalentes estadísticamente. Probablemente resultó así por distintos factores, la variación en el año de cada proyecto, el laboratorio donde se mandaron a analizar las muestras y la variación de los límites de detección de algunos elementos (ver Tablas 16 y 17).

4.7.5.1 Métodos de nivelamiento de datos geoquímicos

A continuación, se muestra en la Tabla 28 diferentes métodos de nivelación disponibles en el software ioGas, no son los únicos métodos que existen, pero para esta investigación utilizaremos uno de ellos para mayor practicidad en esta tesis.

Tabla 28*Métodos para nivelar datos geoquímicos*

Media*	Divida los datos de cada grupo por la media del grupo. Los datos no normales pueden producir resultados muy pobres.
Media (Log10)*	Divida los datos en cada grupo por la media del grupo, registre los datos primero. Mejor que el método anterior, pero aún debe preocuparse por la distribución de datos antes de la nivelación. Se prefiere la mediana.
ZScore*	Transforme cada resultado en una puntuación z basada en grupos. Susceptible a datos no normales que afectan los cálculos de media y desviación estándar; puede volverse completamente inválido.
Zscore (Log10)*	Transforme cada resultado en un puntaje z basado en grupos después de que el primer registro transforme todos los datos. Mejor que el anterior, especialmente con oligoelementos que suelen ser de cola larga a la derecha.
Mediana*	Divida los datos de cada grupo por la mediana del grupo. El fondo para cada grupo será 1, los valores atípicos se conservarán en >> tiempos de fondo. Sin ajuste por 'spread', la distribución de los datos originales no es motivo de gran preocupación. Puede tener un rango dinámico extremo.
Mediana-MAD	Versión robusta de la puntuación z, que sustituye la media por la mediana y la desviación estándar por la "desviación absoluta de la mediana" de la mediana.
Gauss*	Fuerce los datos dentro de cada grupo en una distribución gaussiana. Bueno para obtener imágenes y buscar tendencias regionales en los datos. Maneja bien los datos de baja calidad, se suprimen las anomalías.
Percentil*	Convierta los datos en percentiles por grupo. Bueno para mapeo temático, datos de "crujidos": todo, desde 0-100, anomalías suprimidas.
Nivelación QQ	Iguala las distribuciones de datos.

* Presente en ioGAS como opción de nivelación

Nota. Los marcados con un * son los disponibles en el software ioGAS.

Nivelación Z-Score

Los Z-Score convierte los datos a unidades de desviación estándar. Para los distintos

Z-Score se pueden calcular de la siguiente manera:

- $Z\text{-Score} = (X - \text{media}) / \text{desviación estándar}$
- $Z\text{-Score del grupo} = (X - \text{media del grupo}) / \text{desviación estándar del grupo}$
- Robust Z-Score = misma fórmula que el anterior, excepto que la media se sustituye por la mediana y la desviación estándar por el rango

intercuartil*0.7413. Los resultados proporcionan estimaciones sólidas de ubicación y dispersión, por lo tanto, una estimación sólida del Z-Score resistente a los valores atípicos.

Los cálculos de nivelación con el Z-Score se utilizan cuando los datos tienen una distribución aproximadamente normal, si no es así, se utiliza el Z-Score (Log 10) que transforma previamente los datos a logaritmo para aplicar la fórmula del Z-Score.

Para este estudio se utilizó el nivelamiento de los datos geoquímicos con el método Z-Score (Log 10) para nivelar los datos que se integró de los proyectos “Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4” y “GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántico)” en los dos dominios litoestratigráficos de interés (ver Anexos 9 y 10).

4.8 ETAPA 2: Interpretación de imágenes satelitales

En esta etapa se usó el software Google Earth Pro para poder observar todas las áreas anómalas por vanadio resultado del tratamiento estadístico de los datos históricos de los sedimentos de quebrada. Así mismo, con las imágenes en 3D del software mencionado se corroboró de forma general las formaciones geológicas en dichas áreas, teniendo más en cuenta la Formación Pariatambo como la unidad litológica de aporte del vanadio según la información bibliográfica, observar los pueblos cercanos, las vías de accesos (carretera asfaltada, trochas carrozables y caminos de herradura). Por último, se delimitó las mejores áreas para poder obtener muestras representativas de la Formación Pariatambo, lugares idóneos, donde exista acceso al lugar y que tengan buenos afloramientos de dicha formación para iniciar la etapa de campo y recolectar las muestras de rocas (ver Fig. 24).

Figura 24

Interpretación de imágenes satelitales con Google Earth Pro para delimitar áreas de muestreo de rocas

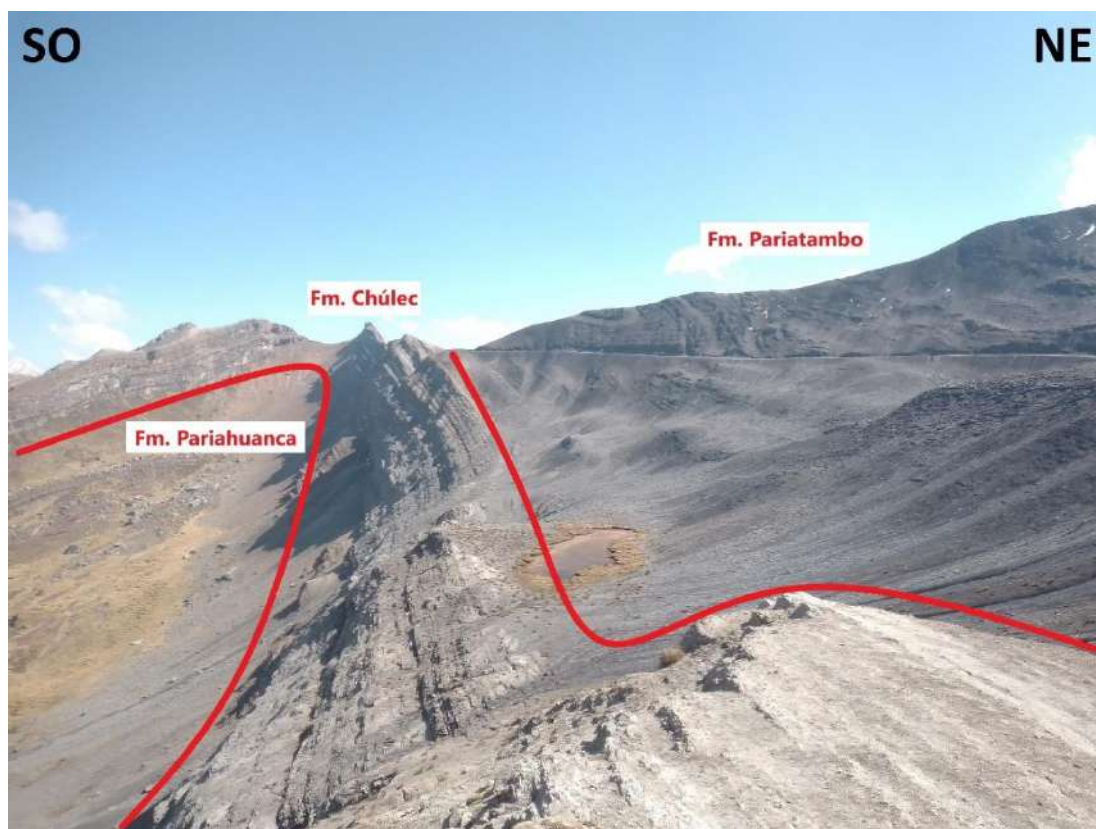


4.9 ETAPA 3: Muestreo de rocas en campo

Una vez delimitado las áreas a muestrear las rocas, se escogió lugares donde tengan buenos afloramiento para poder obtener las muestras. Las muestras se recolectaron de la unidad litoestratigráfica llamada Formación Pariatambo, que según la información bibliográfica sería la fuente primaria de las altas concentraciones de vanadio, asimismo, se recolectó muestras de otra formación en contacto con la base del Pariatambo para poder corroborar con lo interpretado de las bases teóricas del Capítulo II (ver Figura 25).

Figura 25

Identificación de la Formación Pariatambo en contacto con la Formación Chúlec (unidad inferior al Pariatambo)



Todas las muestras de rocas se recolectaron por conveniencia, es decir, se muestreo por facies en una zona determinada. En el marco geológico del Capítulo III, se detalla que la Formación Pariatambo está constituida por intercalaciones de calizas y lutitas negras, con altas concentraciones de materia orgánica. Por lo tanto, en una zona de 2 metros aproximadamente, se tuvo una secuencia de calizas y lutitas, la cual se obtuvo dos muestras, una de calizas y otra de lutitas para poder analizarlas por separado (ver Fig. 26). Se utilizó este criterio para la mayoría de muestras extraídas de la Formación Pariatambo y la unidad inferior en contacto con dicha formación. Cada estación de muestreo se tomó datos como el rumbo y buzamiento de los estratos, descripción de las muestras y sus coordenadas respectivas (ver Fig. 27).

Figura 26

Intercalación de calizas y lutitas negras de la Formación Pariatambo

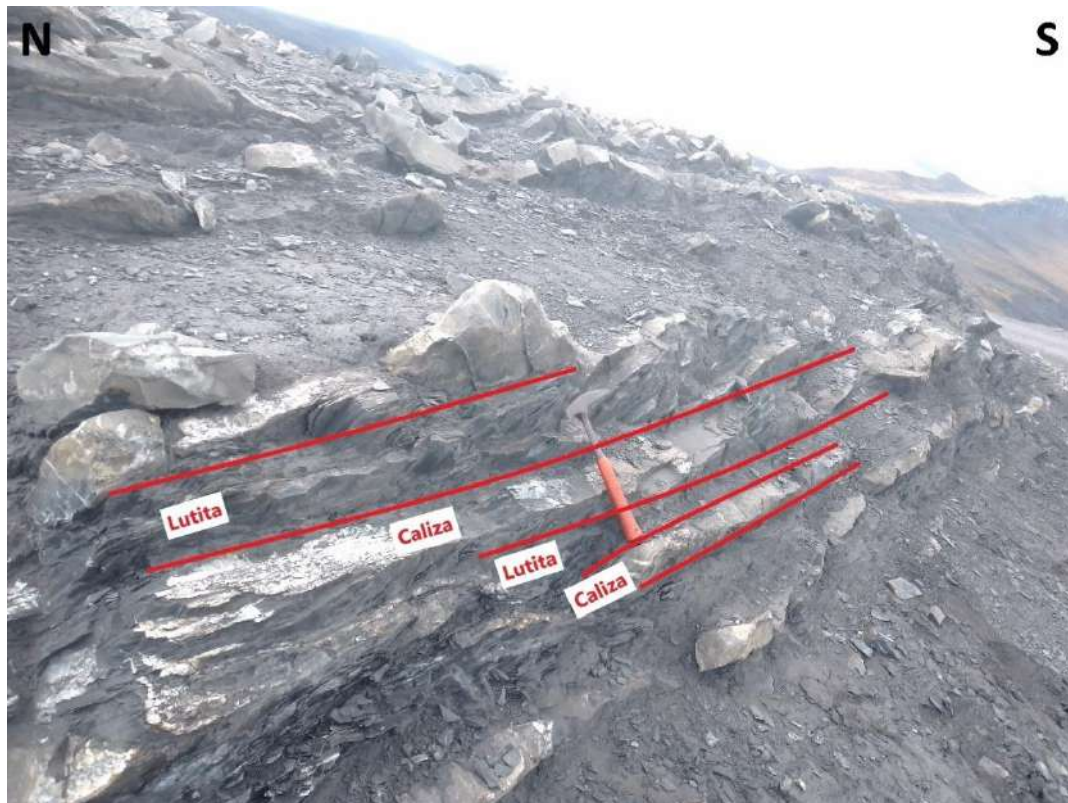


Figura 27

Toma de datos (rumbo y buzamiento) de la estación a muestrear



CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ETAPA 1: Geoquímica de los sedimentos de quebrada

En este acápite se muestra los resultados de la estadística descriptiva, la correlación bivariada y el análisis multivariado del vanadio en los dominios litoestratigráficos de “Sedimentarios sílico – clásticos del Cretácico Inferior” y los “Sedimentarios carbonatados del Cretácico”.

5.1.1 Estadística Univariada

Específicamente se determinaron los estadísticos descriptivos tales como la media, mediana, la desviación estándar, el valor máximo, el valor mínimo, el rango, el rango intercuartil, etc., para poder describir de manera correcta la distribución del vanadio en ambos dominios litoestratigráficos. Se analizará los datos ya transformados a Z-Score debido a que esa data es la integración final después de la nivelación geoquímica para poder trabajar con datos de diferentes proyectos, mencionado y analizado en el capítulo anterior.

5.1.1.1 Estadística univariada del vanadio en el dominio litoestratigráfico Sedimentarios sílico – clásticos del Cretácico Inferior

En la Tabla 29 se detalla los principales estadísticos descriptivos de la distribución del vanadio en el dominio litoestratigráfico de los Sedimentarios sílico – clásticos del Cretácico Inferior, datos previamente transformados a ZScore. Los estadísticos más importantes a tomar en cuenta es la mediana, que será nuestro background, y la desviación estándar, dato que nos ayudará a determinar los umbrales geoquímicos. Los estadísticos como el mínimo, máximo, rangos, asimetría y curtosis nos servirán como fundamento numérico del histograma, box Plot y el gráfico Q-Q Plot. En el histograma (ver Fig. 28) se observa una leve asimetría positiva (como se demuestra en la Tabla 29 con un valor mayor a 0) con algunos datos atípicos al lado derecho, que se observan mejor en el box Plot (ver Fig. 29), por lo tanto, para obtener los parámetros geoquímicos es necesario realizar una primera corrida eliminando estos datos

atípicos. Por último, el gráfico Q-Q Plot (ver Fig. 30) junto con el histograma (ver Fig. 28), nos ayudan a observar que la distribución del vanadio se ha normalizado correctamente después del tratamiento estadístico con el método ZScore.

Tabla 29

Estadísticos descriptivos del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios sílico – clásticos del Cretácico Inferior

Est. Descriptiva	ZLog (V_ppm)
Cantidad Numérico	169
Mínimo	-2.278283151
Máximo	2.978923343
Media	3.55E-17
Mediana	-0.064973
Media geométrica	-
Rango	5.257206495
Rango Intercuartil	1.289523304
Asimetría	0.391
Curtosis	0.153
Desviación Estándar	0.997019367

Figura 28

Histograma del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior

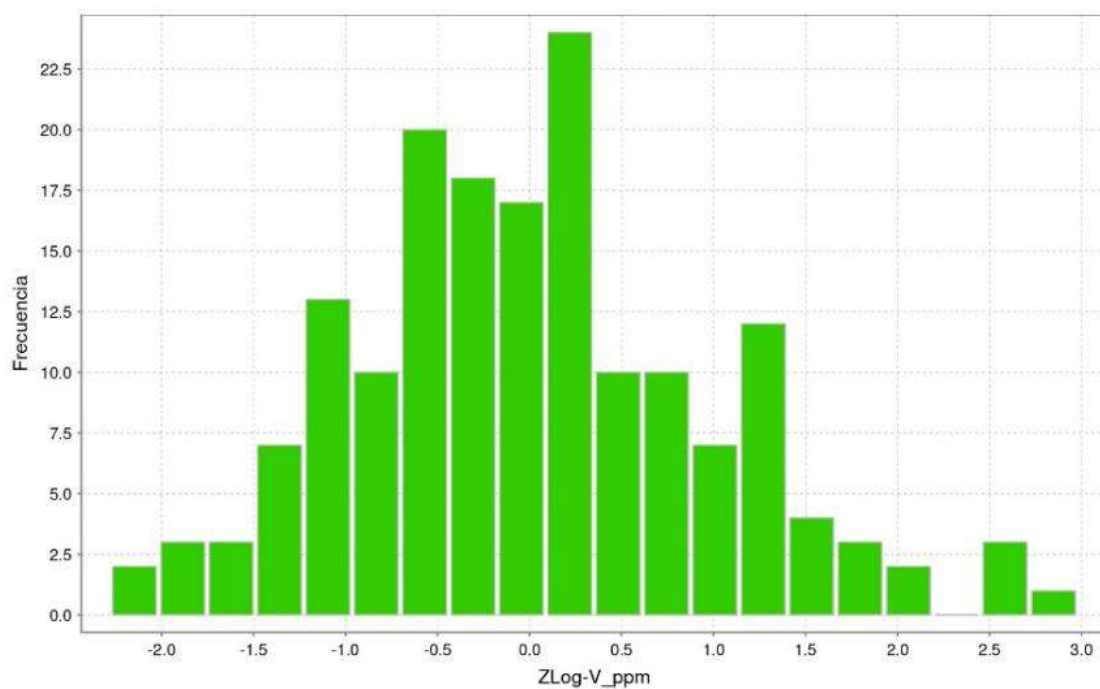


Figura 29

Box Plot del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior

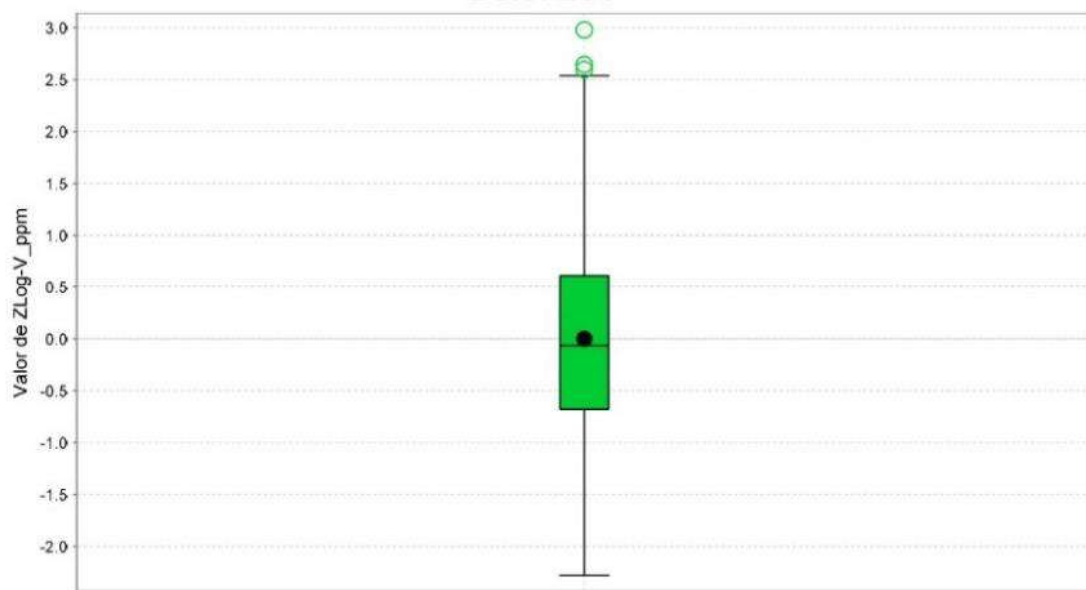
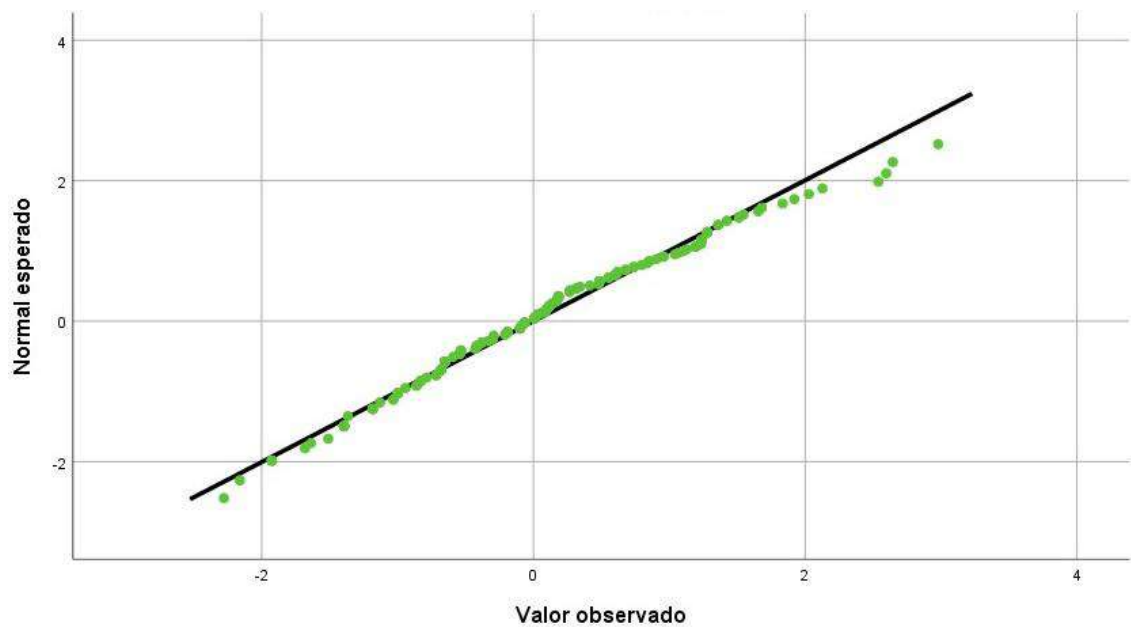


Figura 30

Gráfico Q-Q Plot del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior



5.1.1.2 Estadística univariada del vanadio en el dominio litoestratigráfico

Sedimentarios carbonatados del Cretácico

En la Tabla 30 se detalla los principales estadísticos descriptivos de la distribución del vanadio en el dominio litoestratigráfico de los Sedimentarios carbonatados del Cretácico, datos previamente transformados a ZScore. Los estadísticos más importantes a tomar en cuenta es la mediana, que será nuestro background, y la desviación estándar, dato que nos ayudará a determinar los umbrales geoquímicos. Los estadísticos como el mínimo, máximo, rangos, asimetría y curtosis nos servirán como fundamento numérico del histograma, box Plot y el grafico Q-Q Plot. En el histograma (ver Fig. 31) se observa una leve asimetría positiva (como se demuestra en la Tabla 30 con un valor mayor a 0) pero se observa claramente que la concentración de datos se aleja de la región central (demostrado en la Tabla 30 con un valor negativo en la curtosis). En el box Plot (ver Fig. 32) no se observa datos atípicos por lo que no es necesario realizar ninguna corrida. Por último, el grafico Q-Q Plot (ver Fig. 33) junto con el histograma (ver Fig. 31), nos ayudan a observar que la distribución del vanadio se ha normalizado correctamente después del tratamiento estadístico con el método ZScore.

Tabla 30

Estadísticos descriptivos del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico

Est. Descriptiva	ZLog (V_ppm)
Cantidad Numérico	129
Mínimo	-2.628552
Máximo	2.408154
Media	-2.87E-16
Mediana	-0.116086524
Media geométrica	-
Rango	5.036706
Rango Intercuartil	1.459904
Asimetría	0.36
Curtosis	-0.192
Desviación Estándar	0.996086

Figura 31

Histograma del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico

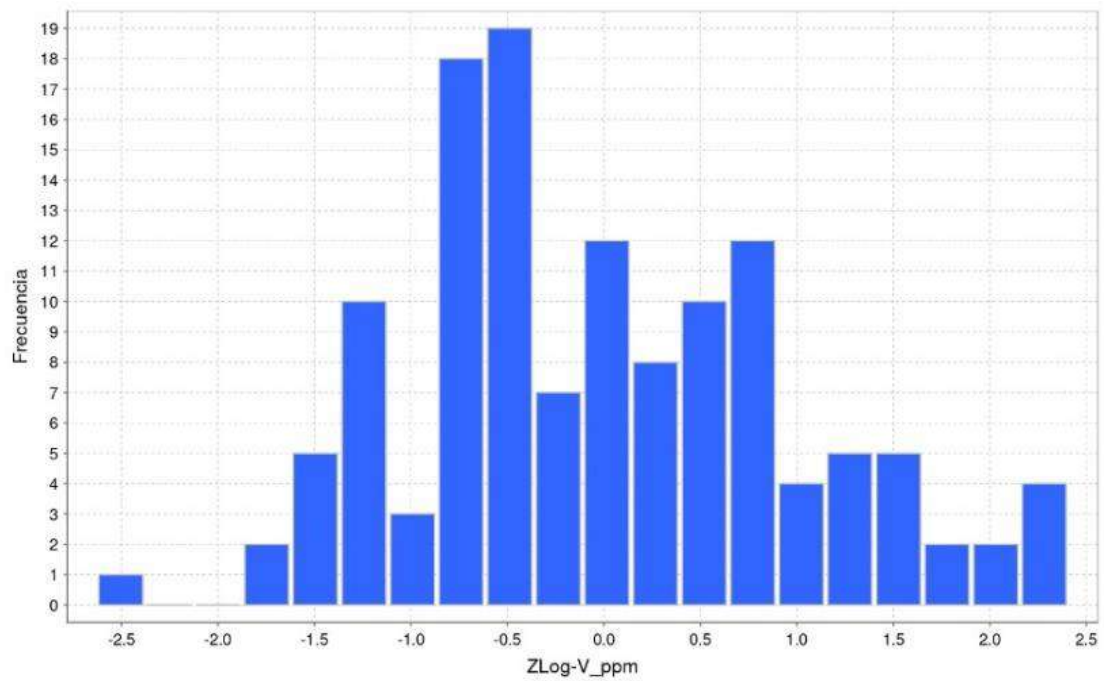


Figura 32

Box Plot del ZLog-V_ppm en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico

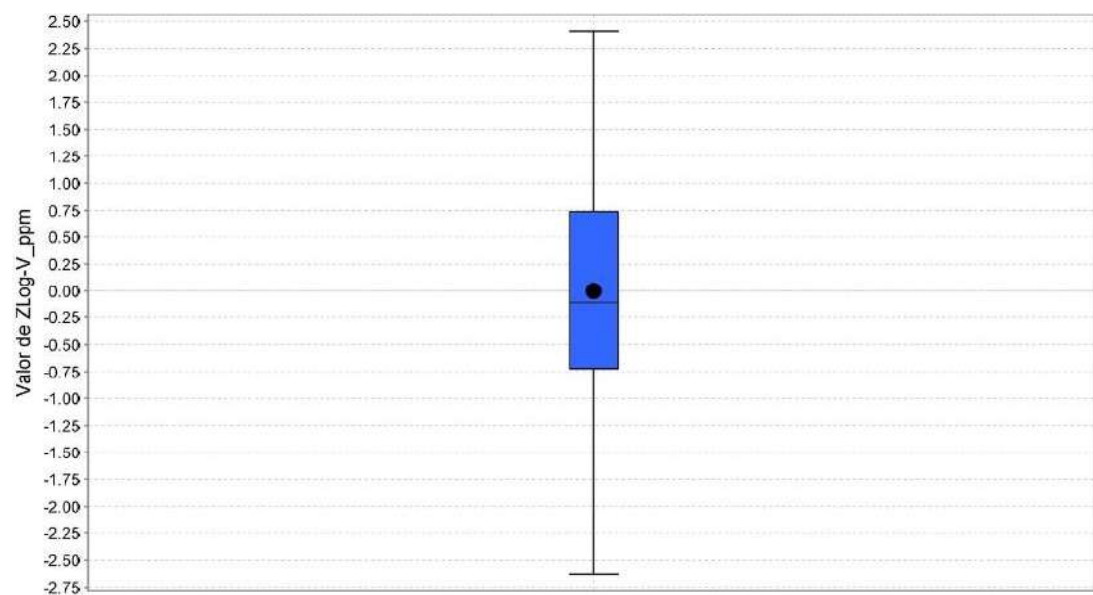
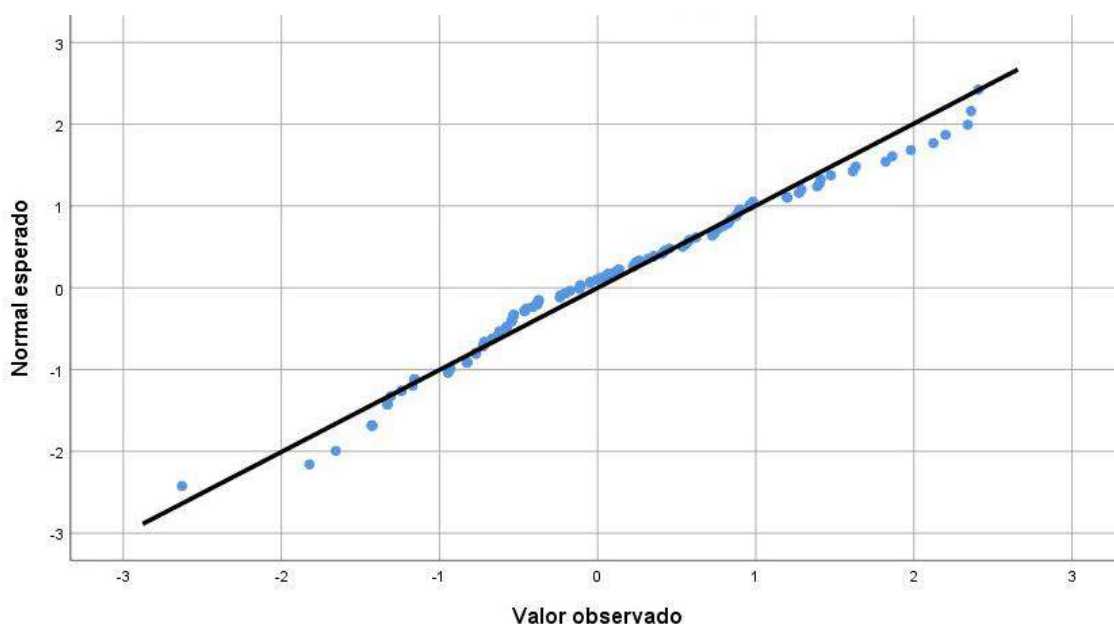


Figura 33

Gráfico Q-Q Plot del ZLog-V_{ppm} en los Sedimentarios carbonatados del Cretácico



5.1.2 Estadística Bivariada

Se determinaron las relaciones estadísticas entre las variables, calculando los coeficientes de correlación de Pearson. Se trabajó en base a los datos transformados a Z-Score debido a que se debe trabajar con datos con una distribución normal. La correlación de Pearson se hizo mediante el software SPSS versión 25. Se correlacionó 48 variables, con una clasificación de “Muy buena correlación” para valores entre 0.90 a 1.00, “Buena correlación” para valores entre 0.75 a 0.90 y “Moderada correlación” para valores entre 0.50 a 0.75. Se efectuó el cálculo del coeficiente de Pearson a cada población estadística (Sedimentarios silico – clásticos del Cretácico Inferior y Sedimentarios carbonatados del Cretácico) las cuales ya fueron descritas en el capítulo anterior. A continuación, se presenta tablas de la correlación de Pearson del vanadio con los otros elementos. Las tablas completas de todas las correlaciones de Pearson de todos los elementos se encuentran en los Anexos 11 y 12.

5.1.2.1 Correlación de Pearson en el dominio litoestratigráfico Sedimentarios sílico – clásticos del Cretácico Inferior

Tabla 31

Correlación de Pearson del vanadio con otros elementos en el dominio Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior

	ZLog-V_ppm
ZLog-Au_ppb	-0.047
ZLog-Hg_ppm	0.047
ZLog-Ag_ppm	0.070
ZLog-Al_pct	0.484
ZLog-As_ppm	0.302
ZLog-Ba_ppm	0.311
ZLog-Bi_ppm	0.018
ZLog-Ca_pct	0.689
ZLog-Cd_ppm	0.337
ZLog-Co_ppm	0.039
ZLog-Cr_ppm	0.283
ZLog-Cu_ppm	0.001
ZLog-Fe_pct	0.228
ZLog-K_pct	0.293
ZLog-La_ppm	0.388
ZLog-Li_ppm	0.306
ZLog-Mg_pct	0.631
ZLog-Mn_ppm	0.120
ZLog-Mo_ppm	0.421
ZLog-Na_pct	0.320
ZLog-Ni_ppm	0.361
ZLog-P_ppm	0.773
ZLog-Pb_ppm	0.034
ZLog-Sb_ppm	0.042
ZLog-Sc_ppm	0.464
ZLog-Rb_ppm	0.474
ZLog-Sr_ppm	0.639
ZLog-Ti_pct	0.237
ZLog-V_ppm	1
ZLog-Y_ppm	0.732
ZLog-Zn_ppm	0.286
ZLog-Zr_ppm	0.382
ZLog-Be_ppm	0.288
ZLog-Ce_ppm	0.269

0.50-0.75	Moderada correlación
0.75-0.90	Buena correlación
0.90-1.00	Muy buena correlación

ZLog-Cs_ppm	0.238
ZLog-Ga_ppm	0.327
ZLog-Hf_ppm	0.441
ZLog-In_ppm	0.181
ZLog-Lu_ppm	0.726
ZLog-Nb_ppm	0.416
ZLog-Tl_ppm	0.264
ZLog-Tb_ppm	0.083
ZLog-Th_ppm	0.386
ZLog-U_ppm	0.744
ZLog-W_ppm	0.099
ZLog-Yb_ppm	0.003
ZLog-Sn_ppm	0.283
ZLog-S_pct	0.274

Se observa en la Tabla 31 que el vanadio se correlaciona con algunos elementos de moderada a buena intensidad. El vanadio se correlaciona de intensidad moderada con el Ca, Mg, Mo, Sr, Y, Lu y U; y se correlaciona de intensidad buena con el P.

5.1.2.2 Correlación de Pearson en el dominio litoestratigráfico Sedimentarios carbonatados del Cretácico

Tabla 32

Correlación de Pearson del vanadio con otros elementos en el dominio Sedimentarios carbonatados del Cretácico

	ZLog-V_ppm
Zlog-Au_ppb	0.086
ZLog-Hg_ppm	-0.224
ZLog-Ag_ppm	0.222
ZLog-Al_pct	0.716
ZLog-As_ppm	0.245
Zlog-Ba_ppm	0.402
ZLog-Bi_ppm	0.249
ZLog-Ca_pct	0.332
ZLog-Cd_ppm	0.636
ZLog-Co_ppm	0.229
ZLog-Cr_ppm	0.517
ZLog-Cu_ppm	0.452
ZLog-Fe_pct	0.484
ZLog-K_pct	0.587
ZLog-La_ppm	0.740
ZLog-Li_ppm	0.559
ZLog-Mg_pct	0.653
ZLog-Mn_ppm	0.397
ZLog-Mo_ppm	0.691
ZLog-Na_pct	0.204
ZLog-Ni_ppm	0.717
ZLog-P_ppm	0.574
ZLog-Pb_ppm	0.338
ZLog-Sb_ppm	0.355
ZLog-Sc_ppm	0.705
ZLog-Rb_ppm	0.504
ZLog-Sr_ppm	0.439
ZLog-Ti_pct	0.443
ZLog-V_ppm	1
ZLog-Y_ppm	0.810
ZLog-Zn_ppm	0.458
ZLog-Zr_ppm	0.419
ZLog-Be_ppm	0.543
ZLog-Ce_ppm	0.690
ZLog-Cs_ppm	0.090

0.50-0.75	Moderada correlación
0.75-0.90	Buena correlación
0.90-1.00	Muy buena correlación

ZLog-Ga_ppm	0.502
ZLog-Hf_ppm	0.251
ZLog-In_ppm	0.386
ZLog-Lu_ppm	0.798
ZLog-Nb_ppm	0.326
ZLog-Tl_ppm	0.464
ZLog-Tb_ppm	-0.112
ZLog-Th_ppm	0.642
ZLog-U_ppm	0.868
ZLog-W_ppm	0.255
ZLog-Yb_ppm	-0.159
ZLog-Sn_ppm	0.185
ZLog-S_pct	0.050

Se observa en la Tabla 32 que el vanadio se correlaciona con algunos elementos de moderada a buena intensidad. El vanadio se correlaciona de intensidad moderada con el Al, Cd, Cr, K, La, Li, Mg, Mo, Ni, P, Sc, Rb, Be, Ce, Ga y Th; y se correlaciona de intensidad buena con el Y, Lu y U.

5.1.3 Estadística Multivariada

Como se necesita establecer las relaciones que tiene el vanadio con otros elementos, se necesita determinar las asociaciones geoquímicas que tiene el vanadio en cada dominio ya establecido en el área de estudio. El método utilizado para mayor practicidad en este trabajo es el Cluster Analysis, mostrando sus dendrogramas para su mejor visualización y observación.

El Cluster Analysis es una técnica multivariable que nos permite identificar subgrupos de individuos u objetos de forma específica, en base a ciertos parámetros de similitud. El objetivo es representar estadísticamente la data en los menores grupos posibles. Es un método no supervisado, por lo que no se ingresa información previa, se deja que el software reconozca estas asociaciones. Para realizar el Cluster Analysis se utilizó el software Minitab.

Solo se mostrará los dendrogramas por cada dominio estableciendo las asociaciones geoquímicas del vanadio con otros elementos. El dendrograma es un diagrama de árbol que

muestra los grupos que se forman al crear conglomerados de variables en cada paso y su nivel de similitud. El nivel de similitud se mide en el eje vertical y las diferentes variables se especifican en el eje horizontal.

5.1.3.1 Asociaciones geoquímicas del vanadio en el dominio Sedimentarios sílico – clásticos del Cretácico Inferior

En el dendrograma (Fig. 34) nos muestra las asociaciones de los elementos con su similitud, para el vanadio tenemos una serie de elementos asociados tales como Ca, Sr, Mg, Y, Lu, P y U, de los cuales está más relacionado el P y el U, sin embargo, es necesario tener en cuenta que los elementos Lu y U no se analizaron en el proyecto Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4.

5.1.3.2 Asociaciones geoquímicas del vanadio en el dominio Sedimentarios carbonatados del Cretácico

En el dendrograma (Fig. 35) nos muestra las asociaciones de los elementos con su similitud, para el vanadio tenemos una serie de elementos asociados tales como Cd, Tl, Mo, U y Ni, de los cuales está más relacionado el Mo, U y Ni, sin embargo, es necesario saber que los elementos U y Tl no se analizaron en el proyecto Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4.

Figura 34

Dendrograma en el dominio Sedimentarios silico - clásticos del Cretácico Inferior

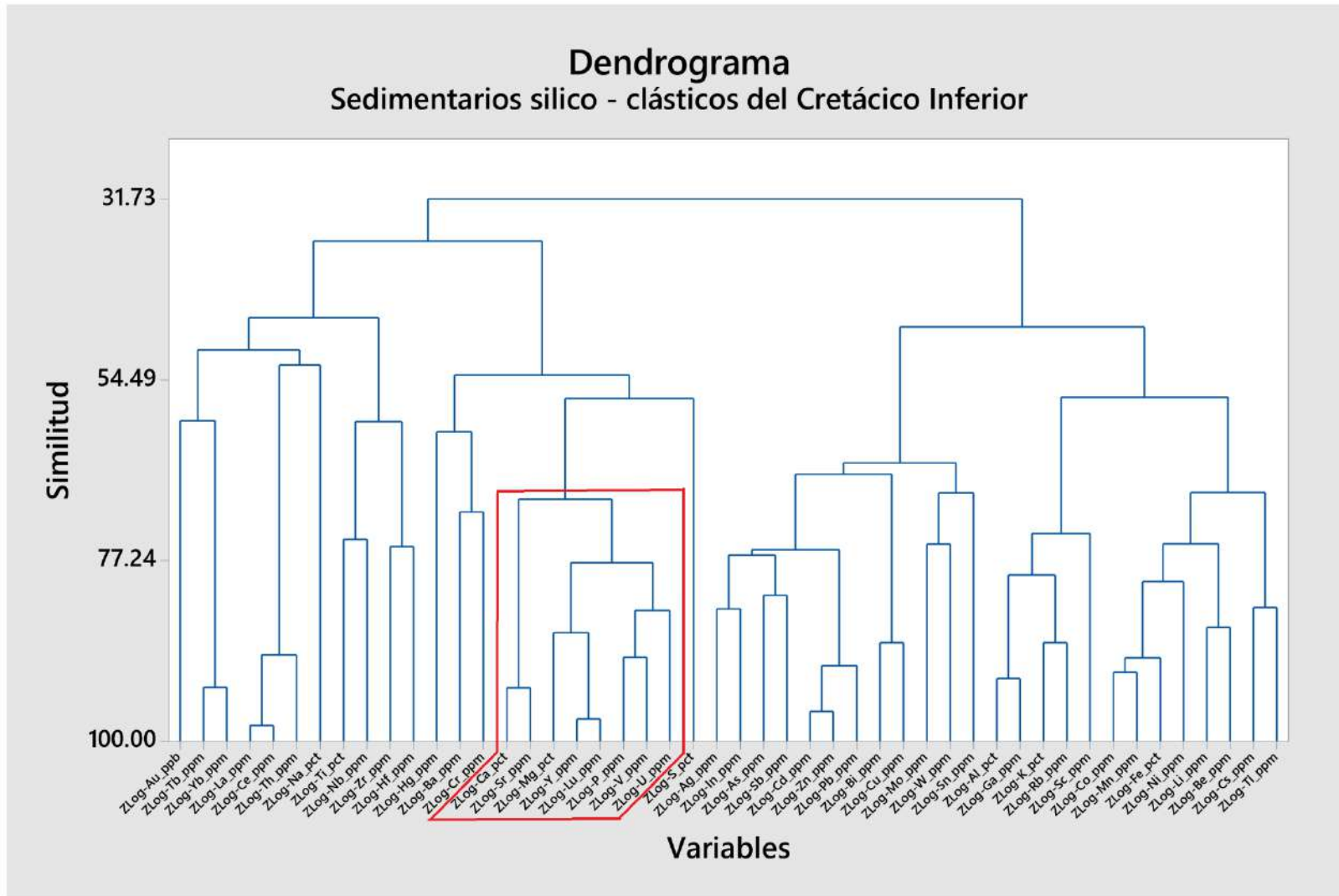
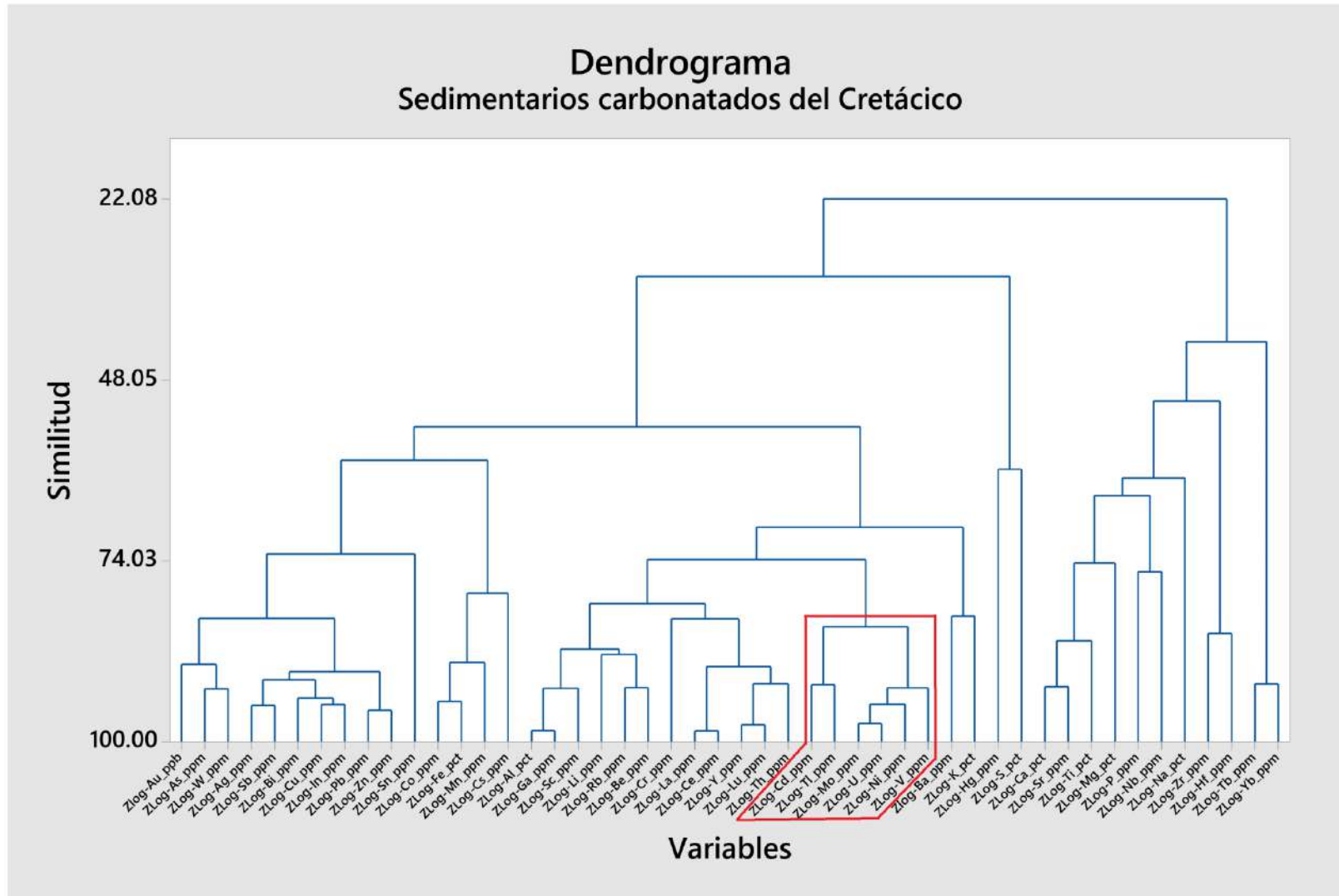


Figura 35

Dendrograma en el dominio Sedimentarios carbonatados del Cretácico



5.1.4 Determinación de los parámetros geoquímicos del vanadio

A partir de los parámetros geoquímicos del vanadio se describirá las distribuciones y anomalías geoquímicas de este elemento en base a la data de los sedimentos de quebrada, teniendo en cuenta los dominios litoestratigráficos establecidos en este trabajo.

5.1.4.1 Parámetros geoquímicos del vanadio en el dominio “Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior”

Para poder determinar la distribución y anomalías del vanadio en este dominio, se determinó los parámetros para establecer rangos de intensidad de anomalías. Para el cálculo del valor de fondo y los umbrales, primero se procedió a evaluar el Box – Plot (ver Fig. 29), luego se eliminaron los valores fuera del rango intercuartílico, ya que se interpreta como valores atípicos. Teniendo nuevamente una data sin los valores atípicos, se realizó la estadística correspondiente, considerándose como valor de fondo o background a la mediana, debido a que este valor es menos afectado por los valores atípicos. Y el umbral o threshold se calculó sumando la desviación estándar y el background (mediana).

Por lo tanto, los rangos quedaron como lo muestra la Tabla 33.

Tabla 33

Parámetros geoquímicos en el dominio Sedimentarios sílico - clásticos del Cretácico Inferior

	Rango textual	Rango cuantitativo
BG Inferior	Valor mínimo - Background	-2.27828315 - -0.06497335
BG Superior	Background - Background + 1 D.S.	-0.06497335 - 0.849807034
Threshold 1	Background + 1 D.S. - Background + 2 D.S.	0.849807034 - 1.764587419
Threshold 2	Background + 2 D.S. - Background + 3 D.S.	1.764587419 - 2.679367804
Threshold 3	Background + 3 D.S. - Valor máximo	2.679367804 - 2.978923343

5.1.4.2 Parámetros y anomalías geoquímicas del vanadio en el dominio “Sedimentarios carbonatados del Cretácico”

Para poder determinar la distribución y anomalías del vanadio en este dominio, se determinó los parámetros para establecer rangos de intensidad de anomalías. Para el cálculo del valor de fondo y los umbrales, primero se procedió a evaluar el Box – Plot (ver Fig. 32),

como no tiene valores atípicos simplemente se tomó como valor de fondo o background a la mediana, debido a que este valor es menos afectado por los valores atípicos. Y el umbral o threshold se calculó sumando la desviación estándar y el background (mediana).

Por lo tanto, los rangos quedaron como lo muestra la Tabla 34.

Tabla 34

Parámetros geoquímicos en el dominio Sedimentarios carbonatados del Cretácico

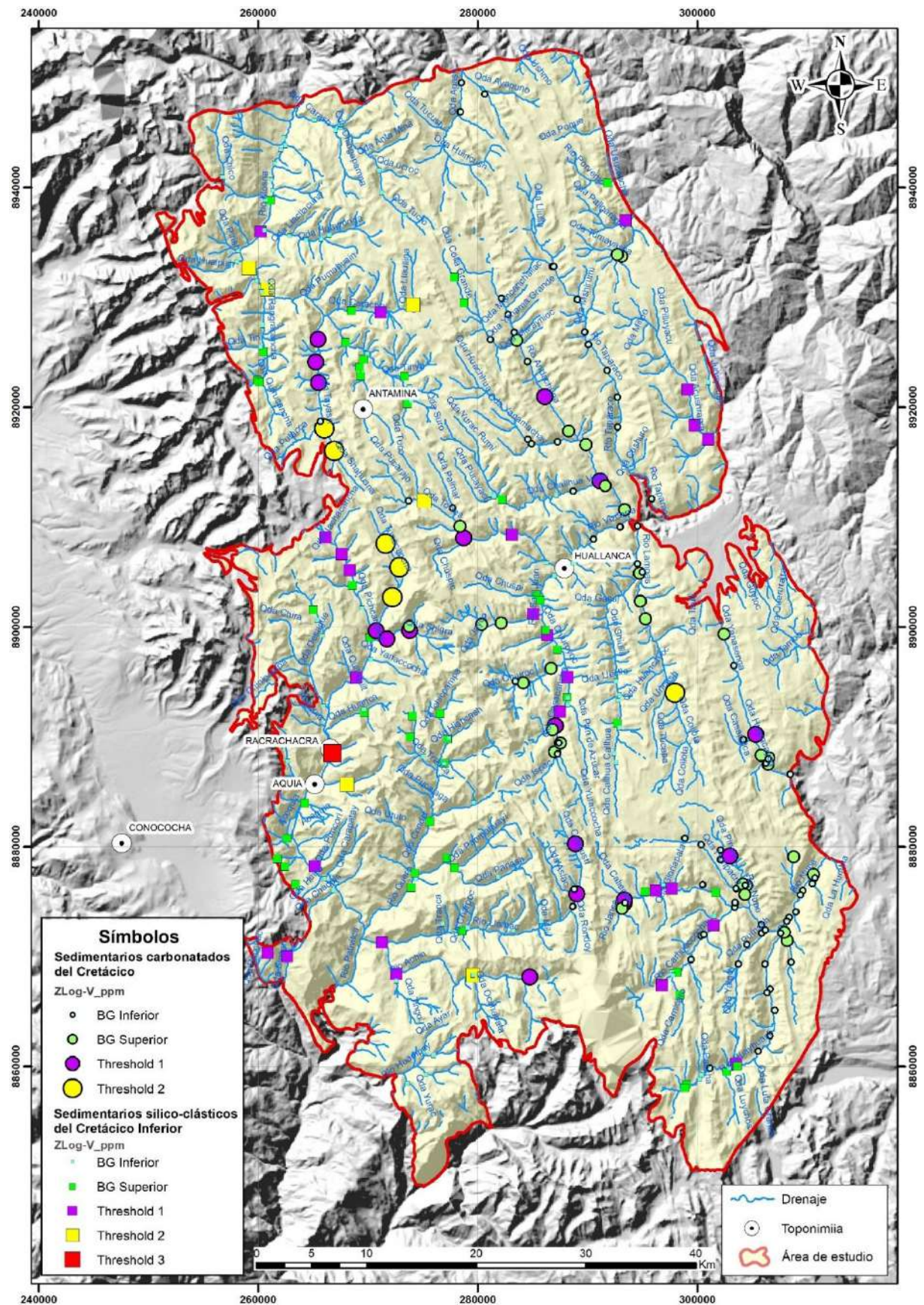
	Rango textual	Rango cuantitativo
BG Inferior	Valor mínimo - Background	-2.628552000 - -0.116086524
BG Superior	Background - Background + 1 D.S.	-0.116086524 - 0.879999476
Threshold 1	Background + 1 D.S. - Background + 2 D.S.	0.879999476 - 1.876085476
Threshold 2	Background + 2 D.S. - Valor máximo	1.876085476 - 2.408154000

5.1.5 Distribución geoquímica del vanadio

La distribución geoquímica del vanadio se basó en los rangos cuantitativos obtenidos de las Tablas 33 y 34 para cada dominio litoestratigráfico, creando un mapa de anomalías geoquímicas de vanadio en el área de estudio (ver Fig. 36).

Figura 36

Mapa de la distribución geoquímica del vanadio



5.2 ETAPA 2: Delimitación de las áreas de muestreo de rocas

5.2.1 Interpolación geoquímica del vanadio en la Formación Pariatambo para definir áreas de muestreo de rocas

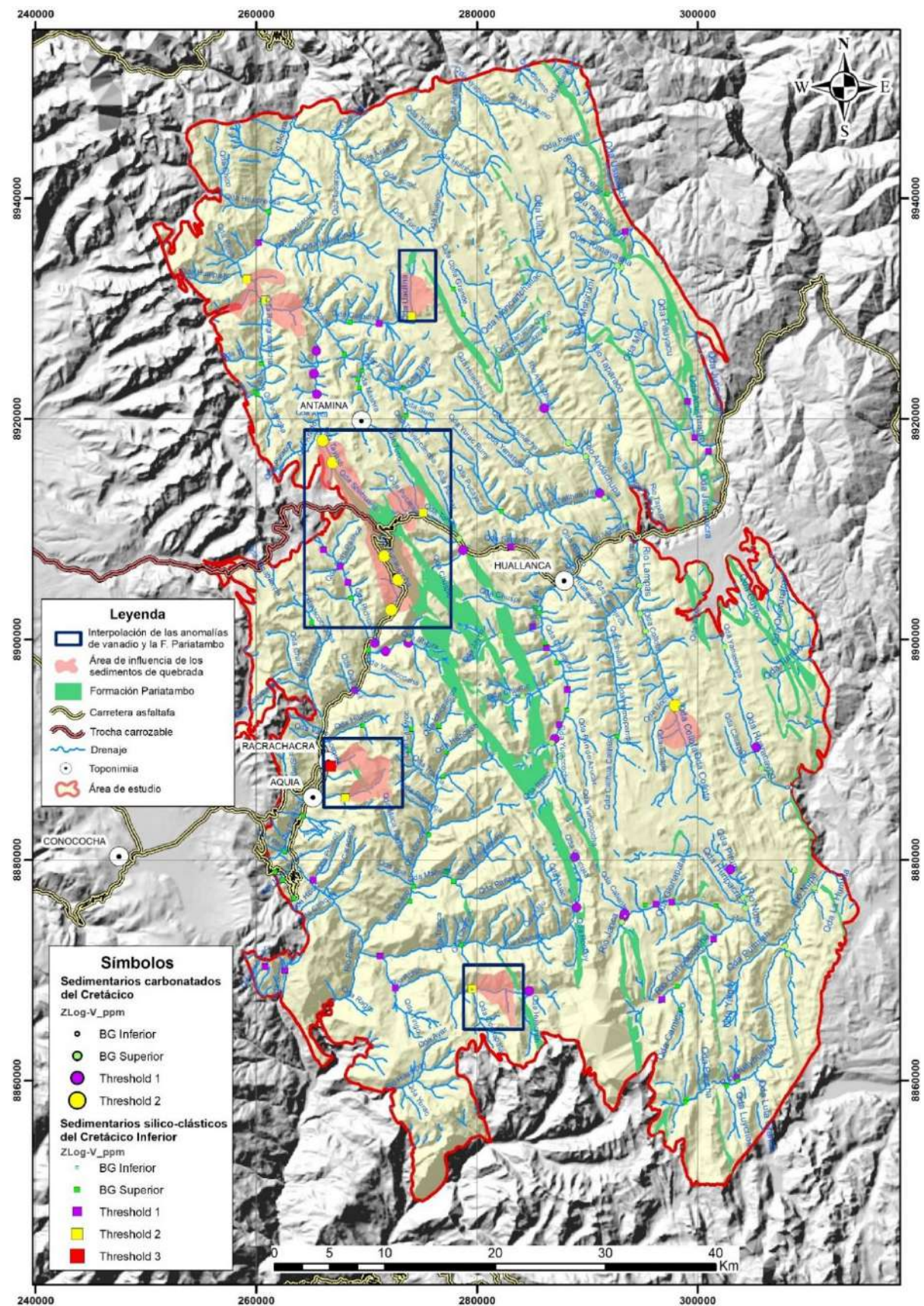
En base a la distribución geoquímica secundaria del vanadio, se delineó las áreas de influencia de las muestras de los sedimentos que tienen altas anomalías de vanadio, se tomó por conveniencia los sedimentos que están en los rangos del Threshold 2 y Threshold 3.

Las áreas de influencia de los sedimentos que tienen las anomalías más altas, se delimitó aguas arriba como si fuera una pequeña cuenca con un área aproximada de 10km^2 lo que correspondería en teoría al radio de influencia que tiene esta área en la muestra del sedimento.

Teniendo en cuenta las áreas anómalas anteriormente mencionadas, estas se interpolaron con la Formación Pariatambo, que por interpretación de la información bibliográfica en el capítulo II, esta formación sería la unidad litológica de aporte del vanadio. Por lo tanto, al interpolar la Formación Pariatambo y las áreas anómalas de vanadio obtenemos cuatro áreas donde existe al menos algo de aporte de la Formación Pariatambo en estas muestras de sedimentos de quebrada con anomalías de vanadio, tal y como se muestra en la Fig. 37.

Figura 37

Mapa de interpolación de la Formación Pariatambo y las áreas anómalas de vanadio por dispersión geoquímica secundaria



5.2.2 Interpretación satelital para delimitar áreas de muestreo de rocas

De las cuatro áreas resultantes de la interpolación de las áreas anómalas de vanadio y la Formación Pariatambo se analizó cada uno. Se tomó en cuenta qué tanta influencia tiene esta unidad en la muestra de sedimento, la comparación de las características litológicas que se puedan observar en las imágenes satelitales con las características de la Formación Pariatambo (extraída de la geología a escala al 100 mil y 50 mil que brinda el Ingemmet a través de su portal web Geocatmin) y la accesibilidad a dichas áreas.

La primera área a analizar se ubica al norte del área de estudio como se muestra en la Figura 37. Si bien el área de influencia de la muestra de sedimento tiene a la Formación Pariatambo muy cerca (ver Fig. 38), en el análisis de la imagen satelital no se encontró buenos afloramientos de roca que indicarán la presencia de la Formación Pariatambo (ver Fig. 39) y al no haber acceso con transporte público, esta primera área queda descartado para la recolección de alguna muestra de roca.

Figura 38

Mapa de ubicación de la primera área interpolada

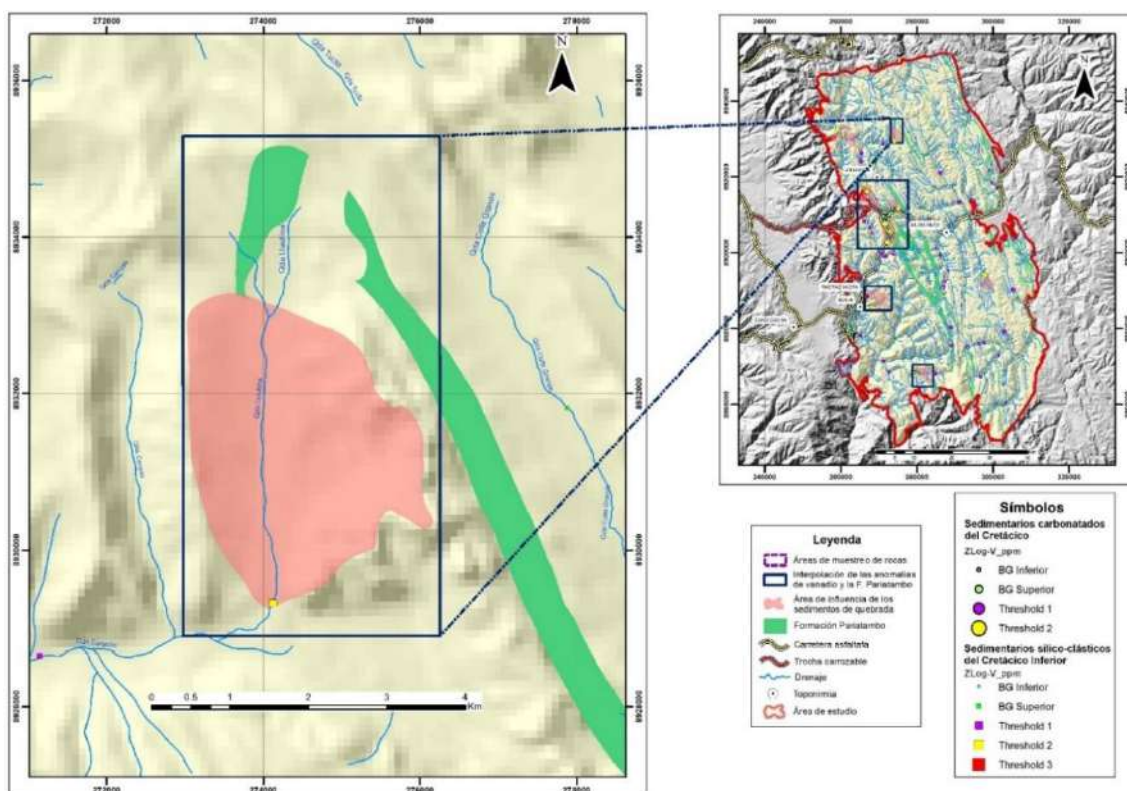
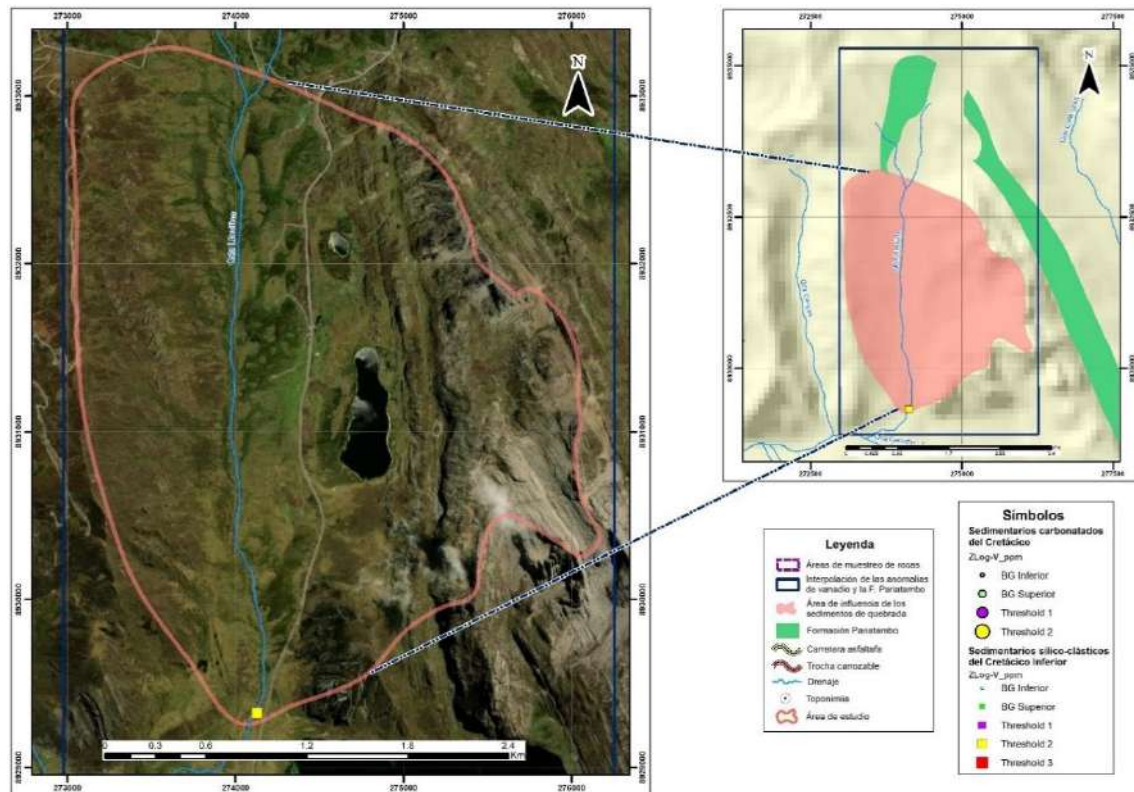


Figura 39

Mapa satelital de la primera área interpolada



La segunda área a analizar se ubica al sur del área de estudio como se muestra en la Figura 37. Se bien el área de influencia de la muestra de sedimento tiene a la Formación Pariatambo muy cerca (ver Fig. 40), esta si se puede observar en la imagen satelital rocas de color negro grisáceo, indicativo de una alta concentración de materia orgánica característico de esta formación. Sin embargo, estos afloramientos de rocas se encuentran fuera del área de influencia de la muestra de sedimento, además, no hay ningún acceso a dicha área, y el pueblo más cercano se encuentra a kilómetros de ese lugar (ver Fig. 41). Por lo tanto, considerando los recursos que se necesitan y que se tiene para llegar a dicho lugar, esta segunda área queda descartado para la recolección de alguna muestra de roca.

Figura 40

Mapa de ubicación de la segunda área interpolada

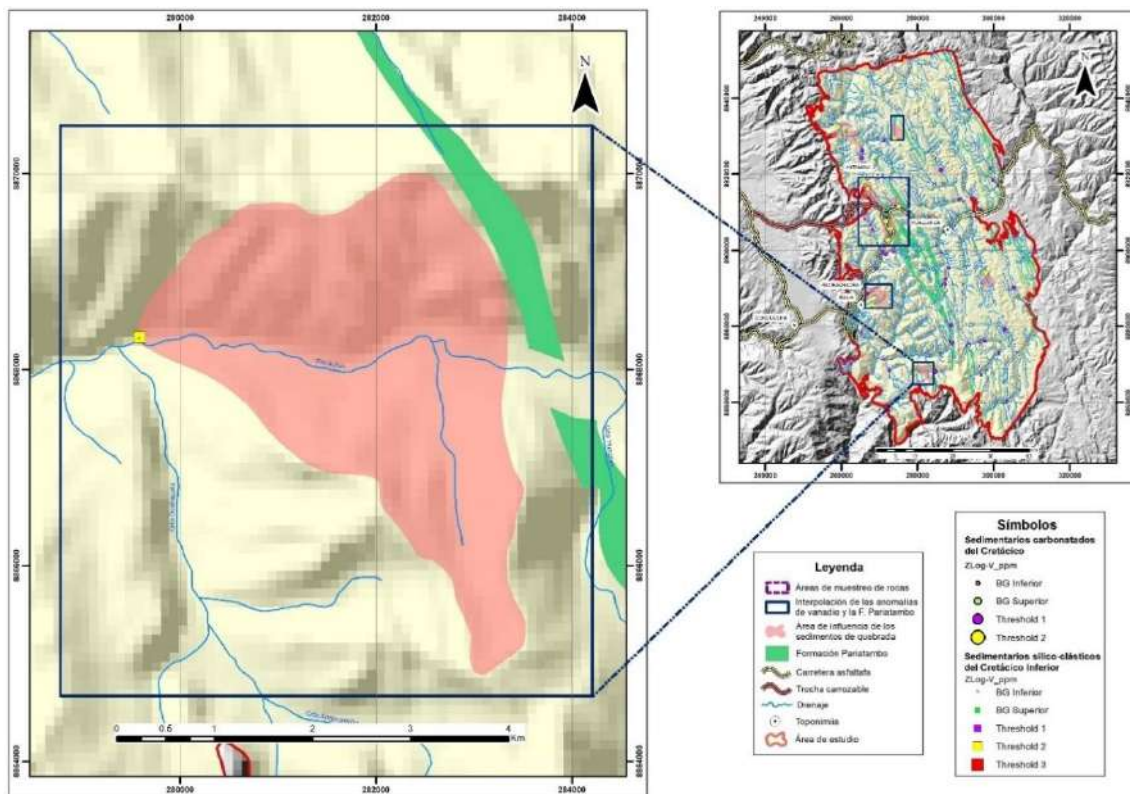
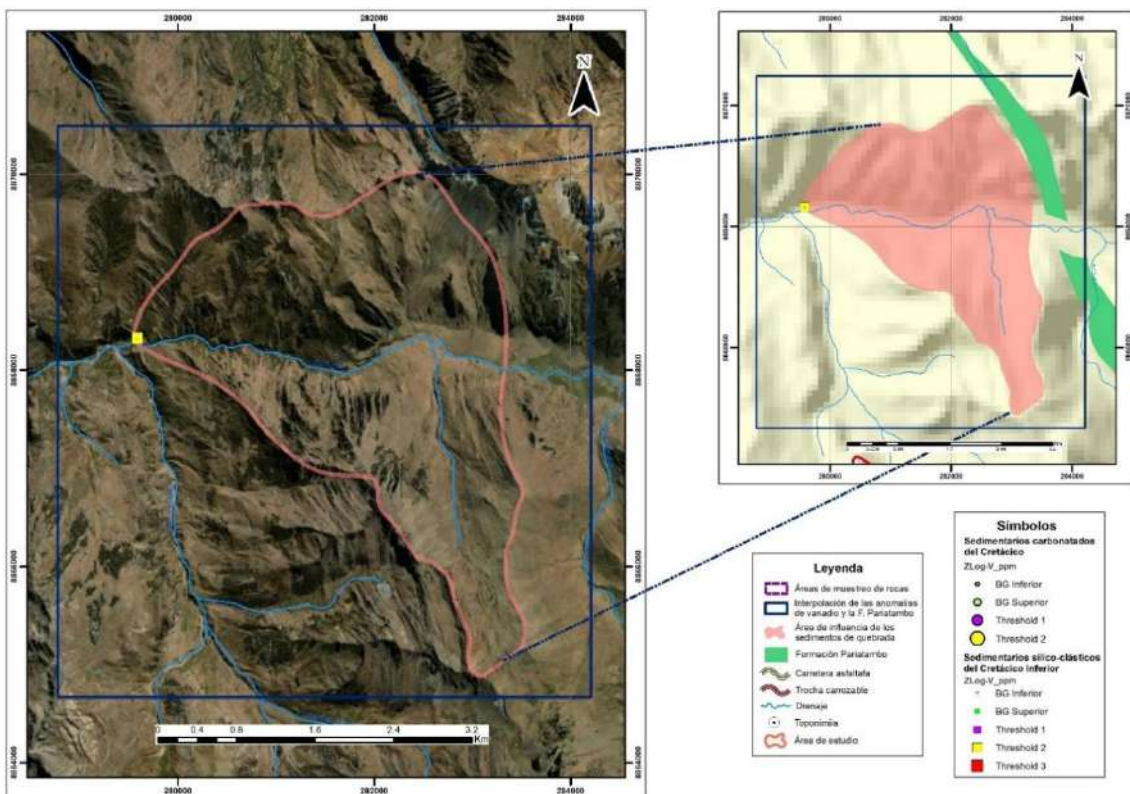


Figura 41

Mapa satelital de la segunda área interpolada



La tercera área a analizar es la más grande. En esta área hay más de una muestra de sedimento con anomalías de vanadio a comparación de las dos primeras áreas que solo tenían una muestra con anomalía de vanadio. Además, la Formación Pariatambo es la principal fuente aporte a estas muestras de sedimentos y existe accesibilidad tanto en carretera asfaltada como trocha carrozable como se puede observar en la Fig. 42. Analizando las imágenes satelitales se puede observar características distintivas de la Formación Pariatambo (rocas de color negro grisáceo) (ver Fig. 43). Por lo tanto, se escogió el lugar idóneo para el muestreo de rocas de esta formación, un lugar donde exista un buen afloramiento de esta unidad y que tenga una buena accesibilidad. A esta primera área de muestreo de rocas la llamaremos “Área 1” y se puede observar en la Figura 44.

Figura 42

Mapa de ubicación de la tercera área interpolada

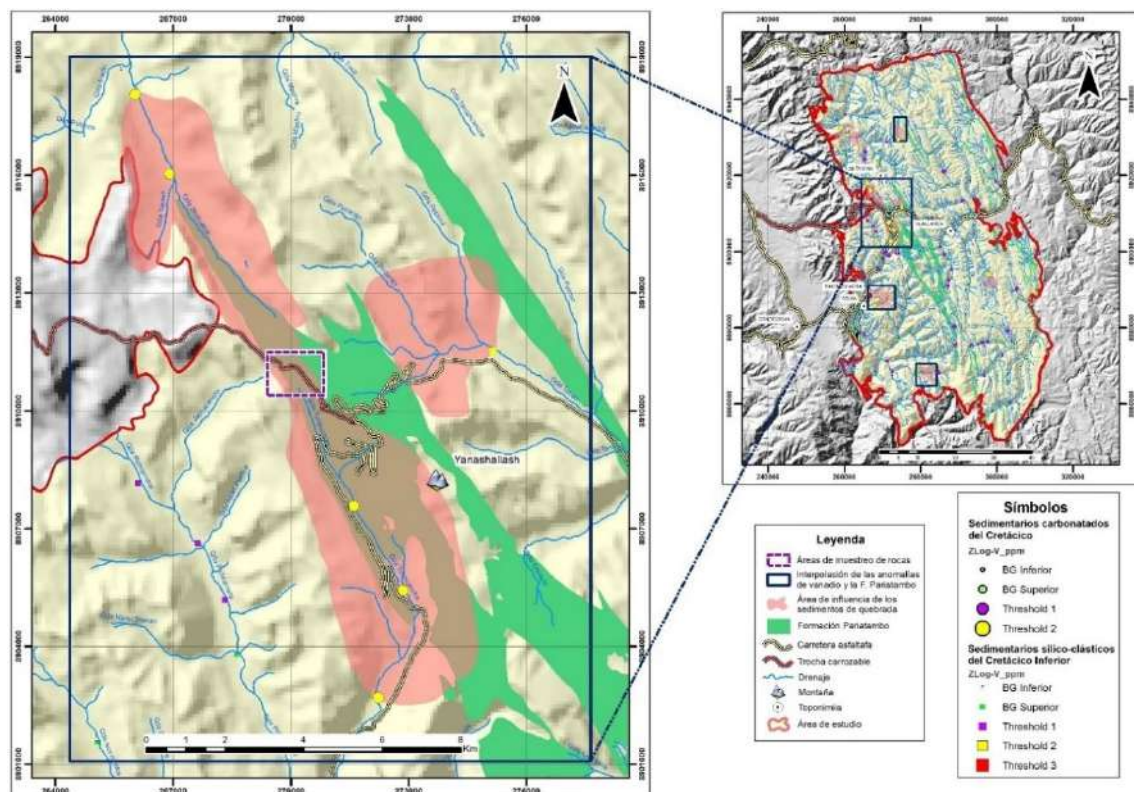


Figura 43

Mapa satelital de la tercera área interpolada

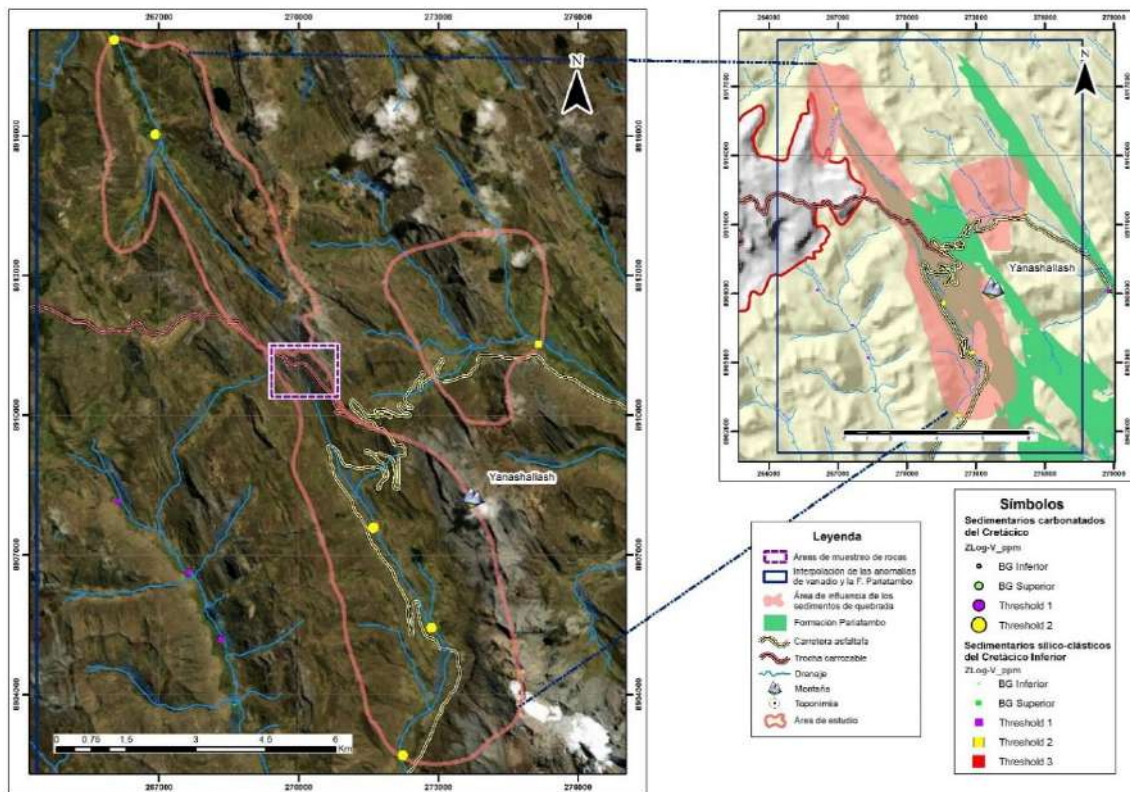


Figura 44

Mapa de ubicación del "Área 1" para el muestreo de rocas

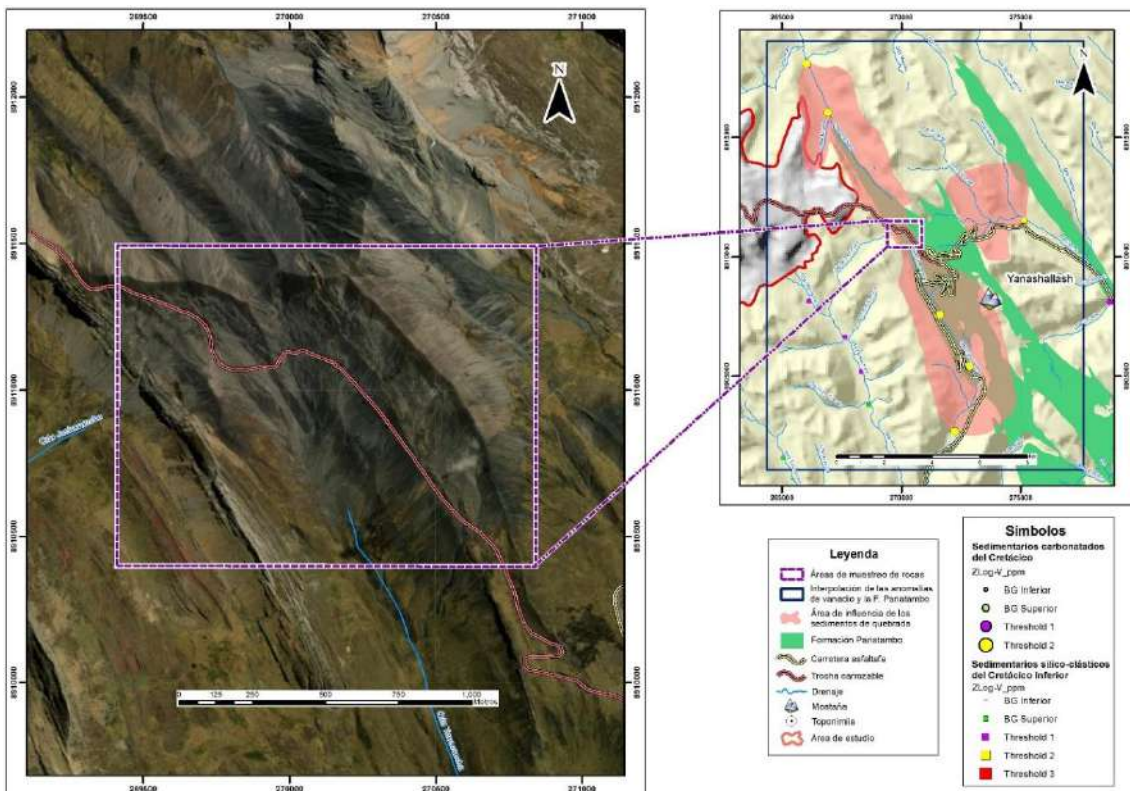


Figura 45
Mapa de ubicación de la cuarta área interpolada



Figura 46

Mapa satelital de la cuarta área interpolada

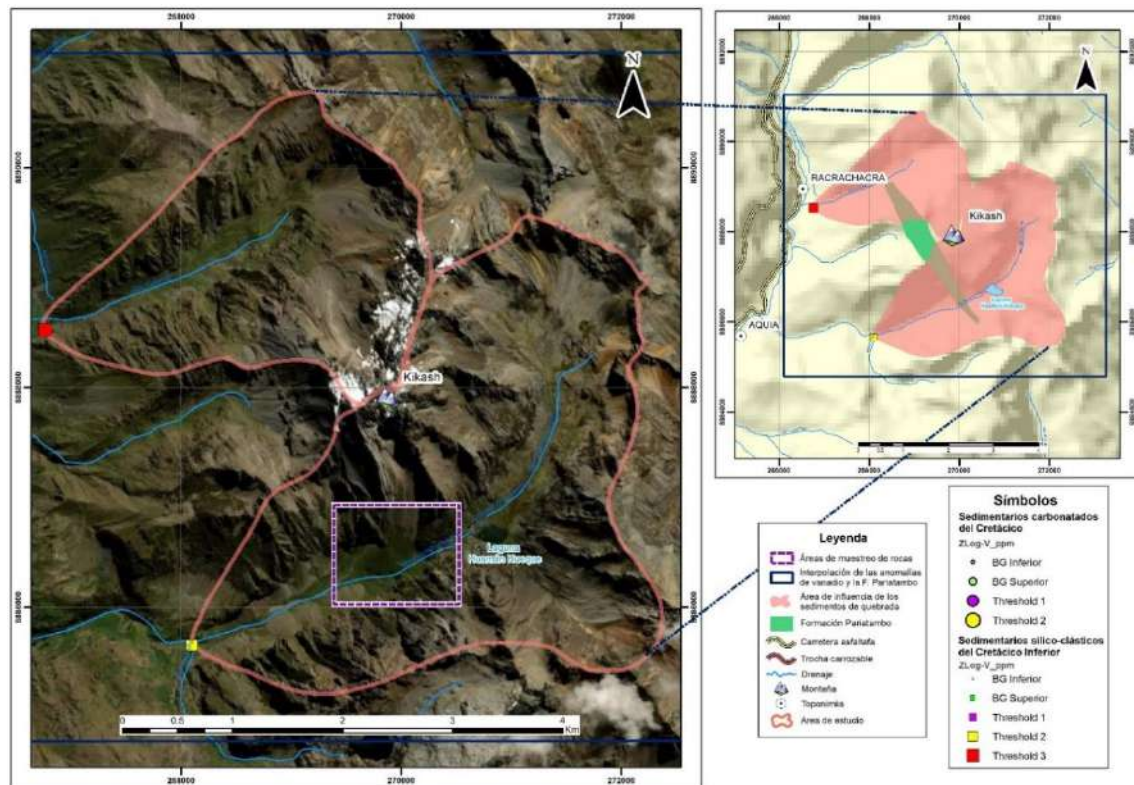
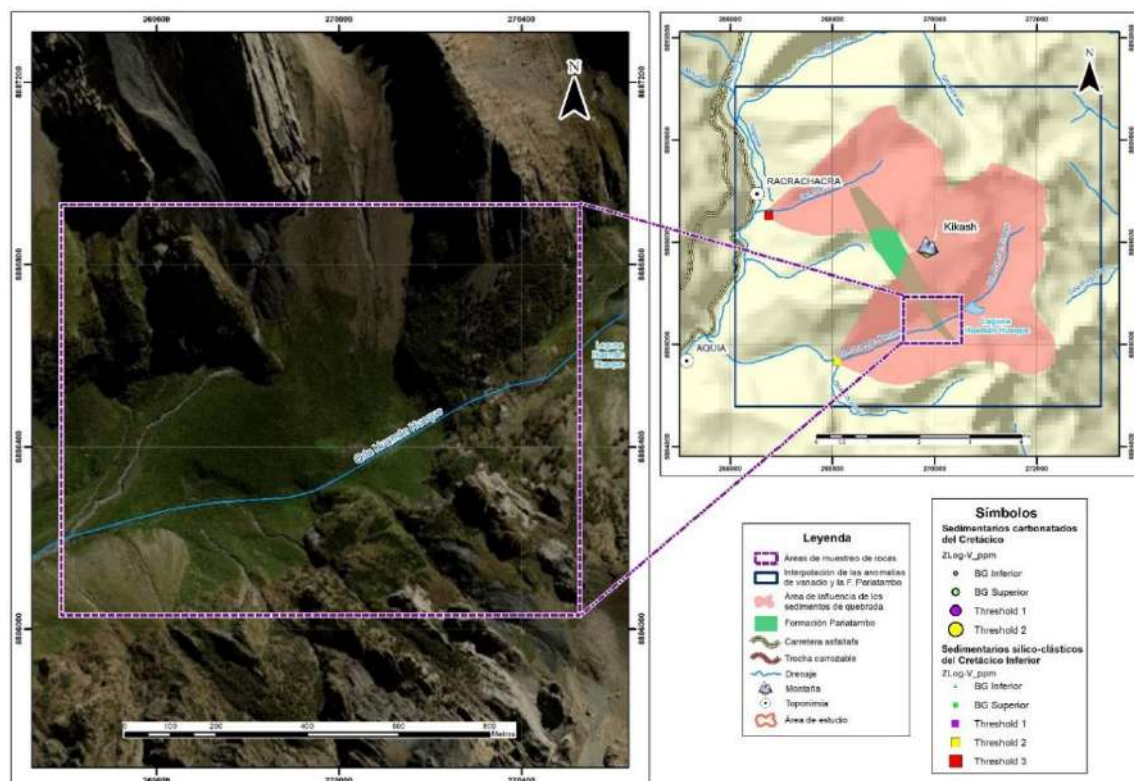


Figura 47

Mapa de ubicación del "Área 2" para el muestreo de rocas



5.3 ETAPA 3: Geoquímica de rocas

5.3.1 Área 1: Características geológicas y geoquímicas

5.3.1.1 Ubicación y descripción geológica de las muestras de rocas

En el Área 1 se obtuvieron 5 muestras de rocas (ver Fig. 48) que fueron tomadas a conveniencia, es decir, se tenía que muestrear en la unidad litoestratigráfica de interés, en este caso la Formación Pariatambo, tal y como se ve en la Fig. 49 donde se muestra un mapa geológico del área de muestreo de rocas. Se tomó 1 muestra de roca en la Formación Chúlec, la cual es la unidad anterior inmediato a la Formación Pariatambo, se tomó esta muestra para corroborar que la única unidad litoestratigráfica de aporte de las anomalías de vanadio es la Formación Pariatambo y el resto de muestras se tomó por facies (lutitas y calizas por separado) tal y como se puede apreciar en la sección geológica interpretada (ver Fig. 50).

Figura 48

Mapa de ubicación de las muestras de rocas en el Área 1

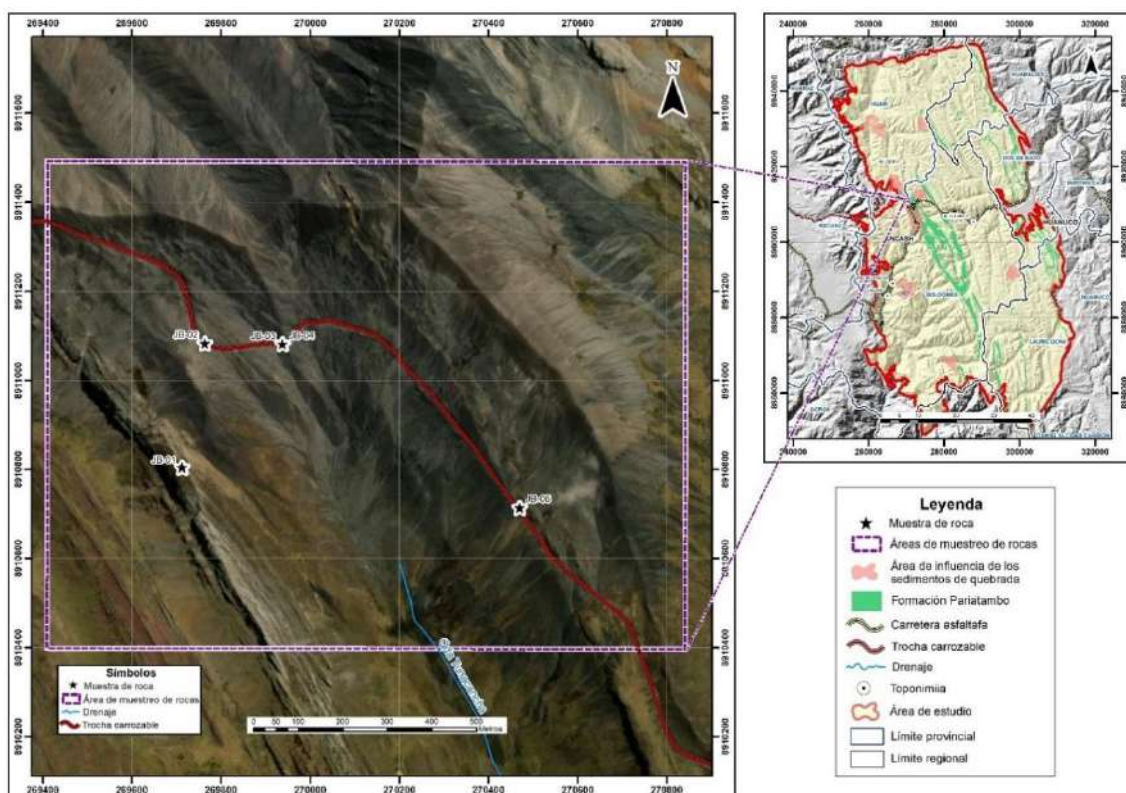
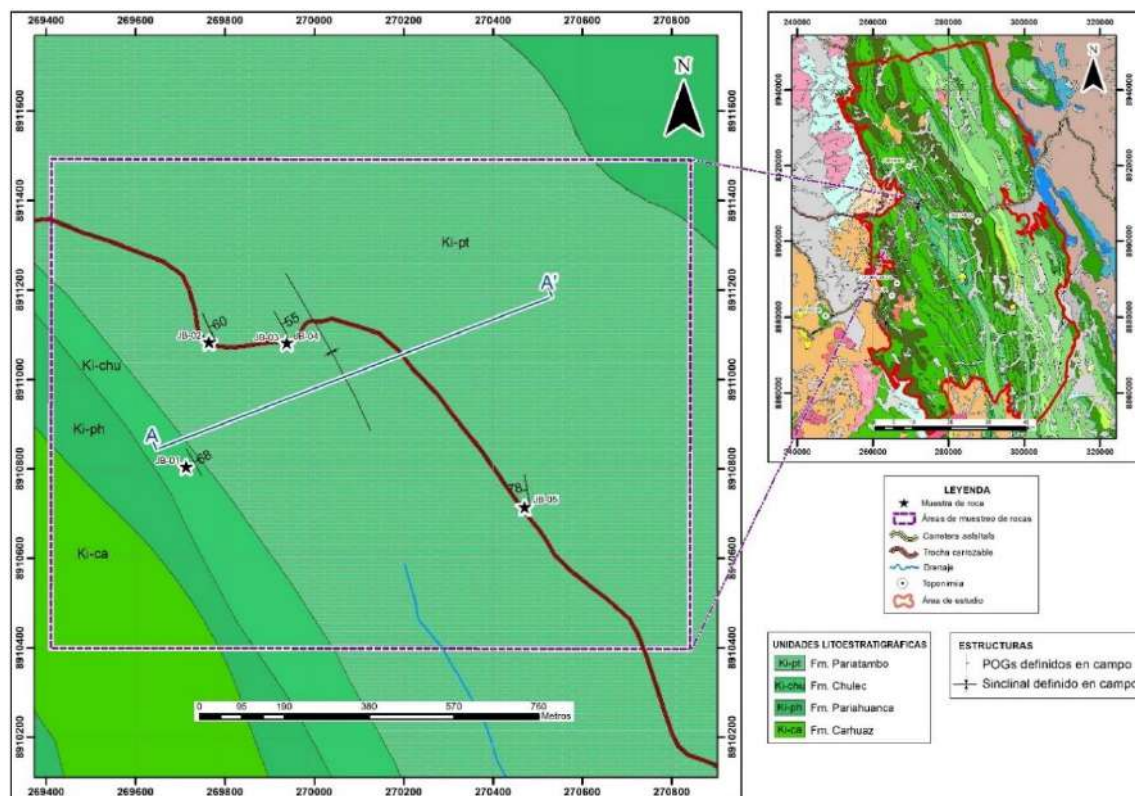


Figura 49

Mapa geológico y ubicación de las muestras de rocas en el Área 1

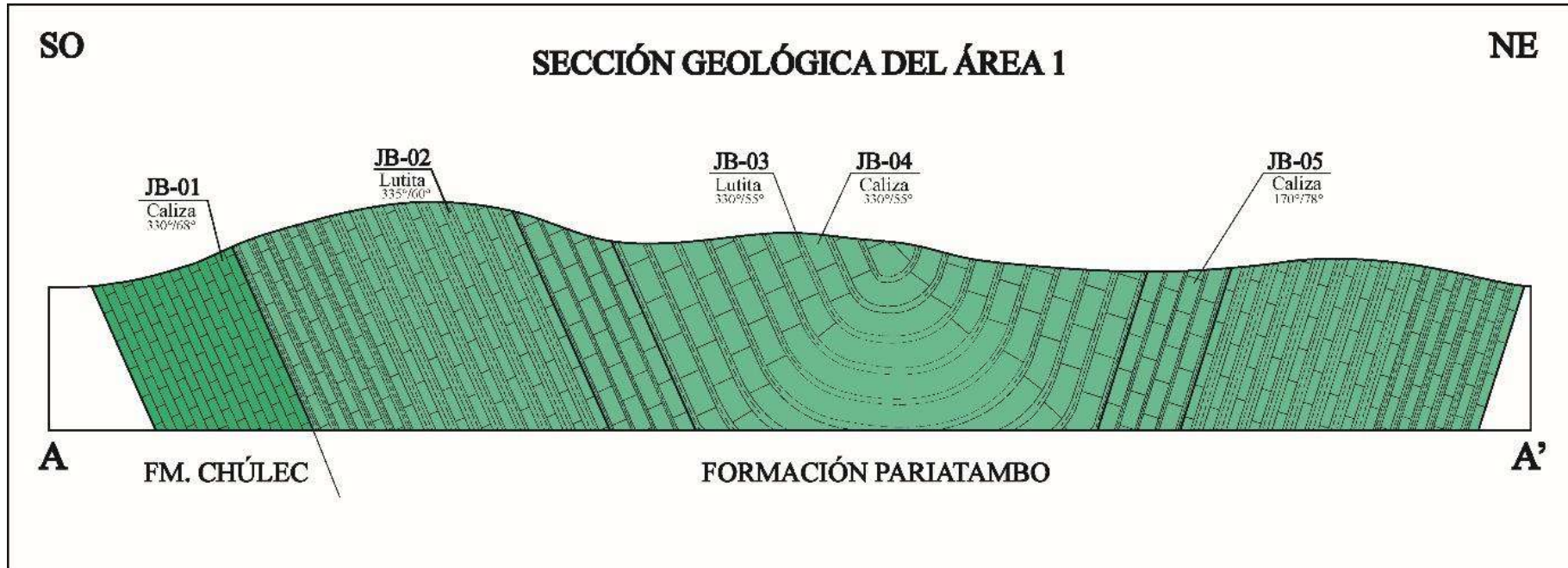


Nota. Tomado del Ingemmet (2024).

La sección geológica AA' del Área 1 se observa en vista planta en la Fig. 49, las muestras tomadas se proyectan a esta línea imaginaria para poder entender donde se muestreó. En la Fig. 50 se observa la sección geológica y la ubicación estratigráfica de las muestras de rocas. Solo la muestra JB-01 es de la Formación Chulec y las demás muestras JB-02, JB-03, JB-04 y JB-05 pertenecen a la Formación Pariatambo. Las muestras se tomaron de forma espaciada y tomando en cuenta los cambios de facies dentro del sinclinal para no repetir las muestras. Además, se anotaron las coordenadas y descripciones de campo de cada muestra (ver Tabla 35) para su posterior interpretación junto con los resultados de Análisis Químico y Análisis Mineralógico. En la etapa de gabinete se tomó las fotografías de cada muestra recolectada en campo (ver Anexo 13).

Figura 50

Sección geológica del Área 1 y ubicación de las muestras de rocas



Nota. La sección AA' se observa en vista planta en la Fig. 49

Tabla 35*Coordenadas y descripciones de campo de las muestras de rocas en el Área 1*

Código	Litología	Este	Norte	Zona	Descripción
JB-01	Caliza	269714	8910804	18	Caliza micrítica de color gris oscura, con efervescencia moderada a alta. Presencia de fósiles (bivalvos y oolito de pirita). Venilla y diseminaciones de pirita (milimétrica), venillas de calcita cristalizada (1mm) y calcita cristalizada granular por zonas o agrupadas, algunas vetillas de calcita con pátina rojiza de 4mm. Pátinas de óxido y con olor a hidrocarburo.
JB-02	Lutita	269765	8911083	18	Lutitas bituminosas de color negro grisáceo, fisibles, efervescencia moderada. Vetillas de calcita paralelos al clivaje. Puntos brillantes metálico ¿Py?, tacto suave, brillo sedoso, mancha la mano leve a moderadamente. Fisibilidad de 1cm aproximadamente.
JB-03	Lutita	269939	8911081	18	Lutitas bituminosas de color negra grisácea, fisibilidad delgada de 0.2 a 0.3cm. Efervescencia moderada. Algunas vetillas de calcita (1mm aprox.)
JB-04	Caliza	269939	8911081	18	Caliza micrítica de color negra grisáceo, presencia de Py diseminada y orientada, vetilla de 0.5mm y 2mm de calcita cristalizada, con olor a hidrocarburo.
JB-05	Caliza	270471	8910713	18	¿Caliza? alterada. Muy alterada con óxido, efervese levemente, Py diseminada (parte fresca), algunos puntos rojos (¿Hm?), efervese en las partes fresca.

5.3.1.2 Resultados del Análisis Químico

5.3.1.2.1 Distribución geoquímica del vanadio

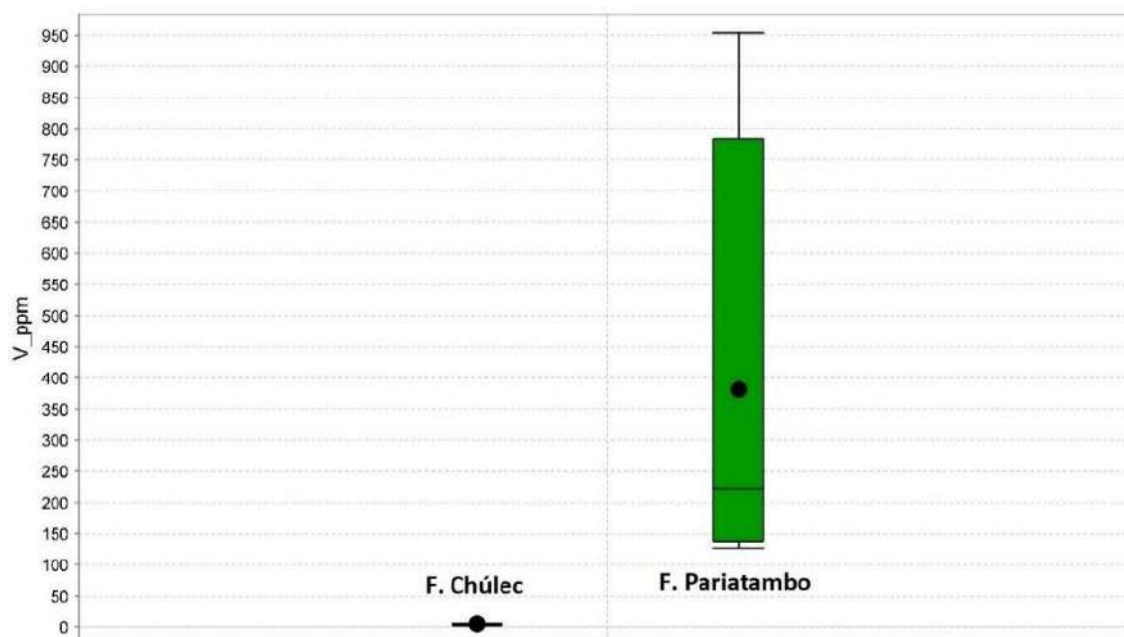
La distribución del vanadio solo se hará de manera general sin un tratamiento estadístico propiamente dicho, de manera más interpretativa con los resultados del análisis químico y de que unidades se muestreo debido a la poca cantidad de muestras de roca que se obtuvo. La Tabla 36 muestra los resultados del análisis químico del vanadio de las cinco muestras de rocas recolectadas en el Área 1. Los resultados químicos de los elementos restantes se observan en el Anexo 15.

Tabla 36*Concentración de vanadio en las muestras de rocas del Área 1*

Código	Litología	V_ppm
JB-01	Caliza	<10
JB-02	Lutita	169
JB-03	Lutita	954
JB-04	Caliza	275
JB-05	Caliza	127

Para observar y discriminar mejor la concentración de vanadio en las cinco muestras de roca se separó por dominios, es decir, en primer lugar, se separó las muestras por formación geológica y luego por facies de la unidad de interés.

Primero se separó las muestras por formación geológica, en este caso tenemos una muestra de la Formación Chúlec y cuatro muestras de la Formación Pariatambo. La muestra JB-01 pertenece a la Formación Chúlec y su concentración de vanadio es por debajo del límite de detección por lo que todos sus parámetros geoquímicos estarían por debajo de este límite (<10 ppm). Las otras cuatro muestras JB-02, JB-03, JB-04 y JB-05 pertenecen a la Formación Pariatambo las cuales tienen un valor mínimo de 169 ppm hasta un valor máximo de 954 ppm. Por lo tanto, se puede deducir que la Formación Pariatambo es la unidad litoestratigráfica que aporta la mayor cantidad de vanadio en las anomalías que se presentó en los sedimentos de quebradas de este elemento. Para una mejor visualización se tiene la Fig. 51 que muestra un Box Plot de la distribución de vanadio por formación geológica y la Tabla 37 con sus parámetros geoquímicos correspondientes.

Figura 51*Distribución geoquímica del vanadio por formación geológica – Área 1***Tabla 37***Parámetros geoquímicos del vanadio por formación geológica - Área 1*

Formación Chúllec		Formación Pariatambo	
Parámetros	V_ppm	Parámetros	V_ppm
Cantidad	1	Cantidad	4
Mínimo	<10	Mínimo	127
Máximo	<10	Máximo	954
Media	<10	Media	381.25
Mediana	<10	Mediana	222
Rango	<10	Rango	827

En segundo lugar, una vez comprobado que la unidad litoestratigráfica de aporte del vanadio en la Formación Pariatambo, se separó las muestras por facies de dicha formación, calizas y lutitas. En cada facies hay dos muestras, las calizas JB-04 y JB-05 con valores de 275 y 127 ppm respectivamente, y las lutitas JB-02 y JB-03 con valores de 169 y 954 ppm respectivamente. Por lo tanto, se puede deducir por el momento que las lutitas son las que contienen mayor concentración de vanadio a comparación de las calizas. Para una mayor visualización se tiene la Fig. 52 que muestra un Box Plot de la distribución de vanadio por facies y la Tabla 38 con sus parámetros geoquímicos correspondientes.

Figura 52

Distribución geoquímica del vanadio por facies en la Fm. Pariatambo

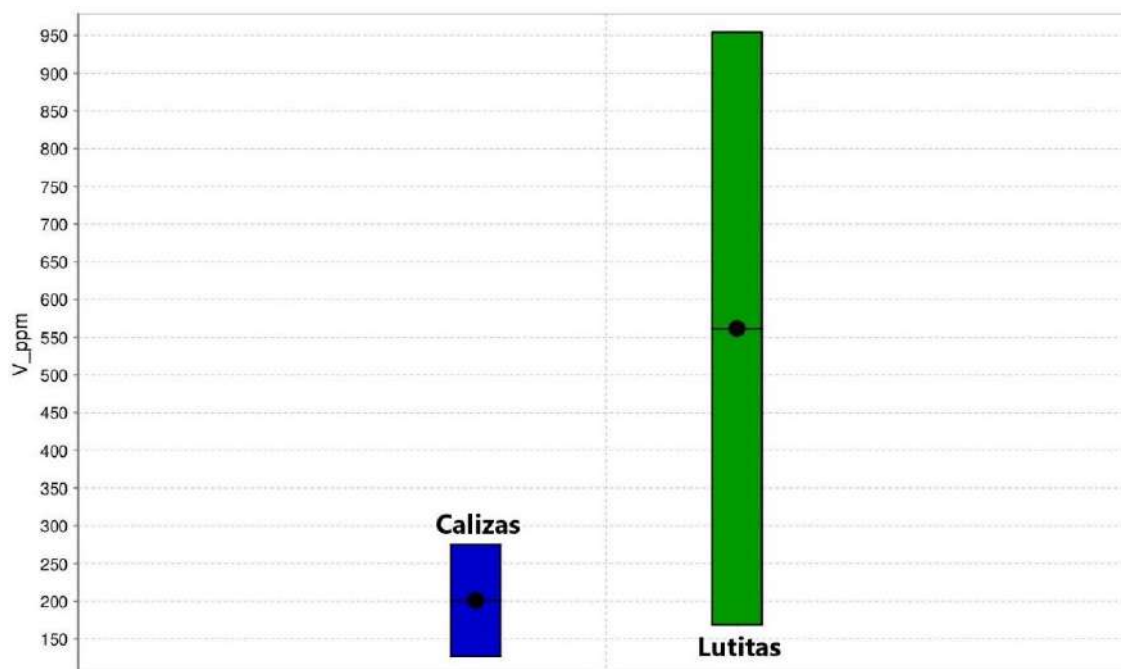


Tabla 38

Parámetros geoquímicos del vanadio por facies en la Fm. Pariatambo

Calizas		Lutitas	
Parámetros	V_ppm	Parámetros	V_ppm
Cantidad	2	Cantidad	2
Mínimo	127	Mínimo	169
Máximo	275	Máximo	954
Media	201	Media	561.5
Mediana	201	Mediana	561.5
Rango	148	Rango	785

5.3.1.2.2 Asociaciones con otros elementos

Con el fin de identificar las asociaciones geoquímicas con el vanadio, solo se realizó la correlación bivariada con los índices de correlación de Pearson. Debido a que solo se tomó en cuenta las cuatro muestras que pertenecen a la Formación Pariatambo, tenemos que tener en cuenta que esta correlación solo es referencial debido a que no se aplica un tratamiento estadístico por la poca cantidad de muestras (ver Tabla 39).

Los elementos que tienen moderada correlación directa con el vanadio son el Cd y P y

de manera inversa es Mg y Mn, el elemento que tiene buena correlación es el Ni y los elementos que tienen muy buena correlación son el Mo y Sb.

Tabla 39

Índices de Pearson en la Fm. Pariatambo del Área 1

	V_ppm
Ag_ppm	0.160
Al_pct	-0.090
As_ppm	0.940
Ba_ppm	-0.340
Ca_pct	-0.040
Cd_ppm	0.720
Co_ppm	-0.370
Cr_ppm	0.016
Cu_ppm	0.320
Fe_pct	-0.460
K_pct	0.290
La_ppm	-0.320
Li_ppm	-0.040
Mg_pct	-0.560
Mn_ppm	-0.510
Mo_ppm	1.000
Na_pct	-0.460
Ni_ppm	0.840
P_ppm	0.700
Pb_ppm	-0.370
Sb_ppm	0.990
Sc_ppm	-0.340
Si_pct	0.320
Rb_ppm	-0.050
Sr_ppm	-0.050
Ti_pct	-0.360
Y_ppm	-0.110
Zn_ppm	0.200
Zr_ppm	0.460
Be_ppm	0.053
Ce_ppm	-0.260
Cs_ppm	0.160
Dy_ppm	-0.250
Er_ppm	-0.190
Eu_ppm	-0.430

±0.50-0.75	Moderada correlación
±0.75-0.90	Buena correlación
±0.90-1.00	Muy buena correlación

Ga_ppm	-0.040
Gd_ppm	-0.320
Hf_ppm	0.380
Ho_ppm	-0.210
Lu_ppm	0.016
Nb_ppm	-0.420
Nd_ppm	-0.260
Pr_ppm	-0.230
Sm_ppm	-0.330
Ta_ppm	-0.280
Tb_ppm	-0.260
Th_ppm	0.038
Tm_ppm	-0.150
U_ppm	0.990
Yb_ppm	-0.080

5.3.1.3 Resultados del Análisis mineralógico

Los resultados del Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X se observan en el Anexo 16, donde se solicitó dos tipos de análisis, el primero un Análisis Mineralógico por DRx y segundo un Análisis de Arcillas por DRx. La segunda solicitud se pidió por el motivo de qué minerales arcillosos son las que posiblemente alberguen al vanadio en su estructura (ver las Bases Teóricas del Capítulo II).

Los minerales identificados por difraccion de rayos X han sido clasificados en tres grupos: 1. Minerales arcillosos asociados al vanadio, 2. Otros minerales asociados al vanadio y 3. Minerales ganga y/o no asociados al vanadio (ver Tabla 40). Esta clasificacion es propia de esta investigacion según la interpretacion de las bases teoricas del capitulo II. Además, recalcar que solo se tomó los resultados de las muestras pertenecientes a la Formación Pariatambo, es decir, las muestras JB-02, JB-03, JB-04 y JB-05.

Tabla 40*Clasificación mineralógica según su importancia con el vanadio – Área 1*

CATEGORÍA	CLASE MINERAL	MINERALES
Minerales arcillosos asociados al vanadio	Silicatos	Clinocloro, Illita, Moscovita
Otros minerales asociados al vanadio	Óxidos	Anatasa
	Sulfuros	Pirita
Minerales ganga y/o no asociados al vanadio	Carbonatos	Ankerita, Calcita, Dolomita
	Silicatos	Albita, Cuarzo, Ortoclasa
	Sulfuros	Galena

Dentro del grupo de los minerales arcillosos asociados al vanadio se encuentran el clinocloro, illita y moscovita. De las cuales en todas las muestras de la Fm. Pariatambo contienen illitas y moscovitas, el clinocloro solo está presente en la muestra JB-02. Son minerales de arcillas que por información bibliográfica recopilada en las Bases Teóricas del Capítulo II, albergarían al vanadio en su estructura cristalina reemplazando al aluminio.

En el grupo de otros minerales asociados al vanadio, se tiene a la anatasa, un mineral típico de los depósitos de titano-magnetita vanadífera, donde el vanadio está asociado al titanio. La pirita también es un mineral típico de los depósitos de vanadio alojados en lutitas, justamente coincide con la litología donde se extrajo la muestra.

Y el último grupo de minerales ganga y/o no asociados al vanadio, tenemos carbonatos, silicatos y sulfuros. Estos minerales se consideraron dentro de este grupo al no tener relación con el vanadio según la información recopilada dentro de esa investigación. Sin embargo, es posible asociarlo en un futuro con nuevas investigaciones.

5.3.2 Área 2: Características geológicas y geoquímicas

5.3.2.1 Ubicación y descripción geológica de las muestras de rocas

En el Área 2 se obtuvieron 7 muestras de rocas (ver Fig. 53) que fueron tomadas a conveniencia, es decir, se tenía que muestrear en la unidad litoestratigráfica de interés, en este caso la Formación Pariatambo, tal y como se ve en la Fig. 54 donde se muestra un mapa geológico del área de muestreo de rocas. Se tomó 3 muestras de rocas en la Formación Pariahuanca la cual es la unidad anterior inmediato a la Formación Pariatambo en esta área, se tomaron estas muestras para corroborar que la única unidad litoestratigráfica de aporte de las anomalías de vanadio es la Formación Pariatambo y el resto de muestras se tomó por facies (lutitas y calizas por separado) tal y como se puede apreciar en la sección geológica interpretada del área de muestreo (ver Fig. 55).

Figura 53

Mapa de ubicación de las muestras de rocas en el Área 2

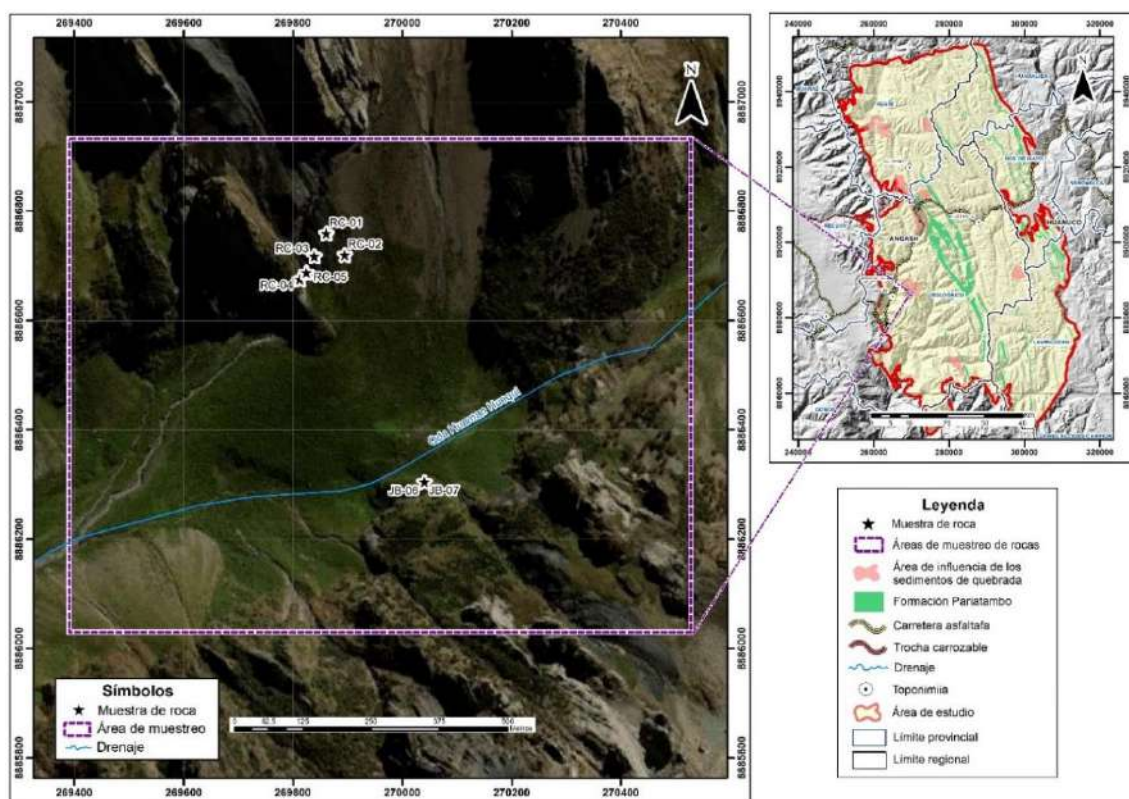
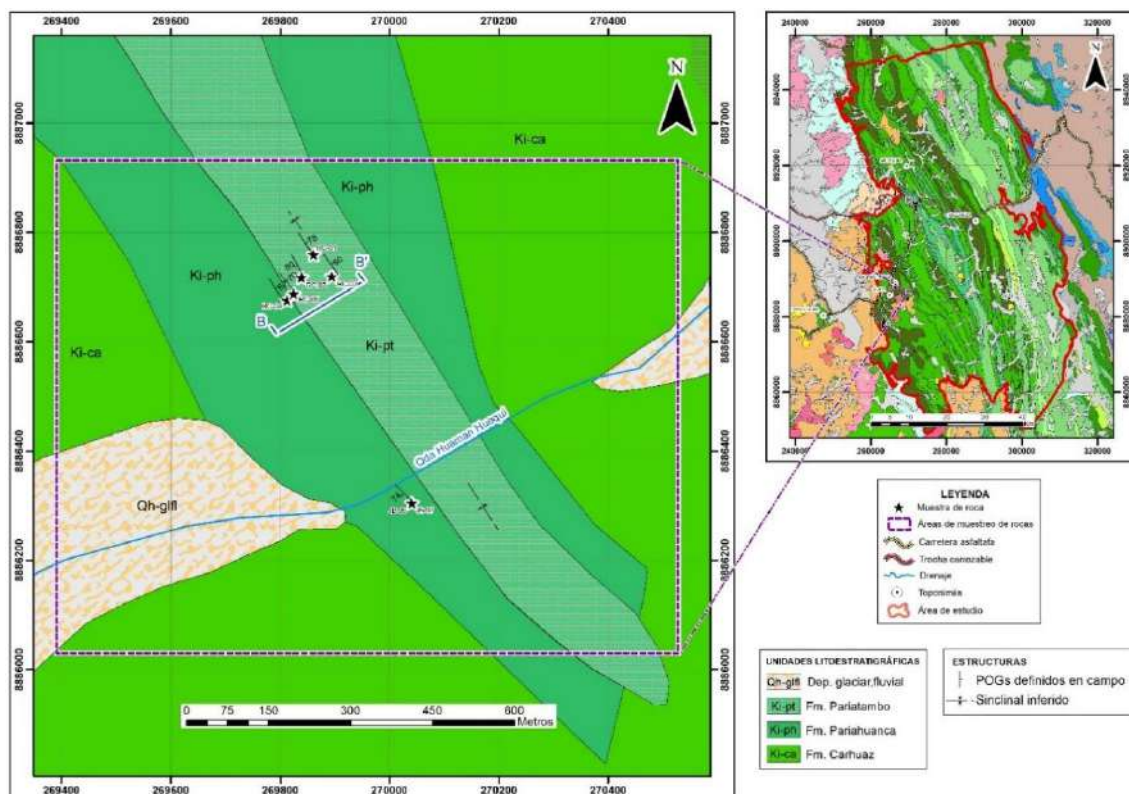


Figura 54

Mapa geológico y ubicación de las muestras de rocas en el Área 2

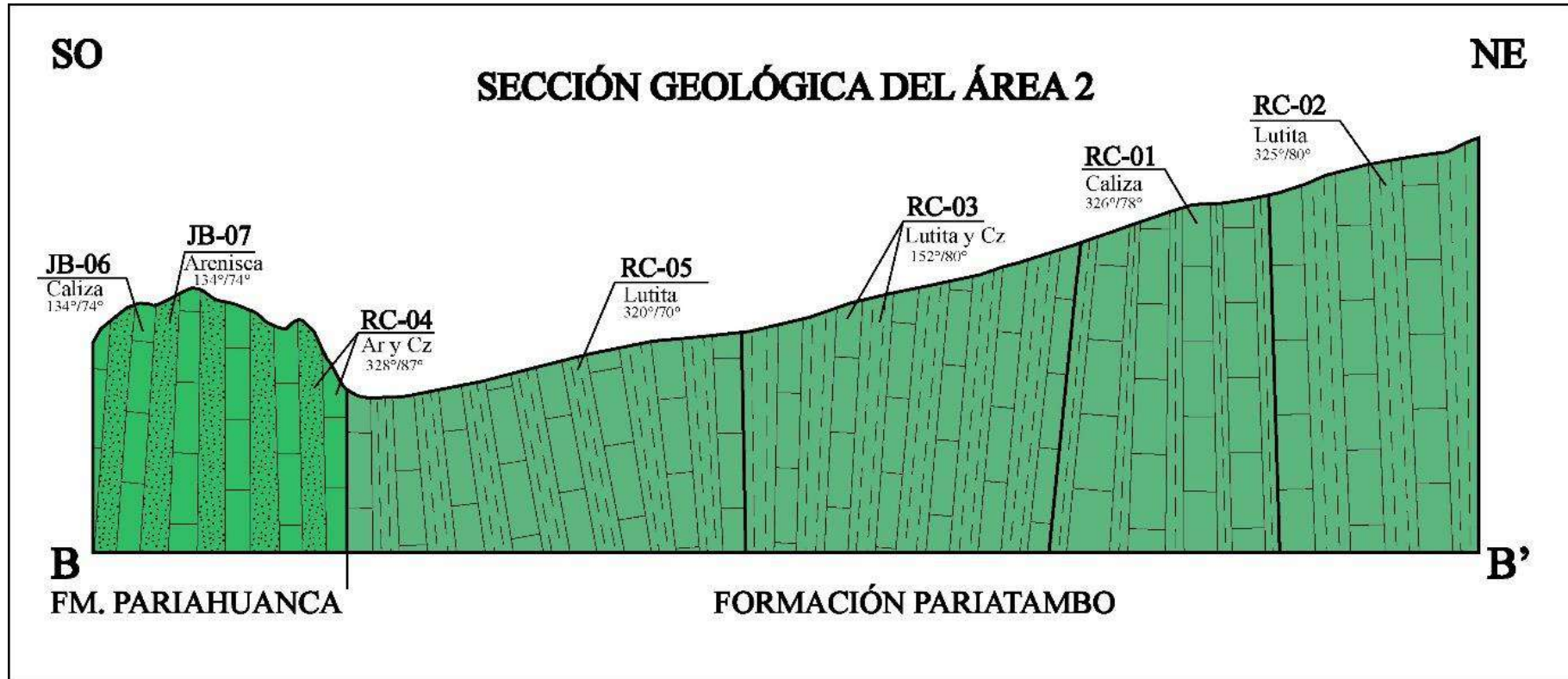


Nota. Tomado del Ingemmet (2024).

La sección geológica BB' del Área 2 se observa en una vista planta en la Fig. 54, las muestras tomadas se proyectan a esta línea imaginaria para poder entender donde se muestreo. En la Fig. 55 se observa la sección geológica y la ubicación estratigráfica de las muestras de rocas. Las muestras JB-06, JB-07 y RC-04 es de la Formación Pariahuanca y las demás muestras RC-01, RC-02, RC-03 y RC-05 pertenecen a la Formación Pariatambo. Las muestras se tomaron de forma espaciada y tomando en cuenta los cambios de facies y donde era posible el muestreo, debido a las condiciones del lugar. Además, se anotaron las coordenadas y descripciones de campo de cada muestra (ver Tabla 41) para su posterior interpretación junto con los resultados de Análisis Químico y Análisis Mineralógico. En la etapa de gabinete se tomó las fotografías de cada muestra recolectada en campo (ver Anexo 14).

Figura 55

Sección geológica del Área 2 y ubicación de las muestras de rocas



Nota. La sección BB' se observa en vista planta en la Figura 54.

Tabla 41*Coordenadas y descripciones de campo de las muestras de rocas en el Área 2*

Código	Litología	Este	Norte	Zona	Descripción
JB-06	Caliza	270041	8886304	18	Caliza micrítica de color gris oscuro, con efervescencia moderada a fuerte, poco alterada u oxidada. Vetilla de calcita de 1-2mm con patinas de calcita. Algunos puntos de pirita.
JB-07	Arenisca	270041	8886304	18	Arenisca de grano fino, color gris oscuro y muy oxidado.
RC-01	Caliza	269861	8886759	18	Caliza micrítica de color blanco grisáceo, granos medios, ¿recristalización? Partes oquerosas ¿Cz? Con algunas fracturas falladas rellenas con pátinas de óxido. Abundantes diseminaciones de Py y Py oxidada, con olor a azufre huevo podrido.
RC-02	Lutita	269895	8886719	18	Lutita negra bituminosa, mancha la mano. Efervescencia de moderada a fuerte, fisible, brillo resinoso por parte, dureza baja, calcita paralela a los planos de clivaje, olor a cemento, venilla de calcita <1mm.
RC-03	Lutita	269839	8886717	18	Caliza y lutitas bituminosas de color negras grisáceas, lutitas fisibles 0.5 -1cm aprox. Calizas más compactas, clivaje cada 2-5cm, no tan fisible caliza? Efervescencia de moderada a fuerte, mancha la mano al contacto. Venilla de calcita <1mm en el clivaje y en las fracturas calcita como pátina.
RC-04	Caliza y Arenisca	269813	8886675	18	Caliza micrítica y areniscas de grano fino negras grisáceas. Areniscas muy oxidadas mayor al de las calizas, sin olor, diseminaciones de pirita y algunas manchas blancas que efervesen (¿calcita?). Las calizas son poco oxidadas efervescencia moderada a fuerte con un leve olor a hidrocarburo.
RC-05	Lutita	269825	8886687	18	Lutita carbonosa, muy levemente fisible, de color negro grisáceo. Con efervescencia moderada, mancha de color gris plomo. Manchas blancas que efervese (¿calcita?). Dureza baja.

5.3.2.2 Resultados del Análisis Químico

5.3.2.2.1 *Distribución geoquímica del vanadio*

La distribución del vanadio solo se hará de manera general sin un tratamiento estadístico propiamente dicho, de manera más interpretativa con los resultados del análisis químico y de qué unidades se muestreo debido a la poca cantidad de muestras de roca que se obtuvo. La Tabla 42 muestra los resultados del análisis químico del vanadio de las siete muestras de rocas muestreadas en el Área 2. Los resultados químicos de los elementos restantes se observan en el Anexo 15.

Tabla 42

Concentración de vanadio de las muestras de rocas del Área 2

Código	Litología	V_ppm
JB-06	Caliza	20
JB-07	Arenisca	59
RC-01	Caliza	246
RC-02	Lutita	953
RC-03	Lutita	1138
RC-04	Caliza y Arenisca	61
RC-05	Lutita	848

Para observar y discriminar mejor la concentración de vanadio en las siete muestras de roca se separó por dominios, es decir, en primer lugar, se separó las muestras por formación geológica y luego por facies de la unidad de interés.

Primero se separó las muestras por formación geológica, en este caso tenemos tres muestras de la Formación Pariahuanca y cuatro muestras de la Formación Pariatambo. Las muestras JB-06, JB-07 y RC-04 pertenece a la Formación Pariahuanca y su concentración de vanadio tiene un valor mínimo de 20 ppm y un valor máximo de 61 ppm. Las otras cuatro muestras RC-01, RC-02, RC-03 y RC-05 pertenecen a la Formación Pariatambo las cuales tienen un valor mínimo de 246 ppm hasta un valor máximo de 1138 ppm. Por lo tanto, se puede deducir que la Formación Pariatambo es la unidad litoestratigráfica que aporta la mayor cantidad de vanadio en las anomalías que se presentó en los sedimentos de quebradas de este

elemento. Para una mejor visualización se tiene la Fig. 56 que muestra un Box Plot de la distribución de vanadio por formación geológica y la Tabla 43 con sus parámetros geoquímicos correspondientes.

Figura 56

Distribución geoquímica del vanadio por formación geológica

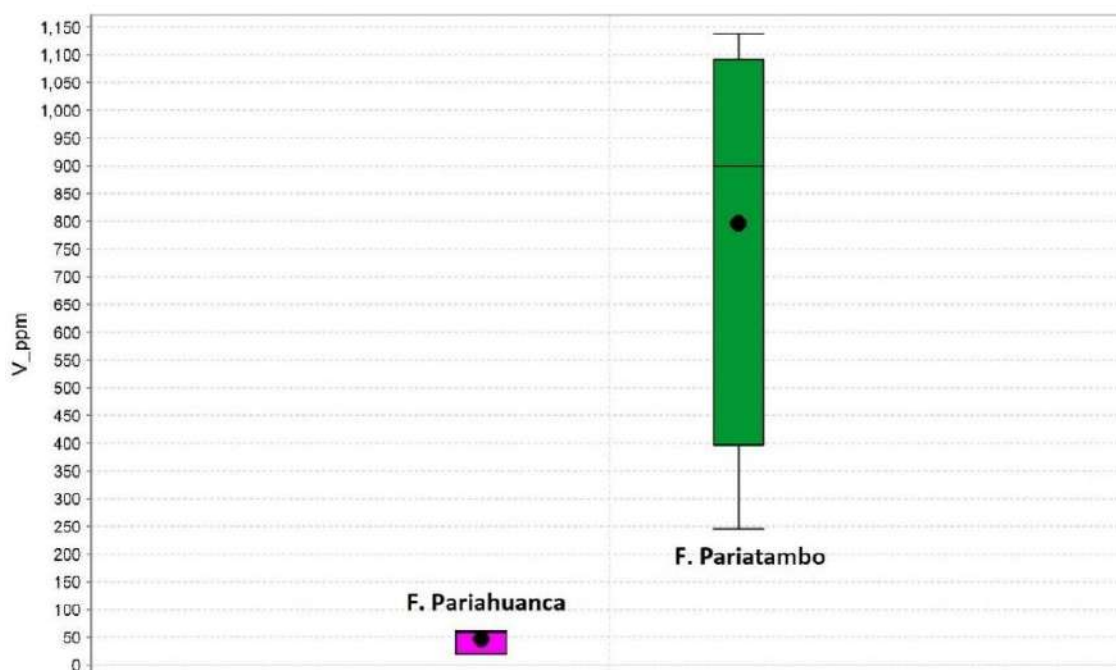


Tabla 43

Parámetros geoquímicos del vanadio por formación geológica

Formación Pariahuanca		Formación Pariatambo	
Parámetros	V_ppm	Parámetros	V_ppm
Cantidad	3	Cantidad	4
Mínimo	20	Mínimo	246
Máximo	61	Máximo	1138
Media	46.67	Media	796.25
Mediana	59	Mediana	900.5
Rango	41	Rango	892

En segundo lugar, una vez comprobado que la unidad litoestratigráfica de aporte del vanadio en la Formación Pariatambo, se separó las muestras por facies de dicha formación, calizas y lutitas. En la facies de calizas solo hay una muestra la RC-01 con un 246 ppm de vanadio, y las lutitas RC-02, RC-03 y RC-05 con un valor mínimo de 848 ppm y un valor

máximo de 1138 ppm. Por lo tanto, se puede deducir que las lutitas son las que contienen mayor concentración de vanadio a comparación de las calizas. Para una mejor visualización se tiene la Fig. 57 que muestra un Box Plot de la distribución de vanadio por facies y la Tabla 44 con sus parámetros geoquímicos correspondientes.

Figura 57

Distribución geoquímica del vanadio por facies en la Fm. Pariatambo



Tabla 44

Parámetros geoquímicos del vanadio por facies en la Fm. Pariatambo

Calizas		Lutitas	
Parámetros	V_ppm	Parámetros	V_ppm
Cantidad	1	Cantidad	3
Mínimo	246	Mínimo	848
Máximo	246	Máximo	1138
Media	246	Media	979.67
Mediana	246	Mediana	953
Rango	0	Rango	290

5.3.2.2.2 Asociaciones con otros elementos

Con el fin de identificar las asociaciones geoquímicas con el vanadio, solo se realizó la correlación bivariada con los índices de correlación de Pearson. Debido a que solo se tomó en

cuenta las cuatro muestras que pertenecen a la Formación Pariatambo, tenemos que tener en cuenta que esta correlación solo es referencial debido a que no se aplica un tratamiento estadístico por la poca cantidad de muestras (ver Tabla 45).

Los elementos que tienen moderada correlación directa con el vanadio son el Sr y U y de manera inversa son Al, Na y Tm, los elementos que tiene buena correlación directa Ca, Ni, P e Y y de manera inversa el Ba, K, Mn, Rb e Yb y los elementos que tienen muy buena correlación directa son el Cd, Sb y Zn y de manera inversa As, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mo, Sc, Si, Zr, Cs, Ga, Hf y Lu.

Tabla 45
Índices de Pearson en la Fm. Pariatambo del Área 2

	V_ppm
Ag_ppm	0.043
Al_pct	-0.520
As_ppm	-0.990
Ba_ppm	-0.800
Ca_pct	0.860
Cd_ppm	1.000
Co_ppm	-0.990
Cr_ppm	-0.970
Cu_ppm	-0.960
Fe_pct	-0.990
K_pct	-0.880
La_ppm	-0.320
Li_ppm	-1.000
Mg_pct	-0.960
Mn_ppm	-0.780
Mo_ppm	-0.940
Na_pct	-0.530
Ni_ppm	0.890
P_ppm	0.880
Pb_ppm	0.180
Sb_ppm	1.000
Sc_ppm	-0.980
Si_pct	-0.990
Rb_ppm	-0.860
Sr_ppm	0.520

±0.50-0.75	Moderada correlación
±0.75-0.90	Buena correlación
±0.90-1.00	Muy buena correlación

Ti_pct	-0.470
Y_ppm	0.750
Zn_ppm	0.980
Zr_ppm	-0.940
Be_ppm	0.021
Ce_ppm	0.032
Cs_ppm	-0.930
Dy_ppm	-0.300
Er_ppm	-0.260
Eu_ppm	-0.080
Ga_ppm	-0.980
Gd_ppm	-0.150
Hf_ppm	-0.980
Ho_ppm	-0.200
Lu_ppm	-0.980
Nb_ppm	0.240
Nd_ppm	-0.030
Pr_ppm	0.075
Sm_ppm	-0.210
Ta_ppm	0.320
Tb_ppm	-0.080
Th_ppm	0.310
Tm_ppm	-0.660
U_ppm	0.690
Yb_ppm	-0.790

5.3.2.3 Resultados del Análisis mineralógico

Los resultados del Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X se observan en el Anexo 16, donde se solicitó dos tipos de análisis, el primero un Análisis Mineralógico por DRx y segundo un Análisis de Arcillas por DRx. La segunda solicitud se pidió por el motivo de que minerales arcillosos con las que posiblemente alberguen al vanadio en su estructura (ver las Bases Teóricas del Capítulo II).

Los minerales identificados por difraccion de rayos X han sido clasificados en tres grupos: 1. Minerales arcillosos asociados al vanadio, 2. Minerales ricos en hierro asociados al vanadio, 3. Otros minerales asociados al vanadio y 4. Minerales ganga y/o no asociados al vanadio (ver Tabla 46). Esta clasificacion es propia de esta investigacion según la

interpretación de las bases teóricas del capítulo II. Además, recalcar que solo se tomó los resultados de las muestras pertenecientes a la Formación Pariatambo, es decir, las muestras RC-01, RC-02, RC-03 y RC-05.

Tabla 46

Clasificación mineralógica según su importancia con el vanadio - Área 2

CATEGORÍA	CLASE MINERAL	MINERALES
Minerales arcillosos asociados al vanadio	Silicatos	Clinocloro, Flogopita, Illita, Moscovita, Vermiculita
Minerales ricos en hierro asociados al vanadio	Óxidos	Magnesio-hornblenda, jacobsita
Otros minerales asociados al vanadio	Fosfato	Fluorapatito
	Silicatos	Laumontita
	Sulfuros	Pirita
Minerales ganga y/o no asociados al vanadio	Carbonatos	Calcita
	Silicatos	Albita, Cuarzo, Microclina
	Sulfatos	Yeso
	Sulfuros	Esfalerita

Dentro del grupo de los minerales arcillosos asociados al vanadio se encuentran el clinocloro, flogopita, illita, moscovita y vermiculita. De las cuales en todas las muestras de la Fm. Pariatambo contienen moscovitas, el clinocloro solo está en la muestra RC-01, la illita en las muestras RC-01 y RC-05 y la vermiculita en la muestra RC-01. Son minerales de arcillas que posiblemente albergarían al vanadio en su estructura cristalina reemplazando al aluminio.

En el grupo de minerales ricos en hierro asociados al vanadio se encuentran la jacobsita y el magnesio – hornblenda, donde posiblemente el vanadio esté reemplazando al hierro en su estructura.

En el grupo de otros minerales asociados al vanadio, se tiene a la fluorapatito, un mineral típico de los depósitos de lutitas fosfáticas. La laumontita, es un aluminosilicato, donde el aluminio posiblemente esté siendo reemplazado por el vanadio. La pirita también es un mineral típico de los depósitos de vanadio alojados en lutitas, justamente coincide con la litología donde se extrajo la muestra.

Y el último grupo de minerales ganga y/o no asociados al vanadio, tenemos carbonatos, silicatos, sulfatos y sulfuros. Estos minerales se consideraron dentro de este grupo al no tener relación con el vanadio según la información recopilada dentro de esa investigación. Sin embargo, es posible asociarlo en un futuro con nuevas investigaciones.

5.4 Determinación de áreas favorables para la prospección geológica por vanadio

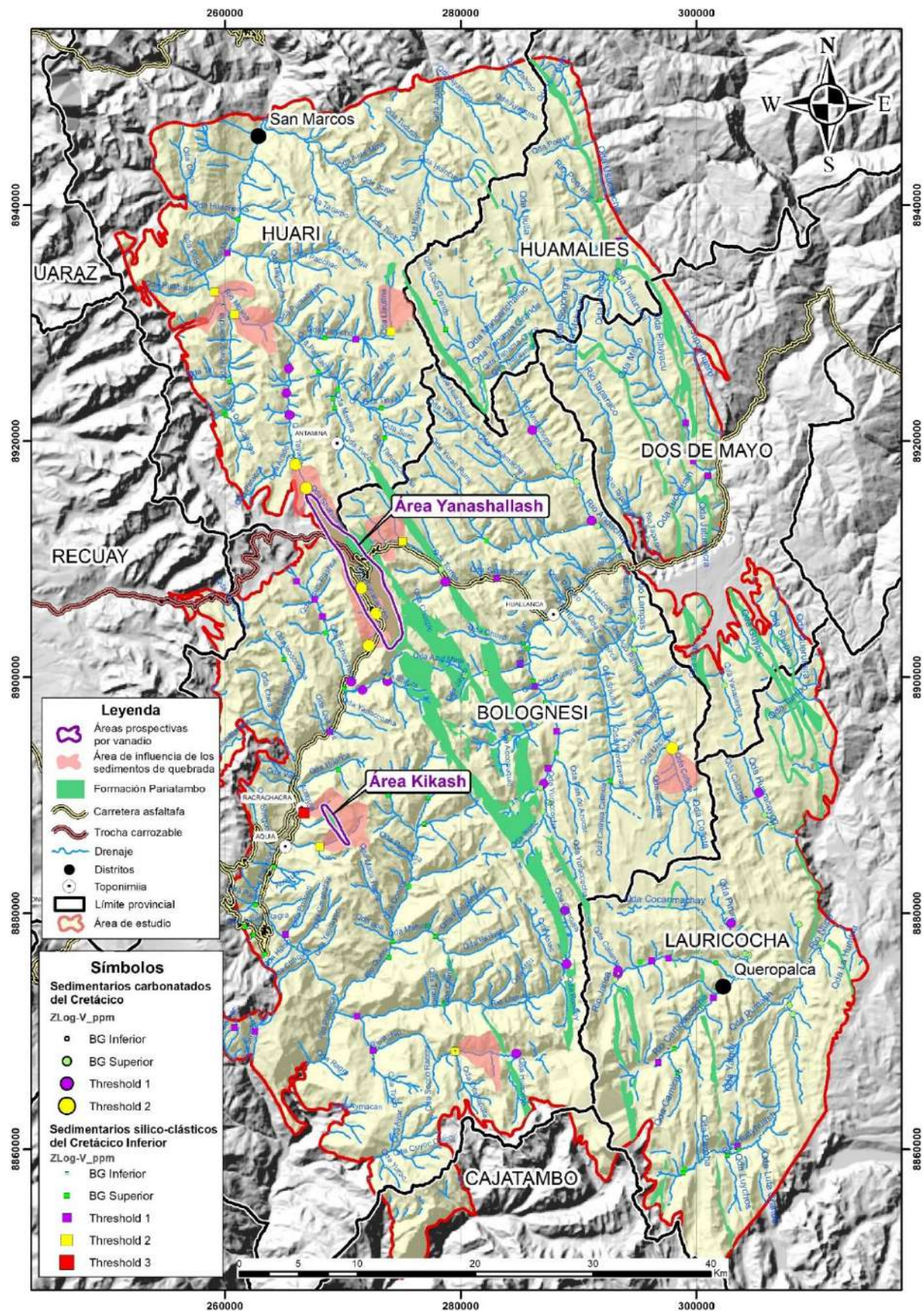
Se determinaron 2 áreas de interés prospectivo, considerando la evaluación de la geoquímica de rocas, geoquímica de los sedimentos de quebrada de la data histórica por dominios litoestratigráficos y el análisis de imágenes satelitales presentes en el área de estudio.

Dichas áreas se encuentran al oeste y suroeste del área estudiada (ver Fig. 58), en la provincia de Bolognesi, región Áncash, y han sido denominadas de la siguiente manera:

- Área Yanashallash
- Área Kikash

Figura 58

Mapa con ubicación de las áreas de interés prospectivo por vanadio



5.4.1 Área Yanashallash

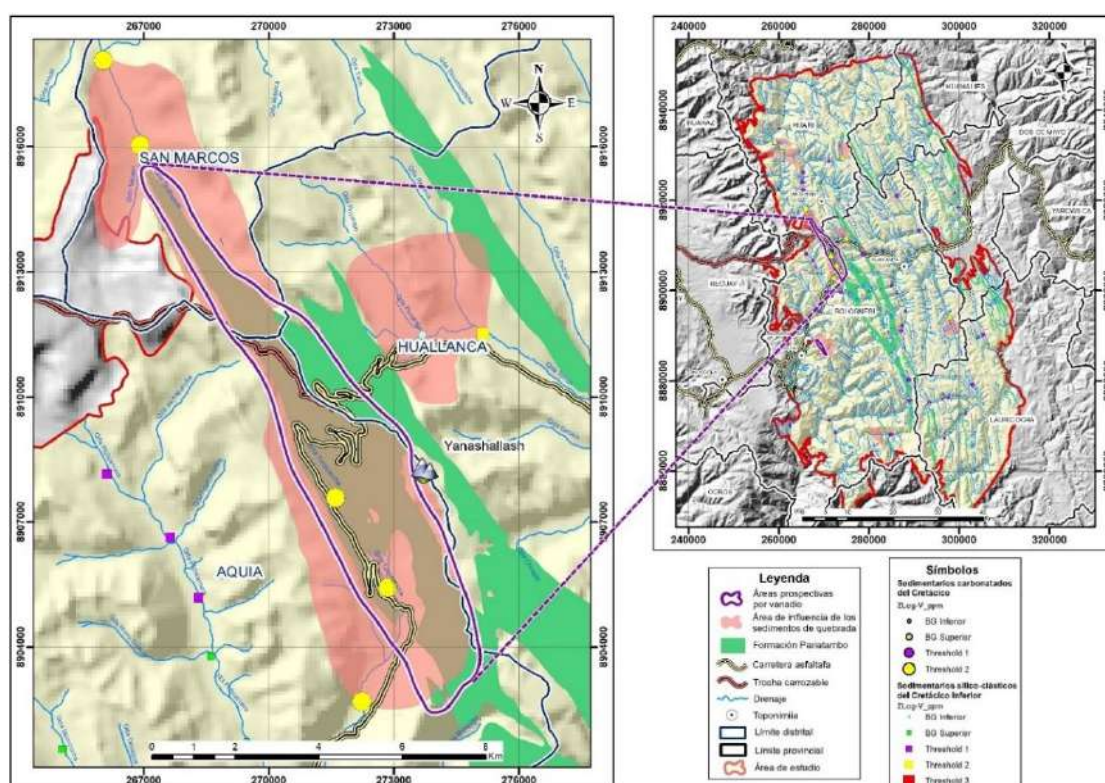
5.4.1.1 Ubicación y delimitación

Se encuentra ubicado al oeste del área de estudio entre los límites de los distritos de Aquia y Huallanca, provincia de Bolognesi, y el distrito de San Marcos, provincia de Huari, en la región de Áncash. La zona es llamada Yanashallash, debido a que encuentra próximo a la montaña con el mismo nombre. El área comprende un área de 25.64 km^2 .

El área está delimitado a los afloramientos de la Formación Pariatambo interpolado con las anomalías de vanadio de los sedimentos de quebrada presentes en el lugar, debido a que esta unidad litológica es la principal fuente de vanadio tal y como corroboró con los resultados de análisis químicos. El área de influencia de los sedimentos quebrada es la principal limitante para encontrar las concentraciones más altas de vanadio en la Formación Pariatambo, es decir, se incluyó los afloramientos de esta formación que se encontraban dentro del área de influencia de las anomalías de vanadio de los sedimentos (ver Fig. 59).

Figura 59

Mapa de ubicación del área prospectiva Yanashallash



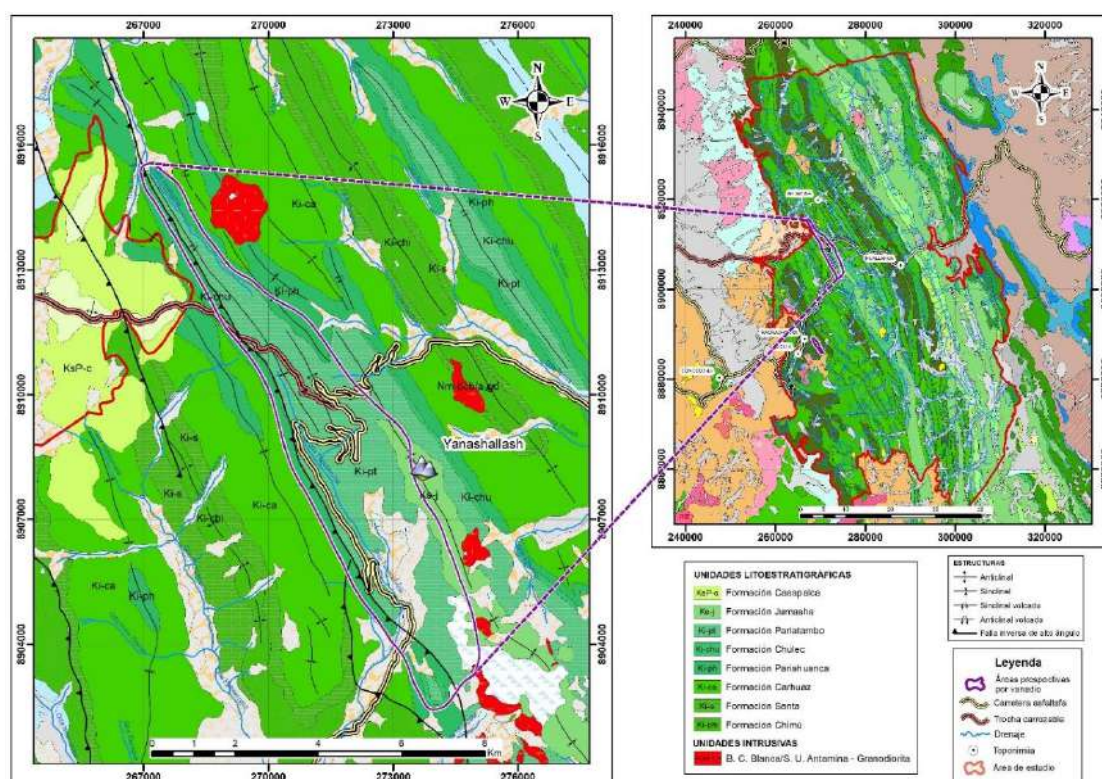
5.4.1.2 Contexto geológico

En el área de interés solo aflora rocas sedimentarias de la Formación Pariatambo, a su alrededor se encuentran las demás formaciones sedimentarias subyacentes a esta, de edad Cretácico Inferior como las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Pariahuanca y Chulec, además de Jumasha, formación superior de edad Cretácico Superior. Aflora alrededor intrusivos granodioríticos pertenecientes a la Super Unidad Antamina del Batolito de la Cordillera Blanca.

Con respecto a las estructuras dentro del área se tiene una serie de anticlinales y sinclinales con orientación NO-SE que están plegando a la unidad litológica de interés de este estudio. Al oeste del área está siendo limitado por una gran falla inversa regional con tendencia andina (ver Fig. 60).

Figura 60

Mapa geológico del área prospectiva Yanashallash



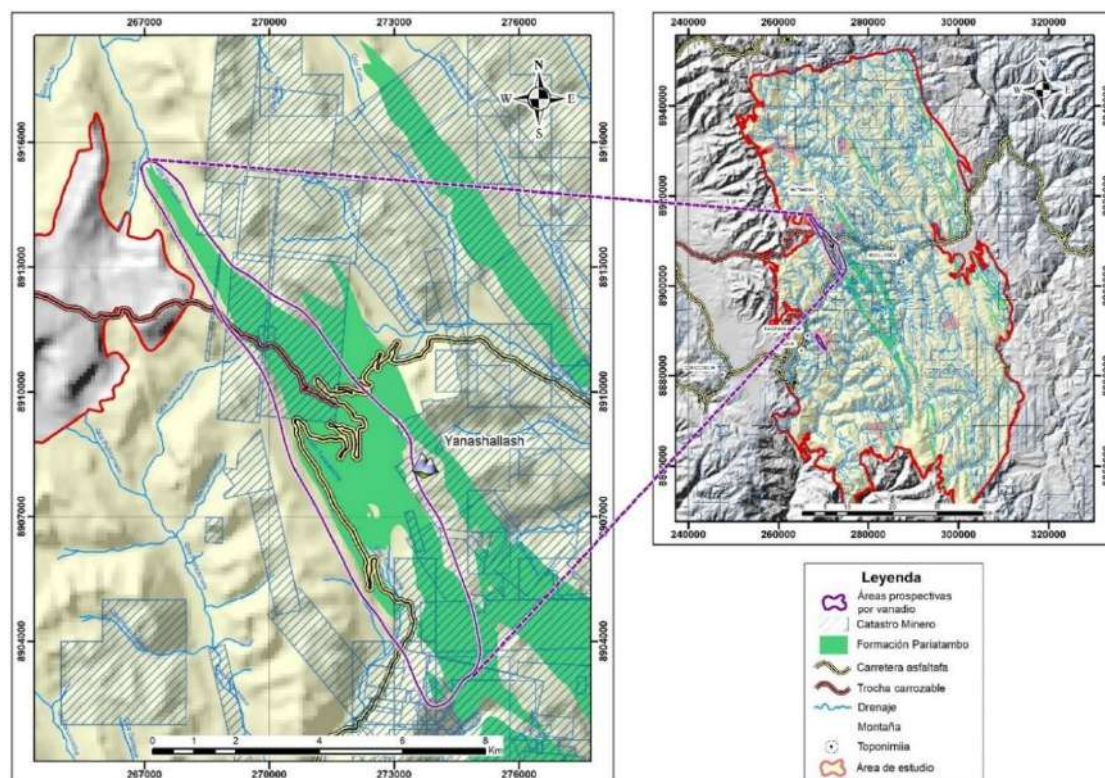
Nota. Tomado del Ingemmet (2024).

5.4.1.3 Concesiones mineras

Dentro del área de Yanashallash existe áreas no concesionadas como concesionadas actualizadas al 01 de abril del 2024, las cuales se deberá tomar en cuenta para futuras acciones de empresas interesadas en exploración por vanadio (ver Fig. 61).

Figura 61

Mapa de concesiones mineras dentro del área prospectiva Yanashallash



Nota. Tomado del Ingemmet (2024).

5.4.1.4 Anomalías geoquímicas

Dentro del área se tiene 4 muestras de rocas, entre calizas y lutitas, donde la muestra JB-03 tiene una concentración de 954 ppm de vanadio, una lutita bituminosa a carbonosa donde su principal característica es que mancha la mano de leve a moderada intensidad, distinta a la muestra JB-02 con una concentración de 169 ppm de vanadio, una lutita bituminosa que se caracteriza porque mancha la mano muy levemente.

Las calizas a comparación de las lutitas, su concentración de vanadio es menor, la muestra JB-04 tiene 275 ppm de vanadio y la JB-05 tiene 127 ppm de vanadio.

5.4.2 Área Kikash

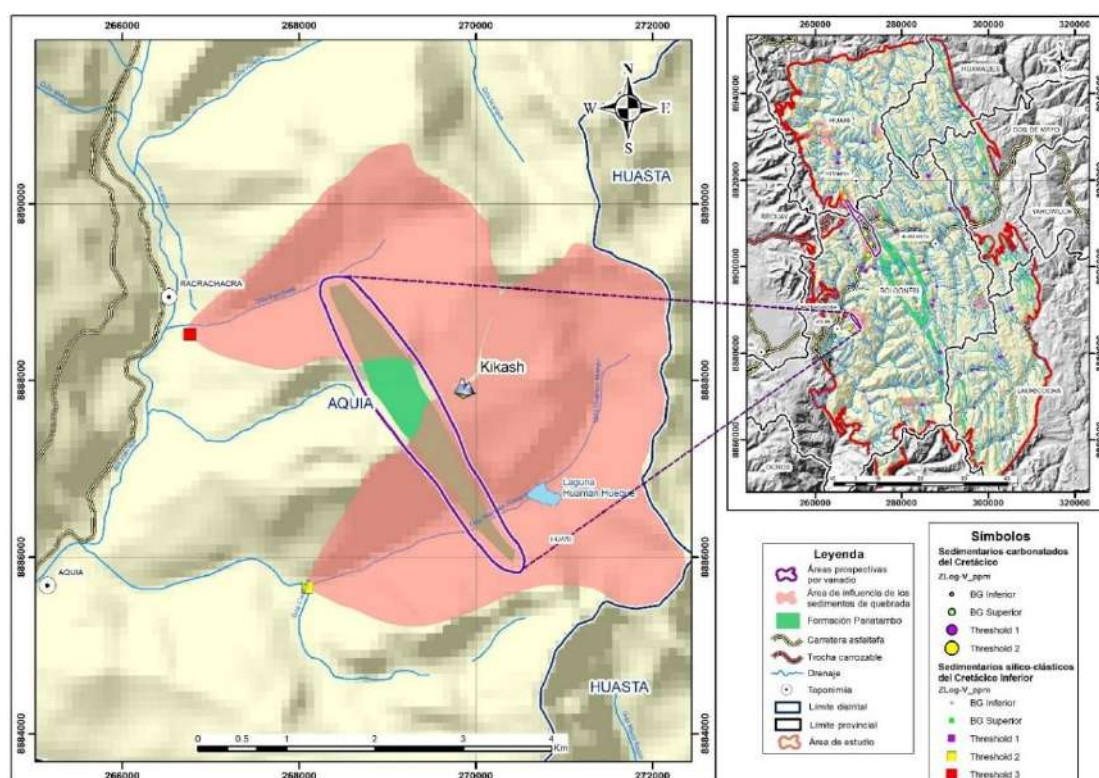
5.4.2.1 Ubicación y delimitación

Se encuentra al suroeste del área de estudio en el distrito de Aquia, provincia de Bolognesi, región de Áncash. La zona está en la cima de la montaña Kikash, al pie de la parte sur de Kikash está la laguna Huamán Hueque un lugar muy turístico que se llega desde el pueblo de Aquia. El área comprende un área de 2.01 km^2 .

El área está delimitada por los afloramientos de la Formación Pariatambo interpolado con las anomalías de vanadio de dos muestras de sedimentos de quebrada presente en el lugar, debido a que esta formación es la principal fuente de vanadio tal y como se corroboró con los resultados de análisis químico. El área de influencia de los sedimentos de quebrada es la principal limitante para encontrar las concentraciones más altas de vanadio en la Formación Pariatambo, para esta área se delimitó todo el afloramiento del Pariatambo debido a que encontraba dentro del área de anomalías de vanadio de los sedimentos (ver Fig. 62).

Figura 62

Mapa de ubicación del área prospectiva Kikash



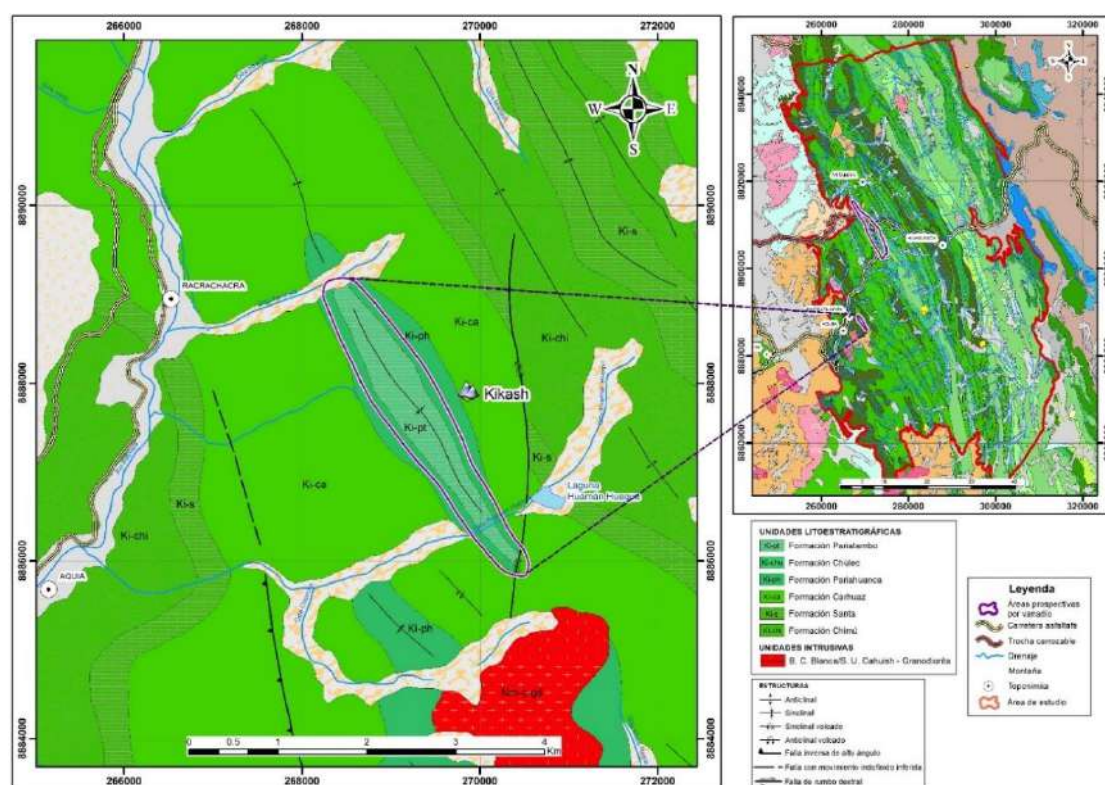
5.4.2.2 Contexto geológico

En el área de interés solo aflora rocas sedimentarias de la Formación Pariatambo, a su alrededor se encuentran las demás formaciones sedimentarias subyacentes a esta, de edad Cretácico Inferior como las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Pariahuanca. Al sur del área aflora intrusivos granodioríticos pertenecientes a la Super Unidad Cahuish del Batolito de la Cordillera Blanca.

Con respecto a las estructuras, dentro del área se tiene un sinclinal con orientación NO-SE paralela a esta. Alrededor del área tiene una serie de anticlinales y sinclinales, así como anticlinales y sinclinales volcados con orientación andina. Al este del área existe una falla de rumbo dextral, que corta en el límite sur del área. Al SO hay una falla inversa y una falla inferida (ver Fig. 63).

Figura 63

Mapa geológico del área prospectiva Kikash



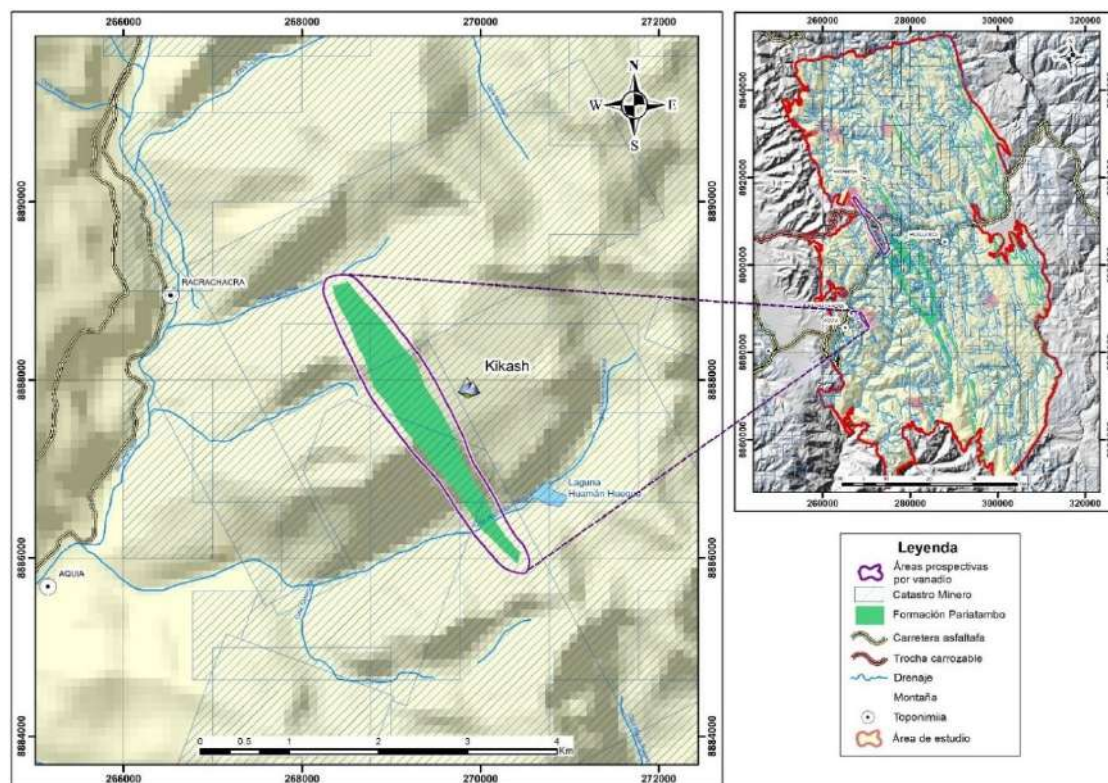
Nota. Tomado del Ingemmet (2024).

5.4.2.3 Concesiones mineras

El área de Kikash está concesionada a la fecha 01 de abril del 2024, las cuales se deberá tomar en cuenta para futuras acciones de empresas interesadas en exploración por vanadio (ver Fig. 64).

Figura 64

Mapa de concesiones mineras dentro del área prospectiva Kikash



Nota. Tomado del Ingemmet (2024).

5.4.2.4 Anomalías geoquímicas

Dentro del área de tiene 4 muestras de rocas (tres lutitas y una caliza). Las muestras de lutitas son las que contienen las más altas concentraciones de vanadio, la RC-05 con 848 ppm, la RC-02 con 953 ppm y la RC-03 con 1138 ppm. La principal característica de estas muestras de lutitas es que son muy bituminosas a carbonosas, manchan la mano con intensidad moderada a fuerte. La muestra de caliza de código RC-01 solo contiene 246 ppm de vanadio.

CONCLUSIONES

- La prospección geológica por vanadio definió 2 áreas de interés favorables entre los distritos de San Marcos y Queropalca, regiones Áncash y Huánuco – Perú.
- La unidad litoestratigráfica que contiene altas concentraciones de vanadio (hasta 1138 ppm) es la Formación Pariatambo. Se evaluó los resultados de análisis químico de las muestras de rocas, donde las muestras pertenecientes a la Formación Chúlec en el Área 1 y las muestras de la Formación Pariahuanca en el Área 2 se obtuvo concentraciones muy bajas de vanadio, descartándolas y corroborando que solo la Formación Pariatambo es la principal de fuente de vanadio.
- Los resultados químicos de las muestras de rocas (calizas y lutitas), arrojan que, en las dos áreas de muestreo de rocas, las lutitas son las que contiene mayor concentración de vanadio a comparación de las calizas. La principal característica de estas lutitas es que son muy bituminosas, con características similares al carbón.
- Los elementos asociados al vanadio en común a los dos dominios litoestratigráficos trabajados son el U, P, Ni y Mo en la dispersión geoquímica secundaria. Para las muestras de rocas se tomó los elementos más resaltantes de las correlaciones de Pearson debido a la poca cantidad de muestras, estos elementos son el U, P, Ni, Mo (en común con la dispersión geoquímica secundario), Cd, Sb y Zn.
- Los principales minerales fuentes de vanadio en las dos áreas prospectivas posiblemente serían: minerales arcillosos como el clinocloro, illita y moscovita principalmente, además de la flogopita y vermiculita (Área Kikash); minerales asociados al hierro como el magnesio-hornblenda y jacobsita (Área Yanashallash); y minerales asociados al vanadio principalmente la pirita, además de anatasa (Área Yanashallash), fluorapatito y laumontita (Área Kikash).

RECOMENDACIONES

- Evaluar la movilidad del vanadio en un ambiente secundario, debido que en este estudio se encontró anomalías de vanadio por dispersión geoquímica secundaria en un dominio sedimentario silico-clástico donde la Formación Carhuaz es la principal fuente aportante a los sedimentos, y las formaciones Pariahuanca y Pariatambo son aportantes menores, sin embargo, las anomalías de vanadio en los sedimentos de quebrada superaron el Threshold 3.
- Desarrollar futuras investigaciones en la Formación Pariatambo, relacionar la alta cantidad de materia orgánica que contiene y su relación con sus altas concentraciones de vanadio, principalmente en las lutitas.
- Realizar un análisis a las muestras de rocas de la Formación Pariatambo, que ayude a determinar la ubicación exacta del vanadio en los minerales de estas rocas, para poder descartar algunos minerales que se proponen en esta tesis donde albergaría al vanadio.
- Investigar sobre procesos metalúrgicos rentables para la extracción de vanadio en las lutitas bituminosas y calizas negras.
- Difundir los resultados de esta investigación a los exploradores y dar a conocer la importancia del vanadio como mineral estratégico en un mundo donde se encuentra en una transición energética, de usar combustibles fósiles a un sistema sin emisiones de carbono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J., Huanacuni, D., y Robles, M. (2016). Los metales estratégicos en el Perú.
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3331/1/Acosta-Metales_estrategicos_Peru.pdf
- Baragwanath, J. G. (1921). The vanadiferous asphaltites of central Peru; occurring as a series of veins in Cretaceous limestones, they are found in four districts – Vanadium is present, but not in sufficient quantity to make commercial extraction. Engineering and Mining Journal, 111 (19), 778-781.
- Barwise, A. J. G. (1990). Role of Nickel and Vanadium in Petroleum Classification. Energy & Fuels 1990, vol. 4, p. 647-652.
<https://doi.org/10.1021/ef00024a005>
- Boni, M., Terracciano, R., Evans, N. J., Laukamp, C., Schneider, J. y Bechstadt, T. (2007). Genesis of vanadium ores in the Otavi Mountainland, Namibia. Economic Geology, v. 102, p. 441 – 469.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.3.441>
- Breit, G. N. y Wanty, R. B. (1991). Vanadium accumulation in carbonaceous rocks: A review of geochemical controls during deposition and diagenesis. Chemical Geology, vol. 91, N°2, 83-97.
[https://doi.org/10.1016/0009-2541\(91\)90083-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(91)90083-4)
- Breit, G. N. (1992). Resources in fossil fuels, capítulo K de DeYoung, J. H. y Hammarstrom, J. M., Contributions to commodity geology research: U.S. Geological Survey Bulletin 1877.
<https://doi.org/10.3133/b1877>

- Carrascal, R., Matos, C. y Silva, O. (2000). Carbón en el Perú. Boletín N°7, Serie B: Geología Económica, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/234/2/B-007-Boletin-Carbon_en_el_Peru.pdf
- Cobbing, J., Sánchez, A., Martínez, W. y Zárate, H. (1996). Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. Serie A: Carta Geológica Nacional, Boletín N°76. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
[https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/199/67/A-076-Boletin_Chiqui%
c3%a1n-21i.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/199/67/A-076-Boletin_Chiqui%c3%a1n-21i.pdf)
- Coveney, R. M. y Martin, S. P. (1983). Molybdenum and other heavy metals of the Mecca Quarry and Logan Quarry Shales. Economic Geology, vol. 78, p. 132-149.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.78.1.132>
- Dávila Burga, J. (2011). Diccionario Geológico. Ingemmet
<https://biblioteca.ismm.edu.cu/wp-content/uploads/2017/06/Diccionario-geologico.pdf>
- Desborough, G. A., Poole, F. G., Hose, R. K. y Radtke, A. S. (1979). Metals in Devonian kerogenous marine strata at Gibellini and Bisoni properties in southern Fish Creek Range, Eureka County, Nevada: U. S. Geological Survey Open – File Report 79 – 530.
<https://doi.org/10.3133/ofr79530>
- Duarte, E., Costa, C., De Assis, R., Lombello, J., De Souza, M., Chaves, J. y Santos, E. (2023). Geochemical mapping by stream sediments of the NW portion of Quadrilátero Ferrífero, Brasil: Application of the exploratory data analysis (EDA) and a proposal for generation of new gold targets in Pitangui gold district.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107232>

- Dunin Borkowski, E. (1996). Minerales Industriales del Perú, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, p. 141 – 156.
- Habibnia, A., Rahimpour, G. y Ranjbar, H. (2020). Equivalence assessment and leveling of geochemical datasets to generate integrated geochemical maps: Application to mineral exploration. Journal of Geochemical Exploration, vol. 212.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106507>
- Harmesa, H., Lestari, L., Budiyo, F., Purbonogoro T. y Wahyudi, A. (2023). Preliminary study of geochemical speciation of copper and nickel in coastal sediments in Surabaya, Indonesia.
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-27711-w>
- Hawkes, H. E. (1957). Principles of Geochemical Prospecting. Geological Survey Bulletin 1000-F, p. 225-355.
<https://pubs.usgs.gov/bul/1000f/report.pdf>
- Huang, J. H., Huang, F., Evans, L. y Glasauer, S. (2015). Vanadium: Global (bio)geochemistry. Chemical Geology, Volumen 417, p.68-89.
<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.09.019>
- Kelley, K., Scott, C., Polyak, D. y Kimball, B. (2017). Vanadium. Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply, Chapter U.
<https://doi.org/10.3133/pp1802U>
- Kolmogorov-smirnov en r (lilliefors) para testear la normalidad. Viva el software libre.
<https://vivaelssoftwarelibre.com/test-de-kolmogorov-smirnov-en-r/>
- La prueba t. Portal de formación estadística.
https://www.jmp.com/es_pe/statistics-knowledge-portal/t-test.html

- Panizo, J. V. (setiembre 1948). El vanadio en el Perú. La Minería Peruana (Nº 56), 9-10.
- Piper, D. Z. (1999). Trace elements and major – element oxides in the Phosphoria Formation at Enoch Valley, Idaho – Permian sources and current reactivities. U.S. Geological Survey, open – file report 99 – 163.
<https://doi.org/10.3133/ofr99163>
- Polyak, D. E. (2012). Vanadium: U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries 2023.
<https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/mineral-pubs/vanadium/mcs-2012-vanad.pdf>
- Polyak, D. E. (2013). Vanadium: U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries 2013.
<https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/mineral-pubs/vanadium/mcs-2013-vanad.pdf>
- Polyak, D. E. (2023). Vanadium: U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries 2023.
<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-vanadium.pdf>
- RACEFN Glosario de Geología (2009). Universidad de Granada.
https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm#P
- Reynolds, I. M. (1985). The nature and origin of titaniferous magnetite – rich layers in the upper zone of the Bushveld Complex: a review and synthesis. Economic Geology, vol 80, p. 1089 – 1108.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.80.4.1089>
- Samamé, M. (1981). El Perú Minero. Tomo V, Metales y Minerales. p. 209.

- Shawe, D. R. (2011). Uranium – vanadium deposits of the Slie Rock district, Colorado: U. S. Geological Survey Professional Paper 576-F.
<https://pubs.usgs.gov/pp/576f/>
- Simandl, G. y Paradis, S. (2022). Vanadium as a critical material: economic geology with emphasis on market and the main deposit types.
<https://doi.org/10.1080/25726838.2022.2102883>
- Singh, A. y Singh, A. K. (2013). Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations. ProUCL Version 5.0.00 Technical Guide.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-03/documents/proucl_v5.0_tech.pdf
- Spry, P. G. y Scherbarth, N. L. (2006). The gold – vanadium – tellurium association at the Tuvatu gold – silver prospect, Fiji: conditions of ore deposition. Mineralogy and Petrology, v. 87, p. 171 – 186.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00710-006-0128-6>
- United States Geological Survey (USGS). Comunicado de prensa nacional: El Servicio Geológico de EE.UU. publica la lista de minerales críticos de 2022.
<https://www.usgs.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals>
- Vargas Rodriguez, L. E. (2007). Dispersión geoquímica secundaria de los principales elementos lantánidos en la cuenca de los ríos Chancay-Lambayeque (Tesis).
http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/218/Vargas_rl.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Wilson, J. J. (2002). The Minas Ragra vanadium deposit, Central Peru: possible génesis. Sociedad Geológica del Perú, 623-633.

- Ypanaqué Reto G. M. (2022). Prospección geológica en la concesión minera Julito 1, distrito Quicacha, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa (Tesis)
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/19013>
- Zavala, B. L., Valderrama, P. A., Pari, W., Luque, G. y Barrantes, R. (2009). Riesgos geológicos en la region Ancash, Boletín N°38, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/243/978/C038-Boletin-Riesgos_geologicos_region_Ancash.pdf

ANEXOS

ANEXO 1: UBICACIÓN, LEY, TONELAJE Y OTROS DATOS DE LOS DEPÓSITOS DE VANADIO EN EL MUNDO

ID	Deposit	Country	District, region, or State/Province	Deposit type	Latitude (decimal degrees, WGS 84)	Longitude	Resource tonnage (million metric tons)	Grade (% V ₂ O ₅)	V ₂ O ₅ content (million metric tons)	Production, resources, or reserves	Source of data
1	Lueca Mine	Angola	NA	Vanadate	-7.92	13.65	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975a)
2	Windimurra	Australia	Mount Magnet	VTM	-28.36	118.84	242.6	0.48	1.16	Resources	Britt and others (2014)
3	Mount Peake	Australia	Northern Territory	VTM	-21.66	133.66	160	0.3	0.48	Resources	TNG Ltd. (2015)
4	Julia Creek	Australia	Queensland	Shale-hosted	-20.65	141.73	411	0.44	1.1	Resources	Lewis and others (2010)
5	Balla Balla	Australia	Western Australia	VTM	-21.14	118.06	456	0.64	2.91	Resources	Britt and others (2014)
6	Speewah	Australia	Western Australia	VTM	-16.47	128.20	4,712	0.3	14.1	Resources	Britt and others (2014)
7	Gabanintha	Australia	Western Australia	VTM	-27.00	118.60	125.8	0.7	0.88	Resources	Britt and others (2014)
8	Barambie	Australia	Western Australia	VTM	-27.42	119.11	47.2	0.63	0.3	Resources	Britt and others (2014)
9	Svorantskoe	Azerbaijan	Chelyabinskaya Oblast	VTM	39.00	46.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
10	Maracas	Brazil	Bahia	VTM	-13.41	-40.43	24.6	1.11	0.27	Resources	Fischer (1975b)
11	Tapajos	Brazil	Pará	VTM	-3.61	-54.49	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
12	Banks Island	Canada	British Columbia	VTM	53.47	-130.13	3	0.6	0.018	Resources	Fischer (1975b)
13	Porcher Island	Canada	British Columbia	VTM	54.00	-130.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
14	Lac Doré	Canada	Matagami, Quebec	VTM	49.76	-77.62	100	0.49	0.49	Resources	Fischer (1975b)
15	Lake Michikamau	Canada	Newfoundland and Labrador	VTM	54.12	-63.98	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
16	Ring of Fire	Canada	Ontario	VTM	52.80	-86.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
17	Lac Tio (Allard Lake)	Canada	Quebec	VTM	50.56	63.41	350	0.3	1.05	Resources	Fischer (1975b)
18	Sept Îles	Canada	Quebec	VTM	50.34	-66.51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
19	Magpie Mountain	Canada	Quebec	VTM	51.38	-64.07	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
20	Lac St. Jean	Canada	Quebec	VTM	49.33	-71.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
21	LaBlache-Hervieux-Shmoo Lakes	Canada	Quebec	VTM	50.06	-69.63	101.7	0.18	0.18	Resources	Fischer (1975b)
22	Nick	Canada	Yukon	Shale-hosted	68.65	-135.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Hulbert and others (1992)
23	Luanping	China	Hubei Province	VTM	41.50	117.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
24	Maocaoping, Baiguo, Baiguo	China	Hubei Province	Shale-hosted	31.27	111.08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Coveney and Nansheng (1991)
25	Nalaqing, Gongshan, Damakan, Lanjian	China	Panzhihua region, Sichuan Province	VTM	26.65	102.00	3,460	0.3	10.4	Resources ¹	Zhou and others (2005)
26	Shanyang	China	Shaanxi Province	VTM	33.87	109.94	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
27	Otanmaki	Finland	Kajaani, Kainuu Region	VTM	64.13	27.10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
28	Mustavaara	Finland	Oulu, North Ostrobothnia Region	VTM	65.78	27.99	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)

29	Singhbhum-Mayurbhanj	India	Bihar and Odisha	VTM	22.00	86.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
30	Ganjang	India	Karbi-Anglong District	VTM	26.16	93.33	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
31	Shaltora	India	West Bengal	VTM	23.42	86.92	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
32	Rivash	Iran	Razavi Khorasan Province	VTM	35.64	58.33	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
33	Green giant	Madagascar	Tulear Region	Shale-hosted (meta)	-24.69	44.75	49.9	0.693	0.35	Resources	Energizer Resources, Inc. (2013)
34	Berg Aukas, Abenad, Tsuneb	Namibia	Otavi Mountainland	Vana-date	-19.51	18.25	3.2	0.75	0.024	Resources	Fischer (1975a); Boni and others (2007)
35	Stjernoy-Seiland	Norway	Finnmark County	VTM	70.50	23.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
36	Rodsand	Norway	Møre og Romsdal County	VTM	62.85	8.12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
37	Selvag	Norway	Nordland County	VTM	68.66	15.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
38	Tellnes	Norway	Rogaland County	VTM	58.33	6.42	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
39	Kusinskoe	Russia	Chelyabinskaya Oblast	VTM	55.75	57.35	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
40	Gusevogorsk	Russia	Kachkanar, Sverdlovskaya Oblast	VTM	58.70	59.49	16,200	0.084	13.6	Resources	Augé and others (2005); Laznicka (2010)
41	Guseva Gora	Russia	Kachkanar, Sverdlovskaya Oblast	VTM	58.70	59.49	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Augé and others (2005); Laznicka (2010)
42	Yubryahinskoe	Russia	Kachkanar, Sverdlovskaya Oblast	VTM	59.93	59.17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Augé and others (2005); Laznicka (2010)
43	Tsagin	Russia	Murmanskaya Oblast	VTM	68.00	36.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
44	Afrikanda	Russia	Murmanskaya Oblast	VTM	67.42	32.68	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
45	Lysanovskoe	Russia	NA	VTM	54.00	94.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
46	Visean	Russia	NA	VTM	53.00	59.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
47	Koykara Koyarsk	Russia	NA	VTM	61.00	30.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
48	Pudozhgorsk	Russia	Republic of Kareliya	VTM	61.62	36.24	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
49	Yelet' ozero	Russia	Republic of Kareliya	VTM	67.07	34.21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
50	Pudozhgaraskoe	Russia	Republic of Kareliya	VTM	61.37	36.48	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
51	Pervouralsk	Russia	Sverdlovskaya Oblast	VTM	56.90	59.53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
52	Kharlovskoe	Russia	Sverdlovskaya Oblast	VTM	52.00	81.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
53	Vantra	South Africa	Brits, North West Province	VTM	-25.63	27.78	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
54	Mapochs Mine	South Africa	Bushveld Igneous Complex, Limpopo Province	VTM	-25.22	29.92	100	1.5	1.5	Resources + reserves	Reynolds (1985); Rohmann (1985)
55	Rhovan Mine	South Africa	Bushveld Igneous Complex, Limpopo Province	VTM	-25.57	27.57	203	0.52	1.06	Resources	Reynolds (1985); Rohmann (1985)

56	Kroko-dilkraal Mine	South Africa	Bushveld Igneous Complex, North West Province	VTM	-25.60	28.18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Reynolds (1985); Rohmann (1985)
57	Kafferskrall Farm	South Africa	North West Province	Vana-date	-31.15	25.85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975a)
58	Taberg	Sweden	Jönköping County	VTM	57.75	14.17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
59	Viken	Sweden	Myrviken, Jämtland County	Shale-hosted	63.12	14.36	685	0.29	1.98	Resources	Aura Energy (2012)
60	Ruotevare	Sweden	Norrbottn County	VTM	67.08	17.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
61	Häggån	Sweden	Storsjön, Jämtland County	Shale-hosted	63.50	12.73	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Aura Energy (2012)
62	Union Bay	United States	Alaska	VTM	55.77	-132.10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
63	Klukwan Fan	United States	Alaska	VTM	59.42	-135.88	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
64	San Gabriel Mountains	United States	California	VTM	34.37	-118.30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
65	McClure Mountain	United States	Colorado	VTM	38.34	-105.42	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
66	Buckmaster Draw	United States	Green River, Utah	SSV	38.68	-110.03	0.67	0.19	0.0012	n.d.	Fischer (1968)
67	Tony M, Frank M	United States	Henry Mtns., Utah	SSV	38.11	-110.81	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Johnson (1959)
68	Phosphoria	United States	Idaho	Shale-hosted	42.70	-111.83	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Love and others (2003); Jasinski (2004)
69	Mecca Quarry shale	United States	Illinois and Indiana	Shale-hosted	40.02	-87.53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
70	Mike, Pandora Mine	United States	La Sal district, Utah	SSV	38.31	-109.25	0.989	1.46	0.0144	Production	Fischer (1968); Shawe (2011)
71	TiTac	United States	Minnesota	VTM	47.58	-92.07	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
72	Gibellini	United States	Nevada	Shale-hosted	39.21	-116.09	0.082	0.29	0.00017	Resources	American Vanadium Corp. (2012)
73	Carlin Vanadium	United States	Nevada	Shale-hosted	40.61	-116.12	25.4	0.51	0.13	Resources	Scandium International Mining Corp. (2010)
74	King Tut, Carrizo, Lukachukai Mountains	United States	New Mexico and Arizona	SSV	36.74	-109.01	0.846	1.15	0.01	Production	McLemore and Chenoweth (1997)
75	Ossining	United States	New York	VTM	41.17	-73.83	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
76	Diana	United States	New York	VTM	44.15	-75.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
77	Tahawus Mine, MacIntyre stone pit	United States	Sanford Lake, New York	VTM	44.00	-74.08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
78	Slick Rock Mill, Uravan	United States	Uravan Mineral Belt, Colorado	SSV	38.37	-108.74	13.99	1.29	0.18	Production	Fischer (1968); Shawe (2011)
79	Iron Mountain	United States	Wyoming	VTM	41.38	-104.83	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975b)
80	Broken Hill	Zambia	Kabwe, Central Province	Vana-date	-14.42	28.55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975a)
81	Bulawayo	Zimbabwe	Bulawayo	Vana-date	-20.17	28.58	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Fischer (1975a)

¹Also includes some production and reserves.

ANEXO 3: IMPUTACIÓN DE VALORES A LOS DATOS CENSURADOS EN EL DOMINIO DE LOS "SEDIMENTARIOS SILICO-CLÁSTICOS DEL CRETÁCICO INFERIOR" DEL PROYECTO "ESTUDIOS DE LOS RECURSOS MINERALES DEL PERÚ, FRANJA 4"

ID	ID_original	Código	Dominio	Longitud_X	Latitud_Y	UTM_E	UTM_N	Nombre del proyecto	Au_ppb	Hg_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Ca_pct	Cd_ppm	Mo_ppm	Na_pct	Sb_ppm	Ti_pct	Zr_ppm	Be_ppm	Ga_ppm	Tl_ppm	W_ppm	Sn_ppm	S_pct	
1	186	21i-004	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.1744	-10.13437	261740.065	8878935.24	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.039111197	0.08	0.016751457	24	0.92305291	0.42	0.06994104	3	0.02	0.26833034	0.03	3.3	0.8	0.82406857	0.02830392	0.72020183	3.99627243	0.00733192	
2	187	21i-005	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.174	-10.135	261784.38	8878865.83	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	10	0.1	0.023517362	53	7	0.3	0.09929483	2	0.03	7	0.04	2.9	0.9	0.94653056	0.04129933	0.93876204	12	0.00977603	
3	188	21i-006	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.168	-10.141	262446.55	8878206.38	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	42	1.1	0.029225354	52	13	0.36	0.12428179	1	0.04	0.354723	0.04	3	0.8	1.03450192	0.05261168	11	4.43018941	0.05	
4	189	21i-007	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.135	-10.009	265968.796	8892834.34	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	140	0.14	0.3	44	1.14186368	0.68	1	6	0.02	0.42418262	0.02	1.6	0.8	1.10670028	0.02	2	1.11249582	4.73263505	0.04
5	190	21i-008	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.165	-10.054	262711.616	8887834.15	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	10	0.08	0.034459563	157	1.30858589	1.46	0.14733764	1	0.03	0.48578988	0.02	1	1	1.16965447	0.06321452	12	4.97567767	0.07	
6	191	21i-009	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.101	-10.012	269699.467	8892526.41	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.06708283	0.06	0.039438648	32	8	0.14	0.16937723	6	0.01	0.54288038	0.00054721	0.9	0.31964978	1.22649581	0.07347663	1.265378	12	0.07	
7	192	21i-010	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.101	-10.015	269701.584	8892194.51	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.094782641	0.07	0.4	131	1.45105829	1.84	4	14	0.02	0.59711416	0.03	1.3	1.2	11	0.08358694	32	14	0.09	
8	193	21i-011	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.032	-10.037	277283.015	8889808.14	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	25	0.001641575	0.9	127	1.5792741	3.37	3	11	0.11	0.64946101	0.03	0.05	2.4	1.5	1.27899562	0.09365966	28	16	0.29
9	194	21i-012	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.038	-10.016	276610.731	8892127.29	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.123187971	0.002570357	0.044273196	36	1.69812211	0.55	0.19086479	1	0.03	0.70054908	0.00078552	1.7	1.5	12	0.10377196	14	18	0.33	
10	195	21i-013	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.031	-10.036	277391.98	8889919.45	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.152700737	0.06	1	106	1.81041339	0.48	5	3	0.02	0.75081652	0.04	1.1	1	1.32826557	0.11398055	22	5.18408198	0.18	
11	196	21i-014	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.063	-10.035	273882.499	8890008.22	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.1835573	0.06	0.049028961	57	1.91793858	0.29	0.21207746	1	0.01	0.80058696	0.00099021	1.5	1.3	1.37505567	0.12433001	1.40617417	5.36960339	0.03	
12	197	21i-015	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.061	-10.018	274090.017	8891890.33	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.21592987	0.05	0.053749432	25	5	0.24	0.23319946	1	0.02	0.85011087	0.00118027	0.8	1.4	1.41989993	0.13485734	1.53923083	13	0.13	
13	198	21i-016	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.052	-10.051	275099.715	8888245.68	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.249962732	0.003425218	0.058465724	82	2.02192355	0.31	2	20	0.02	0.89958999	0.01	0.9	0.7	1.46319495	0.14559477	30	13	0.08	
14	199	21i-017	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.035	-10.057	276967.786	8887593.51	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.285788199	0.05	0.5	91	2.12325448	0.33	3	24	0.00254204	0.94919252	0.00136285	0.7	1	1.50524559	0.00136285	3	1.66707815	5.53883634	0.13
15	200	21i-018	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.035	-10.057	276967.786	8887593.51	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.323534767	0.06	0.3	48	12	0.18	1	7	0.00321594	0.99906312	0.00154159	1.2	0.6	1.54629302	0.15657148	1.79134846	5.69588846	0.03	
16	201	21i-019	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.011	-10.089	279620.91	8884069.63	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	17	0.24	0.063201523	246	2.22260032	0.39	3	7	0.02	1.0493297	0.01	1	1.6	1.58653289	0.16781472	25	5.84351114	0.02	
17	202	21i-020	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.047	-10.105	275685.304	8882275.04	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.363331821	0.004258011	0.06797582	1.69286514	10	0.37	2	0.1538757	0.04	1.10010828	0.0017187	1.4	1.6	10	0.17935071	11	15	0.02	
18	203	21i-021	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.063	-10.159	273969.133	8876289.86	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.405312686	0.1	0.3	72	2.32048452	1.19	2	4	0.03	1.15150644	0.01	1.8	1.3	1.62612743	0.01	2	1.91317506	5.98364914	0.13
19	204	21i-022	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.06	-10.147	274289.542	8877619.54	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.449616833	0.08	0.072804529	80	13	1.12	2	0.22893696	0.03	1.2036261	0.01	1.3	1.3	1.66521397	0.19120519	16	6.11773567	0.07	
20	205	21i-023	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.059	-10.152	274402.659	8877067.07	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	25	0.08	0.077701499	68	8	0.03	0.25436345	0.29516321	0.00373816	1.2565655	0.00189561	0.8	0.5	1.70391085	0.20340391	2.03339049	10	0.12	
21	206	21i-024	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.033	-10.135	277240.766	8878965.73	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.496391636	0.15	0.082671997	15	13	1.11	1	2	0.02	1.31042096	0.0020734	1.9	1.3	1.74232192	0.21597302	2.15263503	6.24686304	0.12	
22	207	21i-025	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.027	-10.143	277903.969	8878084.79	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.545793928	0.00508883	0.087749166	19	2.4173295	0.91	0.27567117	1	0.02	1.36528825	0.00225289	0.9	1.3	1.78053976	0.22893994	2.2714205	12	0.04	
23	208	21i-026	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.037	-10.189	276839.793	8872988.94	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	10	0.005928302	0.092922367	6	13	0.05	0.2972049	0.35777934	0.00418953	1.42126383	0.00243474	0.9	0.6	1.81864828	0.24233095	2.39017015	13	0.01	
24	209	21i-027	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.027	-10.195	277939.917	8872332.03	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.597991461	0.08	0.3	23	17	0.11	5	9	0.01	8	0.00261953	1.6	1.4	1.85672466	0.25617687	2.50924466	6.37188731	0.01	
25	210	21i-028	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.021	-10.195	278597.481	8872336.51	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.653164374	0.09	0.098209432	2.37613209	10	1	0.31903424	4	0.03	5	0.00280776	2.7	1.4	1.89484097	0.27050794	2.62895987	6.49349551	0.02	
26	211	21i-029	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.166	-10.118	262648.866	8880752.54	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	33	0.11	0.103620855	16	8	0.98	0.34122035	0.41877343	0.03	1.47844596	0.04	3.8	0.9	1.93306543	0.374959928	6.61225057	0.06	0.3	
27	212	21i-030	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.159	-10.156	263444.169	8876553.37	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.711506712	0.14	0.7	18	10	0.25	0.36381883	0.47916775	0.02	5	0.01	2.5	0.9	1.97146353	0.28535678	2.87142317	11	0.03	
28	213	21i-031	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.076	-10.23	272594.607	8868425.81	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	17	0.006783147	0.5	36	8	2.75	4	13	0.02	1.53693569	0.00299991	2.5	0.6	2.01009895	0.30075817	2.99467545	11	0.11	
29	214	21i-032	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.088	-10.204	271260.976	8871293.82	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.773228058	0.007658179	0.5	55	2.51348552	2.08	3	8	0.02	5	0.00319642	2.3	0.6	2.04903443	0.31674932	3.119589	6.72862235	0.13	
30	215	21i-033	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.076	-10.236	272598.882	8867762.01	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.838555302	0.008557188	0.109167163	26	21	0.07	0.38688168	3	0.02	1.59683788	0.00339771	0.9	0.7	2.08833242	0.33337023	3.24638989	13	0.21	
31	219	21i-037	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.128	-10.048	266764.365	8885254.51	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	17	0.009483383	0.3	54	2.60925024	15.1	12	98	0.02	7	0.03	1.6	0.8	2.12805591	0.35066404	3.37530092	6.84300961	0.3	
32	220	21i-038	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.116	-10.074	268098.738	8885656.5	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.907734604	0.001681575	0.114859046	57	2.70488236	15.1	4	87	0.03	1.65826215	0.03	3.4	0.9	2.16826901	0.36867744	3.50654464	16	0.59	
33	221	21i-039	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.116	-10.074	268098.738	8885656.5	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.981033572	0.06	0.120707483	9	2.80061147	15.1	7	54	0.05	1.72132391	0.03	1.5	0.8	2.20903765	0.38746113	3.64034598	6.9557561	0.29	
34	225	21i-043	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.167	-10.215	262610.916	8870019.8	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	1.058743707	0.05	0.126723851	24	2.8966453	0.79	0.41045872	0.53958278	0.05	1.78614538	0.09	13.7	0.7	2.25043029	0.40707637	12	12	0.02	
35	226	21i-044	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.167	-10.215	262610.916	8870019.8	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	1.141183166	0.08	0.132920039	9	2.99317526	1.16	0.43459866	0.60043973	0.04	1.85285675	0.09	15.8	0.7	2.29251862	0.42756537	3.77693469	7.06716242	0.03	
36	227	21i-045	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.183	-10.212	260855.118	8870339.91	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	17	0.002770357	0.2	6	3.09038076	1.36	0.45934998	0.6620497	0.04	1.92159736	0.09	12.8	0.7	11	0.44901237	3.91654769	17	0.01	
37	229	21i-047	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.143	-10.141	265187.079	8878224.55	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	1.228699892	0.001741575	0.139308549	24	13	0.73	0.48476162	0.72465851	0.07	1.99251706	0.03	2.4	0.7	2.33537832	0.47148401	4.05943129	7.17749514	0.05	
38	230	21i-048	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.135	-10.151	266071.305	8877123.94	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	17	0.002670357	0.145902612	51	3.18843267	0.56	0.51088359	4	0.01										

ANEXO 4: IMPUTACIÓN DE VALORES A LOS DATOS CENSURADOS EN EL DOMINIO DE LOS "SEDIMENTARIOS SILICO-CLÁSTICOS DEL CRETÁCICO INFERIOR" DEL PROYECTO "GE-1: PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA REGIONAL ENTRE LOS PARALELOS 9° Y 10° LATITUD SUR (VERTIENTE ATLÁNTICA)"

ID	ID_original	Código	Dominio	Longitud_X	Latitud_Y	UTM_E	UTM_N	Zona	Nombre del proyecto	Au_ppb	Hg_ppm	Ag_ppm	Ca_pct	Fe_pct	Na_pct	Ti_pct	Zr_ppm	Be_ppm	Hf_ppm	In_ppm	Nb_ppm	W_ppm	S_pct
1	4256	20i-281	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.112842	-9.89748	268320	8905188	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.04050035	0.37	0.37	0.71	5.81	0.02	0.03	1.1	1.3	0.07	0.09	0.9	0.4	0.07
2	4257	20i-282	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.135487	-9.951116	265874	8899238	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.06502067	0.21	0.52	0.63	7.85	0.01	0.00019907	0.7	1.3	0.01923208	0.16	0.09	0.1	0.16
3	4266	20i-258	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.825402	-9.780203	299779	8918347	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.08774763	0.13	0.12	8.16	2.1	0.0002469	0.01	2.6	0.7	0.08	0.00804347	0.36	0.1	0.03
4	4277	20i-173	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.18413	-9.667989	260335	8930528	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.13195618	0.11	0.33	0.17	2.99	0.00043863	0.00027421	1	1	0.02141285	0.11	0.15	0.1	0.1
5	4279	20i-175	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.099682	-9.724214	269644	8924366	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.15414838	0.09	0.05	0.33	2.98	0.00059403	0.00033587	1.3	1	0.07	0.03	0.22	0.00189493	0.15
6	4288	20i-198	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.977873	-9.869122	283107	8908416	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.006668	0.81	2.54	0.39	5.3	0.0006668	0.00039113	0.9	0.7	0.02291977	0.76	0.13	6.7	0.11
7	4289	20i-199	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.940466	-9.964256	287272	8897916	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.17662719	0.14	0.2	1.51	3.15	0.03	0.00044264	0.8	0.8	0.0241208	0.06	0.13	0.4	0.01
8	4304	20i-176	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.062064	-9.746968	273788	8921874	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.19949302	0.13	0.08	0.24	2.43	0.0007378	0.00049174	1	0.5	0.06	0.03	0.13	0.0029865	0.16
9	4316	20i-248	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.814336	-9.791698	301000	8917082	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.22282037	0.18	0.13	3.99	2.68	0.00080769	0.01	4.4	1.1	0.12	0.03	0.24	0.00398329	0.12
10	4338	20i-291	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.102522	-9.92871	269474	8901740	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	8	0.46	0.28	1.62	4.01	0.01	0.00053918	0.9	1	0.07	0.05	0.16	0.1	0.00383723
11	4340	20i-293	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.110189	-9.910241	268620.001	8903778	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.24666836	0.15	0.13	0.54	3.8	0.0008769	0.00058548	0.9	1.2	0.07	0.05	0.34	0.2	0.27
12	4343	20i-201	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.926843	-9.892595	288720	8905852	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	8	0.62	0.96	0.41	3.4	0.02	0.00063098	1.5	0.9	0.02514246	0.12	0.07	2.6	0.04
13	4344	20i-202	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.949128	-9.951893	286314	8899278	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.27108652	0.12	0.08	2.88	2.16	0.01	0.00067593	1.5	0.8	0.09	0.03	0.13	0.00494502	0.29
14	4345	20i-203	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.957859	-9.919119	285335	8902898	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.29611823	0.27	0.55	1.43	1.93	0.03	0.00072052	1.1	0.7	0.06	0.06	0.16	0.2	0.21
15	4352	20i-184	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.985694	-9.840131	282230	8911618	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.32180287	0.19	0.09	0.51	3.17	0.00094575	0.0007649	0.8	0.8	0.06	0.05	0.11	0.00589453	0.07
16	4407	20i-184	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.063754	-9.760987	273612	8920322	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.34817727	0.22	0.1	0.34	3.04	0.00101451	0.0008092	1.2	0.6	0.05	0.04	0.08	0.2	0.19
17	4408	20i-185	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.09679	-9.719242	269957.999	8924918	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	72	0.1	0.07	0.14	2.56	0.00188336	0.00085352	1.1	0.6	0.02604481	0.02	0.17	0.00684357	0.14
18	4421	19i-196	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.923199	-9.477124	288860	8951814	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.37527663	8.92	0.07	1.09	2.29	0.00115247	0.00089794	1.3	0.9	0.02686152	0.03	0.3	0.00779922	0.11
19	4435	20i-285	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.107621	-9.980308	268955	8895394	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	34	0.34	10.1	3.55	5.06	0.00122199	0.00094254	1.2	0.9	0.06	0.87	0.29	1.4	0.28
20	4436	20i-287	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.095653	-9.970893	270257	8897078	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.40313526	0.22	0.12	15.1	1.74	0.02	0.01	1.3	0.3	0.02761355	0.02	0.07	0.1	0.33
21	4455	20i-263	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.820321	-9.712129	300296	8925880	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.43178705	0.12	0.05	0.11	0.83	0.00129202	0.00098738	3.2	0.1	0.06	0.00966346	0.14	0.1	0.12
22	4465	20i-179	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.186428	-9.742723	260136	8922258	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.46126589	0.13	0.1	0.25	5.16	0.00136267	0.00103252	1	1.1	0.02831489	0.05	0.21	0.00876623	0.16
23	4477	19i-202	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.923022	-9.476311	288879	8951904	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	8	4.26	0.08	0.44	1.67	0.00143405	0.01	0.8	0.7	0.02897541	0.03	0.38	0.00974809	0.2
24	4484	20i-272	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.142808	-9.930172	265056	8901550	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.49160598	0.15	0.35	0.25	15.1	0.00150623	0.00107803	0.8	2.8	0.06	0.06	0.08	0.1	0.39
25	4485	20i-277	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.139607	-9.938418	265413.001	8900640	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	6	0.2	0.28	0.18	14.47	0.00157929	0.00112394	0.8	2.2	0.02960235	0.05	0.08	0.0107475	0.21
26	4487	20i-279	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.132724	-9.870627	266120	8908145	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.52284204	1.48	0.17	0.7	4.98	0.00165331	0.01	1.4	1	0.07	0.05	0.98	0.4	0.11
27	4502	20i-236	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.180185	-9.592633	260715	8938868	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	37	0.12	0.15	0.32	3.62	0.00172837	0.0011703	1.2	0.8	0.03020122	0.04	0.16	0.1	0.00529789
28	4504	20i-309	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.948929	-9.892142	286297	8905888	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	20	0.09	0.69	0.08	2.02	0.00180453	0.0012117	2	0.5	0.08	0.05	0.16	0.4	0.00649678
29	4506	20i-240	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.2046	-9.643057	258070	8933272	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.55500096	0.16	0.15	0.1	3.88	0.02	0.03	1.1	1.5	0.03077627	0.03	0.77	0.4	0.06
30	4507	20i-241	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.184523	-9.6186	260257	8935992	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.5881451	0.42	0.16	1.85	2.57	0.02	0.00126457	1.2	0.9	0.03133092	0.05	0.18	0.8	0.13
31	4509	20i-310	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.932273	-9.986686	288185	8895440	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.62228612	0.22	0.14	1.68	4.33	0.05	0.00131255	1.3	1.3	0.08	0.06	0.09	0.1	0.08
32	4513	21i-003	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.93195	-10.00934	288235	8892934	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.65747152	0.16	0.07	0.08	2.72	0.00188186	0.00136116	0.6	0.6	0.03186792	0.04	0.03235403	0.01176668	0.02
33	4515	21i-006	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.93897	-10.01507	287469	8892296	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.69374157	0.18	0.62	7.14	2.97	0.05	0.00141043	1.5	1.2	0.09	0.06	0.1	0.3	0.04
34	4516	21i-011	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.894191	-10.04966	292401	8888498	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.73113811	0.11	0.41	0.13	3.1	0.00196043	0.00146039	1.8	0.7	0.03238954	0.04	0.15	0.01280751	0.11
35	4522	20i-235	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.181426	-9.617156	260596	8936154	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.76970469	0.1	0.09	0.19	2.44	0.02	0.00151109	1.3	0.8	0.03289767	0.04	0.12	0.2	0.06
36	4554	20i-205	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.954255	-9.923244	285733	8902444	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	5	0.25	0.25	3.71	3.16	0.03	0.00156257	0.8	1	0.03339393	0.06	0.15	0.5	0.34
37	4555	20i-207	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.942556	-9.902774	287003	8904716	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.80948672	0.31	0.2	1.74	3.37	0.02	0.00161486	1.1	0.9	0.03387967	0.06	0.1	0.1	0.21
38	4556	20i-208	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.950108	-9.948091	286204	8899698	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.85053159	0.18	0.15	1.38	3.45	0.02	0.00166801	0.8	0.8	0.04356069	0.06	0.09	0.1	0.16
39	4557	20i-209	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.960203	-9.934617	285088	8901182	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.89288887	0.31	0.3	14.08	2.62	0.05	0.02	1.6	1.5	0.07	0.05	0.65	0.9	0.27
40	4559	20i-215	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-76.891984	-9.989973	292605	8895102	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.93661041	0.16	0.06	0.21	2.49	0.03	0.00172205	1.5	0.5	0.05	0.04	0.1	0.01387169	0.21
41	4567	20i-162	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.060293	-9.75826	273990	8920626	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	1.02836626	0.33	0.1	0.34	3.44	0.0020403	0.0017702	1.5	0.8	0.1	0.05	0.17	0.01496075	0.13
42	4600	20i-221	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.18795	-9.658583	259908.999	8931566	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	1.07651737	0.49	0.34	0.06	2.49	0.00212154	0.01	0.9	0.7	0.03482422	0.08	0.36	0.4	0.43
43	4605	20i-193	Sedimentarios silico-clástico del Cretáceo inferior	-77.179198	-9.665851	260875</																	

ANEXO 5: IMPUTACIÓN DE VALORES A LOS DATOS CENSURADOS EN EL DOMINIO DE LOS "SEDIMENTARIOS CARBONATADOS DEL CRETÁCICO" DEL PROYECTO "ESTUDIOS DE LOS RECURSOS MINERALES DEL PERÚ, FRANJA 4"

ID	ID_original	Código	Dominio	Longitud_X	Latitud_Y	UTM_E	UTM_N	Zona	Nombre del proyecto	Au_ppb	Hg_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Ca_pct	Cd_ppm	La_ppm	Mo_ppm	Na_pct	Sb_ppm	Sc_ppm	Ti_pct	Zr_ppm	Be_ppm	Ga_ppm	Tl_ppm	W_ppm	Sn_ppm	
1	459	21j-015	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.75338	-10.19774	307926.453	8872204.12	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.073674548	0.006358621	0.3	7	0.037937808	15.1	0.17764822	1.9	3	0.01				1.3	0.459771014	0.667433912	0.046534118	0.000630876	0.295668543	
2	460	21j-016	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.74368	-10.18082	308979.269	8874081.42	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	1.450328128	0.19	0.2	16	0.049101721	15.1	0.194029056	2	5	0.01	1.878573813		1	0.00482548	1.4	0.264540496	0.798880116	0.064809455	0.001343499	0.360055854
3	461	21j-017	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.74793	-10.22227	308538.325	8869493.99	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		75	0.004300113	0.2	0.997381263	15.1	0.096139878	1.4	0.855263437		0.02	6	0.7	0.00716501	0.6	0.227837325	0.89969017	0.080481304	0.002198687	0.409311274
4	462	21j-018	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.75643	-10.1984	307592.64	8872129.29	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	2.749781877	1.7	0.03173258	42	0.06057745	8.31	0.392146955	6.2	7	0.02	8	1.3	0.00742955	1.7	0.474218297	0.984645493	0.095121732	0.00321198	0.451701409	
5	463	21j-019	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.72771	-10.15318	310713.012	8877148.12	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		10	0.44	0.043410962	5	0.073507799	15.1	0.161509007	3.4	3	0.004748931	7	0.9	0.00224376	3.3	0.445988983	1.061083033	0.109328397	0.00440036	0.490182742
6	464	21j-020	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.72874	-10.15016	310598.357	8877481.56	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		125	21	2	25	0.080643083	7.11	0.573698645	6.2	7	0.02	10	1.3	0.01	2.9	0.420072892	1.132021144	0.123415478	0.00578359	0.52620496
7	465	21j-021	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.73794	-10.16332	309597.897	8876020.52	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		17	0.25	0.053214715	1.295058556	0.087595548	15.1	0.129433946	1.5	2	0.005514622	8	0.9	0.00270906	1.4	0.384297484	1.199292117	0.137582421	0.007384696	0.56060872
8	466	21j-022	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.74537	-10.13564	308767.217	8879077.92	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		17	0.05	0.062216949	1.865275504	0.094432905	15.1	0.282966736	10.8	1	0.006076485	5	2.7	0.00306242	4.4	0.7	1.264012467	0.151974208	0.009230456	0.593938075
9	478	21j-034	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.78611	-10.03903	304243.79	8889740.2	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		17	0.31	0.070819139	6	0.101278971	15.1	0.113107012	1.7	0.7	0.00336495	10	0.7	0.00336495	1.6	0.198014902	1.326970413	0.166708048	12	0.626574853
10	479	21j-035	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.78675	-10.03894	304173.571	8889749.78	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		17	0.22	0.2	6	0.108723209	15.1	0.145491561	3.1	4	0.01	9	0.8	0.00504924	1.9	0.213795723	1.388747472	0.181887142	0.011351983	0.658805064
11	480	21j-036	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.77619	-10.03464	305328.72	8890231.7	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.563152881	0.11	0.079226754	22	0.116268769	15.1	0.245631684	7.5	2	0.02	3.765804508		2.2	0.01	2.2	0.5	1.440979561	0.197608754	0.013785461	0.690855193
12	481	21j-037	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.76599	-10.05492	306459.044	8887994.48	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.940344092	0.14	0.3	0.666246635	0.122952589	15.1	0.077814643	0.6	2	0.01	14	0.475799698	0.00527253	0.9	0.179211851	1.571118634	0.21396957	0.01657306	0.722913674	
13	482	21j-038	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.76525	-10.05406	306539.656	8888090.04	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		25	0.08	0.087565039	11	0.129152569	15.1	0.210759596	3.3	5	0.02	16	1.5	0.007709402	1.8	0.395887038	1.571118634	0.231067951	0.019764069	0.755144484
14	516	21j-072	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.92901	-10.17543	288665.861	8874562.59	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.367587334	0.05	0.3	18	0.138930167	11.75	0.537812511	8.7	1	0.04	0.071185408		0.02	1.5	0.6	1.631979417	0.249016406	0.023416396	0.787696319	
15	517	21j-073	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.92554	-10.16508	289039.358	8875709.81	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		10	0.42	0.4	8	0.143618461	13.49	0.444759206	5.6	4	0.02	7	2.6	0.00798987	1.5	0.6	1.683314918		0.027759783	0.820709172
16	518	21j-074	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.92783	-10.16118	288785.816	8876139.75	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	1.093439573	0.14	0.4	44	0.151616124	0.12	3	0.8	4	0.006961622	7	1.6	0.00363842	2	0.8	1.756381058	5	0.032389415	0.854319398	
17	519	21j-075	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.92668	-10.12391	288887.427	8880263.43	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	1.262804382	0.15	0.3	8	0.159671259	8.16	2	10.5	6	0.01	4.548064083	4.2	0.00549648	1.9	2	1.818347748	0.26792697	0.037886625	0.888663902	
18	525	21j-081	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.84324	-10.00012	297956.277	8894009.75	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	1.88888628	0.28	0.3	6	0.167812202	7.12	0.753426757	6.2	2	0.02	0.407185408	4.1	0.02	2.4	0.6	1.882052167	2	0.044204908	0.932883876	
19	528	21j-084	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.7916	-10.22363	303754.259	8869317.31	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	7.318194814	8.7	0.4	5	0.17638237	9.42	0.70180736	2.1	4	0.01	3.614982328	2.1	0.00572214	2.2	0.240760203	1.948060563	0.287932778	1.1	0.960128422	
20	529	21j-085	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.77225	-10.19832	305859.077	8872128.68	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	2.430983443	0.87	0.09592016	1.581484947	0.185339185	10.35	0.263947437	2.5	2	0.01	2.683409827	1.8	0.00595047	1.4	0.252919225	2.015267527	0.309183188	0.051481929	0.997558292	
21	530	21j-086	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.76541	-10.24424	306636.369	8867053.36	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	5.699598027	2.2	0.4	53	0.194705146	6.73	0.50457592	4.9	3	0.01	2.32488095	1.6	0.00618239	1.4	0.35096172	2.084384783	3	0.059885584	1.036350022	
22	531	21j-087	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.74941	-10.18551	308354.163	8873559.26	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		133	5.8	1.2	37	0.204544112	4.85	0.417658749	2.1	2	0.02	12	1.4	0.01	1.9	0.275779781	2.156966555	5	0.069620836	1.076700709
23	606	21j-210	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.96512	-10.23336	284747.308	8868130.24	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.137852289	0.008576857	0.2	43	0.21491787	5.9	2	12.7	19	0.02	4.885969161	4.2	0.00828873	1.8	0.9	2.25916447	0.331850492	0.080940324	1.11883377	
24	608	21j-212	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.93862	-10.04106	287524.347	8889420.86	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	1.658184642	0.22	0.3	3	0.225898118	4.65	1	4.4	6	0.007342772	4.227016498	2.5	0.00389349	1.7	0.5	2.306195688	0.356136109	0.094158367	1.163006089	
25	609	21j-213	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.93962	-10.04061	287414.412	8889470	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.207231702	0.002349854	0.2	3	0.237569002	15.1	0.056224947	0.650067924	0.677609632	0.01	1.560835326	0.5	0.00641884	0.5	0.153736713	2.386132798	0.382278495	0.109670099	1.20951714	
26	610	21j-214	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.94268	-10.02673	287069.835	8891003.47	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.460501428	0.05	0.9	47	0.250030433	9.07	1	10.1	9	0.01	4.548064083	3.4	0.00666076	1.6	0.8	2.469786203	0.41056355	10	1.258720888	
27	615	21j-219	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.83105	-10.21972	299429.214	8869725.57	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		100	0.5	0.2	5	0.263402503	2.25	0.655138277	1.9	5	0.007699996	2.84782665	1.8	0.01	1.8	0.318858584	2.957898934	3	0.127978003	1.31104167
28	616	21j-220	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.82268	-10.20001	300334.047	8871911.03	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.283469296	0.010981997	0.104357227	4	0.277831481	4.01	0.302782215	3.3	4	0.02	3.006472105	1.8	0.02	1.1	0.329494793	2.650474318	0.441338598	0.149729379	1.366995864	
29	618	21j-222	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.7937	-10.17348	303493.402	8874863.43	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	2.145350662	0.71	0.7	16	0.25348912	3.91	0.323493255	1.4	4	0.02	2.119923066		1.5	0.02	2	0.286751181	2.746895498	3	0.175770319	1.427222129
30	619	21j-223	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.7942	-10.17284	303438.216	8874933.92	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	3.957026242	2.1	1.7	88	0.310262947	1.21	1	4.4	8	0.008040109		9	1.8	0.00413631	1.6	3.401818092	2.853862844	0.475031562	0.207225199	1.492524725
31	620	21j-224	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.88627	-10.17297	293348.307	8874862.28	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.801867896	0.13	0.3	3	0.320615889	5.42	3	6	6	0.02	4.734565125	3.8	0.01	1.8	0.8	2.968511137	0.512177859	0.245616796	1.563937365	
32	621	21j-225	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.88598	-10.17026	293378.345	8875162.25	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	0.676563259	0.12	0.3	10	0.356231901	5.25	2	6.3	7	0.02	4.885969161	3.8	0.01	2.2	0.8	3.088254793	0.553459074	0.29305118	1.642820516	
33	624	21j-228	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.82106	-10.15812	300485.53	8876545.8	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.		42	0.14	0.6	23	0.374201540	1.63	0.473652111	3.6	4	0.008367775	2.8	0.00437088	1.3	0.5	3.220906912	0.352528569	1.731015376		
34	625	21j-229	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.79837	-10.13459	302957.815	8879162.45	18	Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.	3.106465556	1.7	0.2	3	0.401212127	15.1	0.345208399	3.3	0.99999	0.01	4.38576652	2.8	0.01	1.4	0.489437735	3.368482423	0.599760135	0.428427421	1.831100942	
35	626	21j-230	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.83569	-10.11992																								

ANEXO 6: IMPUTACIÓN DE VALORES A LOS DATOS CENSURADOS EN EL DOMINIO DE LOS "SEDIMENTARIOS CARBONATADOS DEL CRETÁCICO" DEL PROYECTO "GE-1: PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA REGIONAL ENTRE LOS PARALELOS 9° Y 10° LATITUD SUR (VERTIENTE ATLÁNTICA)"

ID	ID_original	Código	Dominio	Longitud_X	Latitud_Y	UTM_E	UTM_N	Zona	Nombre del proyecto	Au_ppb	Ca_pct	Na_pct	Ti_pct	Hf_ppm	In_ppm	Nb_ppm	W_ppm	S_pct
1	4276	20-172	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.136204	-9.775165	265670.9995	8918704	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	2.86511621	0.63	0.01	0.003153883	0.09	0.04	0.26	0.1	0.38
2	4466	20-180	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.132933	-9.780988	266033.9999	8918062	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	1.777446291	15.1	0.01	0.02	0.02	0.09	0.06	0.33	0.2
3	4887	20-186	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.124977	-9.799405	266920.0002	8916030	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	1.672118206	14.89	0.04	0.02	0.07	0.04	0.21	0.2	0.009072598
4	4508	20-247	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.017337	-9.497214	278534	8949533	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	26	8.96	0.01	0.007108207	0.07	0.04	0.41	2.4	0.11
5	4518	20-250	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.01848	-9.521235	278423.9996	8946865	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	22	6.51	0.03	0.006032477	0.09	0.06	0.35	2.2	0.00499119
6	4694	20-264	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.017705	-9.871651	278739.0001	8908110	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	10	11.84	0.11	0.02	0.09	0.29	0.78	2.7	0.1
7	4696	20-266	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.026807	-9.846992	277723.9995	8910832	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	7	0.4	0.02	0.002690999	0.08	0.05	0.16	0.1	0.03
8	4697	20-267	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.020892	-9.852089	278383.0001	8909168	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	34	5.36	0.03	0.006676394	0.04	0.04	0.5	0.4	0.03
9	4775	20-272	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.072957	-9.932081	272234.9996	8902690	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	5	15.1	0.15	0.04	0.07	0.08	1.03	0.4	0.22
10	4486	20-278	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.082771	-9.876064	271604.0001	8907578	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	1.578374639	15.1	0.001890128	0.01	0.08	0.06	0.1	0.1	0.04
11	4255	20-280	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.063381	-9.944302	273777.9999	8900042	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	29	15.1	0.08	0.04	0.05	0.83	0.98	7.2	0.01
12	4293	20-288	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.063201	-9.947539	273800.0005	8989684	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	397	10.77	0.15	0.06	0.05	0.13	1.87	5.3	0.19
13	4295	20-290	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.071463	-9.89555	272857.9999	8905430	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	2.107424232	15.1	0.01	0.01	0.12	0.08	0.2	0.2	0.11
14	4341	20-300	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.063574	-9.840876	273686.0004	8911484	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	45	1.05	0.001101694	0.003820158	0.03707598	0.21	0.15	0.5	0.05
15	4342	20-302	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-77.003317	-9.94313	280365.0002	8900212	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	6	13.81	0.2	0.04	0.09	0.1	1.56	3	0.14
16	4763	20-001	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.998124	-9.506662	280649.9995	8948500	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.262620415	15.1	0.05	0.02	0.046891114	0.02	0.42	0.007290389	0.07
17	4765	20-005	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.88542	-9.640667	293107.9998	8937346	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.286610188	8.44	0.03	0.01	0.07	0.03	0.16	0.008040951	0.04
18	4710	20-014	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.88929	-9.639436	292722.0002	8933880	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	9	10.94	0.05	0.01	0.06	0.03	0.4	0.013965106	0.09
19	4537	20-176	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.900225	-9.829485	291599.9996	8912850	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.426804308	9.2	0.02	0.0072917	0.09	0.05	0.1	0.1	0.22
20	4794	20-177	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.96423	-9.790882	284553.0004	8917080	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.158168181	2.97	0.00506703	0.004597606	0.07	0.03	0.15	0.003977059	0.11
21	4795	20-178	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.994617	-9.70859	281165.0001	8926164	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	1.251963171	1.66	0.02	0.00421881	0.07	0.04	0.15	0.037326841	0.22
22	4796	20-179	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.926683	-9.833765	288700.0001	8912360	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.641326094	8.28	0.005334495	0.002279949	0.045400216	0.04	0.031197492	0.020852738	0.27
23	4797	20-180	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.985435	-9.674853	282150.9995	8929902	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	1.049763911	8.44	0.01	0.01	0.09	0.05	0.43	0.2	0.11
24	4798	20-181	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.961072	-9.794733	284902.0003	8916656	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.683892162	2.76	0.03	0.004410138	0.09	0.05	0.07	0.024988707	0.41
25	4800	20-183	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.949891	-9.755927	286103.9999	8920956	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	6	6.05	0.03	0.01	0.14	0.05	0.17	0.2	0.21
26	4349	20-185	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.931589	-9.795515	289859.9998	8916958	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.826903192	14.77	0.03	0.01	0.1	0.04	0.12	0.030184288	0.12
27	4350	20-187	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.930189	-9.794315	289384.0002	8917828	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.582177298	14.03	0.01	0.01	0.1	0.04	0.21	0.1	0.07
28	4351	20-188	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.930422	-9.825512	291137.0004	8917004	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.52904407	14.98	0.04	0.02	0.04	0.12	0.1	0.1	0.03
29	4281	20-189	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.974812	-9.702865	283334.9997	8926810	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.726008503	15.1	0.03	0.01	0.09	0.04	0.33	0.2	0.12
30	4282	20-190	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.939471	-9.792995	287270.9998	8916862	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.365741378	10.73	0.02	0.007864022	0.09	0.04	0.16	0.010730976	0.1
31	4283	20-191	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.980028	-9.68811	282753.0003	8928439	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	1.113619591	13.92	0.03	0.01	0.09	0.04	0.43	0.1	0.26
32	4284	20-192	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.883994	-9.849211	293393.0004	8910678	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.394709459	13.33	0.03	0.01	0.08	0.04	0.11	0.011743959	0.1
33	4285	20-194	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.963964	-9.726955	284541.0003	8924152	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	8	8.38	0.03	0.006745619	0.07	0.04	0.16	0.026106743	0.14
34	4286	20-197	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.945564	-9.979537	286679	8986222	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	2.511912819	9.57	0.05	0.03	0.08	0.08	0.82	0.4	0.11
35	4290	20-200	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.987135	-9.941943	282138.9999	8900354	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	6	15.1	0.12	0.03	0.08	0.06	1.11	3.3	0.06
36	4533	20-204	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.887802	-9.863346	292983.9996	8909112	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	295	0.83	0.002214495	0.003388842	0.049625623	0.13	0.06	17.7	0.22
37	4558	20-213	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.872038	-9.901601	294736.9996	8904890	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.465890301	15.1	0.06	0.02	0.12	0.04	0.22	0.012820749	0.19
38	4834	20-216	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.941565	-9.648853	286950.0003	8932806	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.018987246	15.1	0.05	0.01	0.07	0.009808046	0.13	0.000321876	0.15
39	4836	20-218	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.922288	-9.676135	289082.9997	8929800	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.006095729	15.1	0.07	0.01	0.07	0.010359351	0.1	0.001277338	0.005053229
40	4837	20-220	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.898026	-9.734433	291782.0003	8923366	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.122731729	15.1	0.03	0.01	0.07	0.011085296	0.12	0.002480583	0.006307998
41	4838	20-221	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.869635	-9.90062	294999.9999	8905000	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.140042163	1.41	0.006206498	0.004022592	0.06	0.03	0.11	0.002994751	0.007049502
42	4839	20-222	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.942922	-9.648827	286800.9995	8932808	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.311754098	15.1	0.05	0.008837098	0.11	0.03	0.1	0.008882635	0.1
43	4846	20-223	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.873587	-9.862829	294542.9996	8909178	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.217888114	5.69	0.04	0.005854328	0.07	0.04	0.11	0.008812748	0.05
44	4848	20-224	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.889515	-9.781181	292745.0001	8918200	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.765216485	15.1	0.04	0.02	0.07	0.011799886	0.11	0.001648365	0.05
45	4893	20-226	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.916328	-9.703035	289753.9999	8926828	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.080371172	15.1	0.04	0.009914269	0.08	0.02	0.09	0.002040993	0.009789141
46	4801	20-227	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.873763	-9.893817	294543.0001	8905750	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.075216485	15.1	0.03	0.003231399	0.05	0.04	0.09	0.004548638	0.11
47	4802	20-228	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.861524	-9.840567	294543.0005	8911648	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.177154559	15.1	0.07	0.02	0.08	0.006723922	0.1	0.004548638	0.11
48	4804	20-231	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.913324	-9.713158	290090.0001	8925710	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.186191041	15.1	0.02	0.01	0.07	0.002741828	0.08	0.000617298	0.24
49	4811	20-232	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.871503	-9.924566	294810	8902350	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	7	11.45	0.005621408	0.02	0.13	0.04	0.37	0.015181069	0.22
50	4813	20-234	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.889678	-9.756844	292712.0002	8920892	18	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)	0.466993153	15.1	0.02	0.03	0.07	0.005322494	0.22	0.000934336	0.06
51	4815	20-238	Sedimentarios carbonatados del Cretácico	-76.867272	-9.939036	295282.9998												

ANEXO 7: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS SEDIMENTARIOS SILICO - CLÁSTICOS DEL CRETÁCICO INFERIOR

SEDIMENTARIOS SILICO-CLÁSTICO DEL CRETÁCICO INFERIOR								
Elemento	Prueba de normalidad							
	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)				Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4			
	Kolmogorov - Smirnov ^a				Kolmogorov - Smirnov ^a			
	Statistic	df	Sig.	Resultado	Statistic	df	Sig.	Resultado
Ag (ppm)	0.374	103	0.000	No hay ajuste	0.253	66	0.000	No hay ajuste
LnAg (ppm)	0.128	103	0.000	No hay ajuste	0.089	66	0.200*	Log normal
Al (pct)	0.086	103	0.046	No hay ajuste	0.122	66	0.016	No hay ajuste
LnAl (pct)	0.060	103	0.200*	Log normal	0.083	66	0.200*	Log normal
As (ppm)	0.299	103	0.000	No hay ajuste	0.200	66	0.001	No hay ajuste
LnAs (ppm)	0.110	103	0.003	No hay ajuste	0.092	66	0.200*	Log normal
Au (ppb)	0.321	103	0.000	No hay ajuste	0.348	66	0.000	No hay ajuste
LnAu (ppb)	0.050	103	0.200*	Log normal	0.058	66	0.200*	Log normal
Ba (ppm)	0.299	103	0.000	No hay ajuste	0.189	66	0.000	No hay ajuste
LnBa (ppm)	0.076	103	0.157	Log normal	0.077	66	0.200*	Log normal
Be (ppm)	0.201	103	0.000	No hay ajuste	0.164	66	0.000	No hay ajuste
LnBe (ppm)	0.166	103	0.000	No hay ajuste	0.098	66	0.190	Log normal
Bi (ppm)	0.354	103	0.000	No hay ajuste	0.256	66	0.000	No hay ajuste
LnBi (ppm)	0.165	103	0.000	No hay ajuste	0.114	66	0.033	No hay ajuste
Ca (pct)	0.265	103	0.000	No hay ajuste	0.313	66	0.000	No hay ajuste
LnCa (pct)	0.112	103	0.002	No hay ajuste	0.062	66	0.200*	Log normal
Cd (ppm)	0.267	103	0.000	No hay ajuste	0.250	66	0.000	No hay ajuste
LnCd (ppm)	0.077	103	0.119	Log normal	0.121	66	0.018	Log normal
Ce (ppm)	0.095	103	0.018	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnCe (ppm)	0.077	103	0.137	Log normal	NR	NR	NR	NR
Co (ppm)	0.275	103	0.000	No hay ajuste	0.202	66	0.000	No hay ajuste
LnCo (ppm)	0.124	103	0.002	No hay ajuste	0.080	66	0.200*	Log normal
Cr (ppm)	0.319	103	0.000	No hay ajuste	0.190	65	0.000	No hay ajuste
LnCr (ppm)	0.115	103	0.001	No hay ajuste	0.119	65	0.024	No hay ajuste
Cs (ppm)	0.127	103	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnCs (ppm)	0.069	103	0.200*	Log normal	NR	NR	NR	NR
Cu (ppm)	0.419	103	0.000	No hay ajuste	0.249	66	0.000	No hay ajuste
LnCu (ppm)	0.159	103	0.000	No hay ajuste	0.076	66	0.200*	Log normal
LnFe (pct)	0.113	103	0.002	No hay ajuste	0.071	66	0.200*	Log normal
Ga (ppm)	0.106	103	0.004	No hay ajuste	0.538	66	0.000	No hay ajuste
LnGa (ppm)	0.061	103	0.200*	Log normal	0.539	66	0.000	No hay ajuste
Ge (ppm)	NR	103	NR	NR	NR	NR	NR	NR
LnGe (ppm)	NR	103	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Hf (ppm)	0.153	103	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnHf (ppm)	0.099	103	0.011	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
Hg (ppm)	0.400	103	0.000	No hay ajuste	0.429	66	0.000	No hay ajuste
LnHg (ppm)	0.131	103	0.000	No hay ajuste	0.204	66	0.000	No hay ajuste
In (ppm)	0.380	103	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnIn (ppm)	0.201	103	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
K (pct)	0.128	103	0.000	No hay ajuste	0.187	66	0.000	No hay ajuste
LnK (pct)	0.104	103	0.006	No hay ajuste	0.079	66	0.200*	Log normal
La (ppm)	0.112	103	0.002	No hay ajuste	0.133	66	0.005	Normal
LnLa (ppm)	0.059	103	0.200*	Log normal	0.105	66	0.067	Log normal
Li (ppm)	0.109	103	0.003	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnLi (ppm)	0.119	103	0.001	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
Lu (ppm)	0.166	103	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnLu (ppm)	0.100	103	0.010	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
Mg (ppm)	0.172	103	0.000	No hay ajuste	0.134	66	0.005	No hay ajuste
LnMg (ppm)	0.061	103	0.200*	Log normal	0.112	66	0.039	No hay ajuste
Mn (ppm)	0.215	103	0.000	No hay ajuste	0.284	66	0.000	No hay ajuste
LnMn (ppm)	0.065	103	0.200*	Log normal	0.107	66	0.057	Log normal
Mo (ppm)	0.348	103	0.000	No hay ajuste	0.347	66	0.000	No hay ajuste
LnMo (ppm)	0.142	103	0.000	No hay ajuste	0.102	66	0.089	Log normal
Na (pct)	0.294	103	0.000	No hay ajuste	0.245	66	0.000	No hay ajuste
LnNa (pct)	0.088	103	0.037	No hay ajuste	0.177	66	0.000	No hay ajuste
Nb (ppm)	0.200	103	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnNb (ppm)	0.069	103	0.200*	Log normal	0.246	51	0.000	No hay ajuste
Ni (ppm)	0.128	103	0.000	No hay ajuste	0.135	66	0.004	No hay ajuste
LnNi (ppm)	0.048	103	0.200*	Log normal	0.089	66	0.200*	Log normal
P (ppm)	0.131	103	0.000	No hay ajuste	0.203	66	0.000	No hay ajuste
LnP (ppm)	0.046	103	0.200*	Log normal	0.095	66	0.200*	Log normal

Pb (ppm)	0.330	103	0.000	No hay ajuste	0.196	66	0.000	No hay ajuste
LnPb (ppm)	0.178	103	0.000	No hay ajuste	0.058	66	0.200*	Log normal
Rb (ppm)	0.106	103	0.005	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnRb (ppm)	0.063	103	0.200*	Log normal	NR	NR	NR	NR
S (pct)	0.190	103	0.000	No hay ajuste	0.250	66	0.000	No hay ajuste
LnS (pct)	0.107	103	0.004	No hay ajuste	0.083	66	0.200*	Log normal
Sb (ppm)	0.250	103	0.000	No hay ajuste	0.204	66	0.000	No hay ajuste
LnSb (ppm)	0.082	103	0.069	Log normal	0.041	66	0.200*	Log normal
Sc (ppm)	0.056	103	0.200*	Normal	0.142	66	0.002	No hay ajuste
LnSc (ppm)	0.099	103	0.017	No hay ajuste	0.053	66	0.200*	Log normal
Se (ppm)	NR	103	NR	NR	NR	NR	NR	NR
LnSe (ppm)	NR	103	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Sn (ppm)	0.169	103	0.000	No hay ajuste	0.128	66	0.009	No hay ajuste
LnSn (ppm)	0.066	103	0.200*	Log normal	0.067	66	0.200*	Log normal
Sr (ppm)	0.273	103	0.000	No hay ajuste	0.268	66	0.000	No hay ajuste
LnSr (ppm)	0.091	103	0.029	No hay ajuste	0.089	66	0.200*	Log normal
Ta (ppm)	NR	103	NR	NR	NR	NR	NR	NR
LnTa (ppm)	NR	103	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Tb (ppm)	0.013	103	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnTb (ppm)	0.059	103	0.200*	Log normal	NR	NR	NR	NR
Te (ppm)	NR	103	NR	NR	NR	NR	NR	NR
LnTe (ppm)	NR	103	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Th (ppm)	0.136	103	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnTh (ppm)	0.077	103	0.121	Log normal	NR	NR	NR	NR
Ti (pct)	0.234	103	0.000	No hay ajuste	0.304	66	0.000	No hay ajuste
LnTi (pct)	0.058	103	0.200*	Log normal	0.124	66	0.014	No hay ajuste
Tl (ppm)	0.204	103	0.000	No hay ajuste	0.248	66	0.000	No hay ajuste
LnTl (ppm)	0.097	103	0.014	No hay ajuste	0.031	66	0.200*	Log normal
U (ppm)	0.251	103	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnU (ppm)	0.085	103	0.055	Log normal	NR	NR	NR	NR
V (ppm)	0.263	103	0.000	No hay ajuste	0.355	66	0.000	No hay ajuste
LnV (ppm)	0.078	103	0.106	Log normal	0.159	66	0.000	No hay ajuste
W (ppm)	0.396	103	0.000	No hay ajuste	0.173	66	0.000	No hay ajuste
LnW (ppm)	0.122	103	0.000	No hay ajuste	0.037	66	0.200*	Log normal
Y (ppm)	0.120	103	0.001	No hay ajuste	0.104	66	0.076	Normal
LnY (ppm)	0.046	103	0.200*	Log normal	0.107	66	0.058	Log normal
Yb (ppm)	0.119	103	0.001	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnYb (ppm)	0.105	103	0.005	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
Zn (ppm)	0.299	103	0.000	No hay ajuste	0.198	66	0.000	No hay ajuste
LnZn (ppm)	0.079	103	0.090	Log normal	0.128	66	0.009	No hay ajuste
Zr (ppm)	0.202	103	0.000	No hay ajuste	0.285	66	0.000	No hay ajuste
LnZr (ppm)	0.106	103	0.004	No hay ajuste	0.150	66	0.001	No hay ajuste

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 8: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS SEDIMENTARIOS CARBONATADOS DEL CRETÁCICO

SEDIMENTARIOS CARBONATADOS DEL CRETÁCICO								
Elemento	Prueba de normalidad							
	GE-1: Prospección Geoquímica Regional entre los Paralelos 9° y 10° Latitud Sur (Vertiente Atlántica)				Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N° 4.			
	Kolmogorov - Smirnov ^a				Shapiro - Wilk			
	Statistic	df	Sig.	Resultado	Statistic	df	Sig.	Resultado
Ag (ppm)	0.375	89	0.000	No hay ajuste	0.686	40	0.000	No hay ajuste
LnAg (ppm)	0.157	89	0.000	No hay ajuste	0.984	40	0.832	Log normal
Al (pct)	0.088	89	0.159	Normal	0.908	40	0.003	No hay ajuste
LnAl (pct)	0.103	89	0.028	No hay ajuste	0.949	40	0.072	Log normal
As (ppm)	0.232	89	0.000	No hay ajuste	0.791	40	0.000	No hay ajuste
LnAs (ppm)	0.129	89	0.001	No hay ajuste	0.975	40	0.500	Log normal
Au (ppb)	0.426	89	0.000	No hay ajuste	0.562	40	0.000	No hay ajuste
LnAu (ppb)	0.098	89	0.044	No hay ajuste	0.986	40	0.897	Log normal
Ba (ppm)	0.159	89	0.000	No hay ajuste	0.847	40	0.000	No hay ajuste
LnBa (ppm)	0.067	89	0.200*	Log normal	0.974	40	0.477	Log normal
Be (ppm)	0.144	89	0.000	No hay ajuste	0.918	40	0.007	No hay ajuste
LnBe (ppm)	0.147	89	0.000	No hay ajuste	0.984	40	0.828	Log normal
Bi (ppm)	0.350	89	0.000	No hay ajuste	0.883	40	0.001	Normal
LnBi (ppm)	0.101	89	0.033	No hay ajuste	0.992	40	0.990	Log normal
Ca (pct)	0.194	89	0.000	No hay ajuste	0.86	40	0.000	No hay ajuste
LnCa (pct)	0.252	89	0.000	No hay ajuste	0.748	40	0.000	No hay ajuste
Cd (ppm)	0.233	89	0.000	No hay ajuste	0.743	40	0.000	No hay ajuste
LnCd (ppm)	0.056	89	0.200*	Log normal	0.984	40	0.843	Log normal
Ce (ppm)	0.138	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnCe (ppm)	0.066	89	0.200*	Log normal	NR	NR	NR	NR
Co (ppm)	0.230	89	0.000	No hay ajuste	0.757	40	0.000	No hay ajuste
LnCo (ppm)	0.136	89	0.001	No hay ajuste	0.949	40	0.070	Log normal
Cr (ppm)	0.113	89	0.009	No hay ajuste	0.855	40	0.000	No hay ajuste
LnCr (ppm)	0.056	89	0.200*	Log normal	0.97	40	0.356	Log normal
Cs (ppm)	0.156	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnCs (ppm)	0.120	89	0.004	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
Cu (ppm)	0.330	89	0.000	No hay ajuste	0.963	40	0.213	Normal
LnCu (ppm)	0.068	89	0.200*	Log normal	0.915	40	0.005	No hay ajuste
Fe (pct)	0.077	89	0.200*	Normal	0.827	40	0.000	No hay ajuste
LnFe (pct)	0.161	89	0.000	No hay ajuste	0.874	40	0.000	No hay ajuste
Ga (ppm)	0.086	89	0.188	Normal	0.953	40	0.095	Normal
LnGa (ppm)	0.106	89	0.022	No hay ajuste	0.987	40	0.908	Log normal
Ge (ppm)	NR	89	NR	NR	NR	NR	NR	NR
LnGe (ppm)	NR	89	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Hf (ppm)	0.146	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnHf (ppm)	0.144	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
Hg (ppm)	0.364	89	0.000	No hay ajuste	0.428	40	0.000	No hay ajuste
LnHg (ppm)	0.198	89	0.000	No hay ajuste	0.966	40	0.261	Log normal
In (ppm)	0.310	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnIn (ppm)	0.132	89	0.001	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
K (pct)	0.117	89	0.006	No hay ajuste	0.931	40	0.017	No hay ajuste
LnK (pct)	0.103	89	0.029	No hay ajuste	0.975	40	0.507	Log normal
La (ppm)	0.148	89	0.000	No hay ajuste	0.914	40	0.005	No hay ajuste
LnLa (ppm)	0.059	89	0.200*	Log normal	0.959	40	0.156	Log normal
Li (ppm)	0.127	89	0.002	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnLi (ppm)	0.062	89	0.200*	Log normal	NR	NR	NR	NR
Lu (ppm)	0.133	89	0.001	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnLu (ppm)	0.120	89	0.004	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
Mg (ppm)	0.119	89	0.005	No hay ajuste	0.926	40	0.012	No hay ajuste
LnMg (ppm)	0.083	89	0.200*	Log normal	0.949	40	0.069	Log normal
Mn (ppm)	0.208	89	0.000	No hay ajuste	0.854	40	0.000	No hay ajuste
LnMn (ppm)	0.121	89	0.004	No hay ajuste	0.968	40	0.311	Log normal
Mo (ppm)	0.370	89	0.000	No hay ajuste	0.784	40	0.000	No hay ajuste
LnMo (ppm)	0.151	89	0.000	No hay ajuste	0.957	40	0.134	Log normal
Na (pct)	0.226	89	0.000	No hay ajuste	0.786	40	0.000	No hay ajuste
LnNa (pct)	0.137	89	0.000	No hay ajuste	0.873	40	0.000	No hay ajuste
Nb (ppm)	0.233	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnNb (ppm)	0.096	89	0.053	Log normal	NR	NR	NR	NR
Ni (ppm)	0.190	89	0.000	No hay ajuste	0.978	40	0.601	Normal
LnNi (ppm)	0.101	89	0.034	No hay ajuste	0.908	40	0.003	No hay ajuste
P (ppm)	0.150	89	0.000	No hay ajuste	0.956	40	0.118	Normal
LnP (ppm)	0.065	89	0.200*	Log normal	0.948	40	0.063	Log normal

Pb (ppm)	0.292	89	0.000	No hay ajuste	0.808	40	0.000	No hay ajuste
LnPb (ppm)	0.145	89	0.000	No hay ajuste	0.983	40	0.809	Log normal
Rb (ppm)	0.065	89	0.200*	Normal	NR	NR	NR	NR
LnRb (ppm)	0.079	89	0.200*	Log normal	NR	NR	NR	NR
S (pct)	0.148	89	0.000	No hay ajuste	0.937	40	0.027	No hay ajuste
LnS (pct)	0.117	89	0.006	No hay ajuste	0.961	40	0.180	Log normal
Sb (ppm)	0.306	89	0.000	No hay ajuste	0.893	40	0.001	No hay ajuste
LnSb (ppm)	0.105	89	0.023	No hay ajuste	0.985	40	0.867	Log normal
Sc (ppm)	0.083	89	0.200*	Normal	0.927	40	0.013	No hay ajuste
LnSc (ppm)	0.106	89	0.020	No hay ajuste	0.959	40	0.154	Log normal
Se (ppm)	NR	89	NR	NR	NR	NR	NR	NR
LnSe (ppm)	NR	89	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Sn (ppm)	0.217	89	0.000	No hay ajuste	0.654		<0.010	No hay ajuste
LnSn (ppm)	0.117	89	0.006	No hay ajuste	0.969		0.043	Log normal
Sr (ppm)	0.064	89	0.200*	Normal	0.745	40	0.000	No hay ajuste
LnSr (ppm)	0.120	89	0.005	No hay ajuste	0.947	40	0.061	Log normal
Ta (ppm)	NR	89	NR	NR	NR	NR	NR	NR
LnTa (ppm)	NR	89	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Tb (ppm)	0.127	89	0.002	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnTb (ppm)	0.066	89	0.200*	Log normal	NR	NR	NR	NR
Te (ppm)	NR	89	NR	NR	NR	NR	NR	NR
LnTe (ppm)	NR	89	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Th (ppm)	0.152	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnTh (ppm)	0.065	89	0.200*	Log normal	NR	NR	NR	NR
Ti (pct)	0.275	89	0.000	No hay ajuste	0.813	40	0.000	No hay ajuste
LnTi (pct)	0.167	89	0.000	No hay ajuste	0.951	40	0.079	Log normal
Tl (ppm)	0.214	89	0.000	No hay ajuste	0.685	40	0.000	No hay ajuste
LnTl (ppm)	0.064	89	0.200*	Log normal	0.963	40	0.207	Log normal
U (ppm)	0.329	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnU (ppm)	0.158	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
V (ppm)	0.265	89	0.000	No hay ajuste	0.841	40	0.000	No hay ajuste
LnV (ppm)	0.095	89	0.057	Log normal	0.966	40	0.275	Log normal
W (ppm)	0.388	89	0.000	No hay ajuste	0.397	40	0.000	No hay ajuste
LnW (ppm)	0.123	89	0.003	No hay ajuste	0.986	40	0.889	Log normal
Y (ppm)	0.123	89	0.003	No hay ajuste	0.863	40	0.000	No hay ajuste
LnY (ppm)	0.076	89	0.200*	Log normal	0.926	40	0.012	No hay ajuste
Yb (ppm)	0.170	89	0.000	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
LnYb (ppm)	0.098	89	0.044	No hay ajuste	NR	NR	NR	NR
Zn (ppm)	0.259	89	0.000	No hay ajuste	0.651	40	0.000	No hay ajuste
LnZn (ppm)	0.065	89	0.200*	Log normal	0.932	40	0.019	No hay ajuste
Zr (ppm)	0.119	89	0.005	No hay ajuste	0.848	40	0.000	No hay ajuste
LnZr (ppm)	0.067	89	0.200*	Log normal	0.912	40	0.004	No hay ajuste

* Esto es un límite inferior de la significación verdadera

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 9: DATOS NIVELADOS CON EL MÉTODO ZSCORE (LOG 10) EN EL DOMINIO DE LOS "SEDIMENTARIOS SILICO - CLÁSTICOS DEL CRETÁCICO INFERIOR"

[illegible]

ANEXO 11: CORRELACIÓN DE PEARSON EN EL DOMINIO DE LOS "SEDIMENTARIOS SILICO - CLÁSTICOS DEL CRETÁCICO INFERIOR"

	ZLog-Au_ppb	ZLog-Hg_ppm	ZLog-Ag_ppm	ZLog-Al_pct	ZLog-As_ppm	ZLog-Ba_ppm	ZLog-Bi_ppm	ZLog-Ca_pct	ZLog-Cd_ppm	ZLog-Co_ppm	ZLog-Cr_ppm	ZLog-Cu_ppm	ZLog-Fe_pct	ZLog-K_pct	ZLog-La_ppm	ZLog-Li_ppm	ZLog-Mg_pct	ZLog-Mn_ppm	ZLog-Mo_ppm	ZLog-Na_pct	ZLog-Ni_ppm	ZLog-P_ppm	ZLog-Pb_ppm	ZLog-Sb_ppm	ZLog-Sc_ppm	ZLog-Rb_ppm	ZLog-Sr_ppm	ZLog-Ti_pct	ZLog-V_ppm	ZLog-Y_ppm	ZLog-Zn_ppm	ZLog-Zr_ppm	ZLog-Be_ppm	ZLog-Ce_ppm	ZLog-Cs_ppm	ZLog-Ga_ppm	ZLog-Hf_ppm	ZLog-In_ppm	ZLog-Lu_ppm	ZLog-Nb_ppm	ZLog-Tl_ppm	ZLog-Tb_ppm	ZLog-Th_ppm	ZLog-U_ppm	ZLog-W_ppm	ZLog-Yb_ppm	ZLog-Sn_ppm	ZLog-S_pct
ZLog-Au_ppb	1	0.100	0.186	-0.119	0.099	-0.102	0.204	0.041	0.083	-0.082	-0.245	0.248	-0.087	-0.104	-0.022	-0.024	-0.093	-0.090	0.090	0.014	0.001	0.043	0.092	0.191	-0.090	-0.206	0.065	0.253	-0.047	-0.073	0.064	0.014	-0.079	0.088	-0.044	-0.034	-0.049	0.100	-0.108	0.005	0.129	0.197	0.026	0.110	0.177	0.307	0.049	-0.123
ZLog-Hg_ppm	0.100	1	0.070	-0.076	0.131	0.338	-0.027	0.207	-0.010	-0.037	0.139	-0.039	-0.080	-0.022	-0.002	-0.133	0.140	-0.122	-0.082	-0.080	0.050	0.108	0.010	0.053	0.100	0.010	0.180	0.057	0.047	0.194	0.012	-0.018	-0.078	0.063	0.057	0.112	-0.035	0.139	0.190	0.022	0.151	-0.076	0.153	0.135	-0.018	-0.027	0.006	0.073
ZLog-Ag_ppm	0.186	0.070	1	-0.035	0.372	-0.041	0.322	0.211	0.593	0.026	-0.099	0.293	0.051	-0.184	-0.061	0.152	0.010	0.142	0.342	-0.056	0.156	0.189	0.581	0.609	-0.133	0.150	0.176	-0.025	0.070	0.042	0.495	-0.126	0.027	0.030	0.316	0.221	-0.102	0.667	0.163	0.035	0.369	-0.172	0.071	0.195	0.407	-0.151	0.271	0.107
ZLog-Al_pct	-0.119	-0.076	-0.035	1	0.295	0.445	0.088	0.261	0.335	0.573	0.064	0.225	0.630	0.689	0.524	0.825	0.677	0.523	0.095	0.298	0.365	0.545	0.284	0.068	0.565	0.728	0.300	0.097	0.484	0.561	0.469	0.004	0.757	0.490	0.594	0.484	0.210	0.258	0.457	0.456	0.188	0.062	0.371	0.356	0.095	-0.036	0.254	0.078
ZLog-As_ppm	0.099	0.131	0.372	0.295	1	0.119	0.199	0.211	0.469	0.310	0.086	0.317	0.443	0.000	0.203	0.248	0.255	0.384	0.339	0.027	0.334	0.330	0.485	0.279	0.059	0.086	0.216	0.035	0.302	0.223	0.516	-0.136	0.316	0.074	0.484	0.058	-0.017	0.527	0.161	0.173	0.138	-0.119	0.000	0.211	0.363	-0.142	0.141	0.087
ZLog-Ba_ppm	-0.102	0.338	-0.041	0.445	0.119	1	-0.022	0.304	0.068	0.243	0.238	0.072	0.343	0.445	0.324	0.077	0.528	0.283	-0.045	0.090	0.213	0.330	0.043	-0.020	0.547	0.324	0.286	0.064	0.311	0.558	0.189	0.216	0.402	0.335	0.151	0.334	0.257	0.121	0.568	0.273	0.190	0.010	0.440	0.319	-0.061	-0.057	0.195	0.042
ZLog-Bi_ppm	0.204	-0.027	0.322	0.088	0.199	-0.022	1	-0.114	0.230	0.068	-0.180	0.324	0.101	0.137	-0.069	0.234	-0.059	0.053	0.138	0.016	-0.052	-0.036	0.348	0.412	0.072	0.186	-0.080	-0.101	0.018	-0.191	0.180	-0.091	0.101	0.043	0.336	0.045	-0.218	0.663	0.003	-0.019	0.099	0.019	-0.055	0.190	0.264	0.031	0.252	-0.142
ZLog-Ca_pct	0.041	0.207	0.211	0.261	0.211	0.304	-0.114	1	0.281	-0.164	0.255	0.100	-0.034	0.194	0.343	0.092	0.672	-0.089	0.368	0.392	0.274	0.794	0.007	0.049	0.238	0.291	0.874	0.288	0.689	0.722	0.207	0.302	0.099	0.230	0.123	0.290	0.301	0.055	0.598	0.290	0.253	-0.068	0.391	0.521	0.211	-0.041	0.221	0.206
ZLog-Cd_ppm	0.083	-0.010	0.593	0.335	0.469	0.068	0.230	0.281	1	0.375	-0.003	0.380	0.352	0.090	0.118	0.561	0.173	0.449	0.488	0.020	0.599	0.434	0.631	0.492	0.082	0.430	0.266	0.053	0.337	0.259	0.862	-0.105	0.431	0.239	0.694	0.355	0.000	0.568	0.285	0.191	0.468	-0.053	0.096	0.285	0.402	-0.135	0.232	0.190
ZLog-Co_ppm	-0.082	-0.037	0.026	0.573	0.310	0.243	0.068	-0.164	0.375	1	0.001	0.231	0.778	0.150	0.006	0.548	0.159	0.762	-0.031	-0.101	0.501	0.146	0.338	0.075	0.331	0.316	-0.028	-0.158	0.039	0.143	0.498	-0.169	0.680	0.047	0.601	0.279	-0.011	0.227	0.143	0.169	0.294	0.055	-0.080	0.016	0.108	-0.085	0.076	0.037
ZLog-Cr_ppm	-0.245	0.139	-0.099	0.064	0.086	0.238	-0.180	0.255	-0.003	0.001	1	-0.146	-0.038	0.037	0.128	-0.082	0.259	0.026	0.138	-0.079	0.434	0.167	-0.166	-0.195	0.034	0.100	0.205	-0.116	0.283	0.236	-0.062	0.182	-0.021	0.197	-0.061	0.324	0.421	-0.214	0.474	0.146	0.113	-0.057	0.356	0.390	0.017	-0.062	0.228	0.179
ZLog-Cu_ppm	0.248	-0.039	0.293	0.225	0.317	0.072	0.324	0.100	0.380	0.231	-0.146	1	0.263	0.200	0.099	0.250	0.146	0.218	0.342	0.063	0.210	0.134	0.386	0.185	0.134	0.113	0.139	0.096	0.001	0.062	0.452	-0.104	0.215	0.095	0.241	0.116	-0.216	0.633	-0.127	0.214	0.069	-0.035	-0.054	-0.031	0.446	-0.011	0.218	-0.026
ZLog-Fe_pct	-0.087	-0.080	0.051	0.630	0.443	0.343	0.101	-0.034	0.352	0.778	-0.038	0.263	1	0.204	0.197	0.534	0.327	0.696	-0.009	0.111	0.338	0.300	0.371	0.115	0.511	0.362	0.047	0.033	0.228	0.330	0.489	-0.042	0.687	0.075	0.557	0.224	-0.020	0.460	0.277	0.327	0.165	0.041	-0.007	0.067	0.181	-0.128	0.122	0.027
ZLog-K_pct	-0.104	-0.022	-0.184	0.689	0.000	0.445	0.137	0.194	0.090	0.150	0.037	0.200	0.204	1	0.444	0.457	0.554	0.223	-0.043	0.315	0.115	0.338	0.085	-0.015	0.571	0.756	0.130	0.096	0.293	0.406	0.194	-0.001	0.553	0.501	0.374	0.285	0.115	0.085	0.351	0.280	0.079	0.126	0.392	0.272	-0.059	0.096	0.200	-0.083
ZLog-La_ppm	-0.022	-0.002	-0.061	0.524	0.203	0.324	-0.069	0.343	0.118	0.006	0.128	0.099	0.197	0.444	1	0.364	0.617	0.158	0.124	0.271	0.102	0.481	0.098	-0.054	0.169	0.296	0.184	0.294	0.388	0.510	0.135	0.059	0.262	0.959	0.076	0.295	0.123	-0.055	0.448	0.537	-0.090	0.076	0.799	0.536	0.028	0.069	0.155	0.024
ZLog-Li_ppm	-0.024	-0.133	0.152	0.825	0.248	0.077	0.234	0.092	0.561	0.548	-0.082	0.250	0.534	0.457	0.364	1	0.402	0.548	0.233	0.147	0.496	0.397	0.327	0.504	0.302	0.626	0.192	-0.009	0.306	0.288	0.559	-0.247	0.699	0.374	0.577	0.555	0.025	0.272	0.225	0.306	0.375	0.085	0.219	0.166	0.210	-0.024	0.226	0.186
ZLog-Mg_pct	-0.093	0.140	0.010	0.677	0.255	0.528	-0.059	0.672	0.173	0.159	0.259	0.146	0.327	0.554	0.617	0.402	1	0.160	0.120	0.396	0.292	0.705	0.005	-0.021	0.553	0.546	0.566	0.247	0.631	0.784	0.196	0.212	0.406	0.554	0.205	0.447	0.297	0.098	0.726	0.531	0.152	0.067	0.679	0.550	0.108	-0.020	0.291	0.149
ZLog-Mn_ppm	-0.090	-0.122	0.142	0.523	0.384	0.283	0.053	-0.089	0.449	0.762	0.026	0.218	0.696	0.223	0.158	0.548	0.160	1	0.101	-0.106	0.422	0.255	0.500	0.114	0.203	0.444	0.024	-0.069	0.120	0.217	0.608	-0.190	0.645	0.239	0.634	0.231	0.035	0.296	0.290	0.299	0.340	0.073	0.004	0.175	0.104	-0.061	0.037	0.029
ZLog-Mo_ppm	0.090	-0.082	0.342	0.095	0.339	-0.045	0.138	0.368	0.488	-0.031	0.138	0.342	-0.009	-0.043	0.124	0.233	0.120	0.101	1	0.054	0.430	0.383	0.196	0.252	-0.113	0.146	0.314	0.071	0.421	0.214	0.420	0.040	0.034	0.244	0.236	0.177	0.116	0.399	0.243	0.203	0.296	0.040	0.166	0.505	0.333	0.057	0.225	0.258
ZLog-Na_pct	0.014	-0.080	-0.056	0.298	0.027	0.090	0.016	0.392	0.020	-0.101	-0.079	0.063	0.111	0.315	0.271	0.147	0.396	-0.106	0.054	1	-0.090	0.328	0.021	-0.062	0.262	0.200	0.384	0.371	0.320	0.360	0.052	0.165	0.176	0.066	0.040	-0.006	0.029	0.116	0.185	0.177	-0.112	0.072	0.118	0.125	0.209	0.090	0.152	-0.095
ZLog-Ni_ppm	0.001	0.050	0.156	0.365	0.334	0.213	-0.052	0.274	0.599	0.501	0.434	0.210	0.338	0.115	0.102	0.496	0.292	0.422	0.430	-0.090	1	0.416	0.209	0.203	0.164	0.296	0.276	-0.167	0.361	0.331	0.517	-0.071	0.494	0.294	0.446	0.427	0.176	0.120	0.395	0.132	0.411	0.067	0.248	0.306	0.088	-0.071	0.195	0.334
ZLog-P_ppm	0.043	0.108	0.189	0.545	0.330	0.330	-0.036	0.794	0.434	0.146	0.167	0.134	0.300	0.338	0.481	0.397	0.705	0.255	0.383	0.328	0.416	1	0.165	0.136	0.407	0.586	0.730	0.310	0.773	0.846	0.417	0.152	0.406	0.443	0.442	0.467	0.386	0.205	0.754	0.447	0.371	0.050	0.426	0.670	0.230	-0.002	0.210	0.239
ZLog-Pb_ppm	0.092	0.010	0.581	0.284	0.485	0.043	0.348	0.007	0.631	0.338	-0.166	0.386	0.371	0.085	0.098	0.327	0.005	0.500	0.196	0.021	0.209	0.165	1	0.383	-0.013	0.206	0.010	-0.049	0.034	0.031	0.735	-0.193	0.397	0.054	0.576	0.044	-0.151	0.646	0.074	0.088	0.231	-0.160	-0.063	0.110	0.321	-0.149	0.136	-0.046
ZLog-Sb_ppm	0.191	0.053	0.609	0.068	0.279	-0.020	0.412	0.049	0.492	0.075	-0.195	0.185	0.115	-0.015	-0.054	0.504	-0.021	0.114	0.252	-0.062	0.203	0.136	0.383	1	-0.027	0.255	0.057	-0.029	0.042	-0.017	0.390	0.139	0.221	0.453	0.285	-0.167	0.611	0.047	0.003	0.402	-0.015	0.117	0.138	0.324	-0.056	0.265	-0.021	
ZLog-Sc_ppm	-0.090	0.100	-0.133	0.565	0.059	0.547	0.07																																									

ANEXO 12: CORRELACIÓN DE PEARSON EN EL DOMINIO DE LOS "SEDIMENTARIOS CARBONATADOS DEL CRETÁCICO"

	ZLog-Au_ppb	ZLog-Hg_ppm	ZLog-Ag_ppm	ZLog-Al_pct	ZLog-As_ppm	ZLog-Ba_ppm	ZLog-Bi_ppm	ZLog-Ca_pct	ZLog-Cd_ppm	ZLog-Co_ppm	ZLog-Cr_ppm	ZLog-Cu_ppm	ZLog-Fe_pct	ZLog-K_pct	ZLog-La_ppm	ZLog-Li_ppm	ZLog-Mg_pct	ZLog-Mn_ppm	ZLog-Mo_ppm	ZLog-Na_pct	ZLog-Ni_ppm	ZLog-P_ppm	ZLog-Pb_ppm	ZLog-Sb_ppm	ZLog-Sc_ppm	ZLog-Rb_ppm	ZLog-Sr_ppm	ZLog-Ti_pct	ZLog-V_ppm	ZLog-Y_ppm	ZLog-Zn_ppm	ZLog-Zr_ppm	ZLog-Be_ppm	ZLog-Ce_ppm	ZLog-Cs_ppm	ZLog-Ga_ppm	ZLog-Hf_ppm	ZLog-In_ppm	ZLog-Lu_ppm	ZLog-Nb_ppm	ZLog-Tl_ppm	ZLog-Tb_ppm	ZLog-Th_ppm	ZLog-U_ppm	ZLog-W_ppm	ZLog-Yb_ppm	ZLog-Sn_ppm	ZLog-S_pct
ZLog-Au_ppb	1	0.376	0.518	0.227	0.547	0.175	0.523	-0.148	0.335	0.315	0.367	0.471	0.362	0.124	0.238	0.324	0.007	0.427	0.230	-0.081	0.290	0.112	0.543	0.582	0.187	0.412	-0.133	-0.011	0.086	0.178	0.461	0.032	0.269	0.351	0.578	0.346	-0.146	0.645	0.275	0.343	0.399	0.159	0.456	0.320	0.550	0.053	0.346	0.028
ZLog-Hg_ppm	0.376	1	0.227	-0.109	0.335	0.051	0.264	-0.234	0.054	0.268	0.208	0.163	0.228	-0.061	-0.106	-0.107	-0.322	0.214	-0.099	-0.182	0.029	-0.031	0.187	0.131	0.041	0.009	-0.318	-0.200	-0.224	-0.121	0.148	0.041	0.056	-0.260	0.336	0.078	-0.177	0.133	-0.300	-0.171	0.110	0.134	-0.057	-0.238	0.216	0.162	0.258	0.054
ZLog-Ag_ppm	0.518	0.227	1	0.237	0.692	0.356	0.688	-0.214	0.560	0.380	0.348	0.691	0.463	0.065	0.300	0.288	0.171	0.459	0.447	0.163	0.446	0.151	0.704	0.614	0.229	0.326	0.085	0.170	0.222	0.304	0.677	-0.074	0.354	0.339	0.481	0.355	-0.309	0.847	0.295	0.286	0.454	-0.049	0.534	0.517	0.612	-0.091	0.494	-0.021
ZLog-Al_pct	0.227	-0.109	0.237	1	0.355	0.418	0.285	0.012	0.621	0.554	0.623	0.581	0.726	0.762	0.760	0.857	0.498	0.602	0.514	0.242	0.666	0.410	0.466	0.374	0.841	0.832	0.138	0.218	0.716	0.835	0.569	0.361	0.802	0.779	0.404	0.681	0.275	0.543	0.833	0.464	0.475	-0.023	0.794	0.573	0.329	-0.087	0.270	-0.007
ZLog-As_ppm	0.547	0.335	0.692	0.355	1	0.331	0.646	-0.273	0.635	0.539	0.470	0.658	0.586	0.221	0.465	0.393	0.054	0.638	0.539	0.030	0.563	0.325	0.701	0.595	0.329	0.430	-0.079	0.120	0.245	0.330	0.716	0.024	0.546	0.410	0.715	0.420	-0.217	0.751	0.307	0.480	0.554	0.037	0.481	0.487	0.655	-0.064	0.446	-0.091
ZLog-Ba_ppm	0.175	0.051	0.356	0.418	0.331	1	0.361	-0.366	0.547	0.611	0.385	0.523	0.647	0.590	0.409	0.426	0.300	0.425	0.506	-0.035	0.602	0.106	0.411	0.284	0.607	0.645	-0.094	-0.167	0.402	0.491	0.547	-0.044	0.539	0.408	0.452	0.355	-0.078	0.418	0.386	-0.067	0.596	-0.023	0.603	0.472	0.313	-0.064	0.118	-0.003
ZLog-Bi_ppm	0.523	0.264	0.688	0.285	0.646	0.361	1	-0.313	0.628	0.537	0.325	0.749	0.562	0.135	0.351	0.288	0.054	0.580	0.443	0.042	0.473	0.193	0.683	0.488	0.370	0.371	-0.100	0.130	0.249	0.322	0.713	-0.066	0.405	0.361	0.513	0.606	-0.288	0.884	0.314	0.361	0.561	0.030	0.563	0.489	0.795	-0.113	0.674	-0.064
ZLog-Ca_pct	-0.148	-0.234	-0.214	0.012	-0.273	-0.366	-0.313	1	-0.198	-0.642	-0.024	-0.328	-0.441	-0.026	0.155	0.007	0.517	-0.370	-0.030	0.216	-0.134	0.468	-0.296	-0.099	-0.093	-0.149	0.817	0.505	0.332	0.165	-0.364	0.306	-0.232	0.159	-0.335	-0.042	0.408	-0.203	0.297	0.239	-0.273	-0.114	-0.047	0.219	-0.185	-0.038	-0.080	0.178
ZLog-Cd_ppm	0.335	0.054	0.560	0.621	0.635	0.547	0.628	-0.198	1	0.643	0.576	0.757	0.737	0.467	0.638	0.547	0.304	0.722	0.755	0.042	0.839	0.457	0.728	0.533	0.632	0.506	0.033	0.213	0.636	0.662	0.883	0.214	0.662	0.647	0.448	0.546	0.408	0.728	0.616	0.373	0.710	-0.077	0.657	0.775	0.564	-0.195	0.421	-0.077
ZLog-Co_ppm	0.315	0.268	0.380	0.554	0.539	0.611	0.537	-0.642	0.643	1	0.482	0.672	0.887	0.473	0.365	0.556	0.010	0.818	0.415	-0.097	0.607	0.027	0.554	0.372	0.645	0.668	-0.434	-0.207	0.229	0.446	0.732	-0.033	0.705	0.393	0.672	0.561	-0.092	0.585	0.351	0.131	0.658	0.064	0.545	0.289	0.497	-0.042	0.252	-0.068
ZLog-Cr_ppm	0.367	0.208	0.348	0.623	0.470	0.385	0.325	-0.024	0.576	0.482	1	0.522	0.642	0.505	0.540	0.577	0.323	0.558	0.545	0.068	0.782	0.370	0.419	0.320	0.619	0.648	0.069	0.273	0.517	0.567	0.488	0.263	0.518	0.635	0.402	0.608	0.132	0.432	0.674	0.355	0.609	0.091	0.647	0.620	0.321	0.047	0.342	-0.110
ZLog-Cu_ppm	0.471	0.163	0.691	0.581	0.658	0.523	0.749	-0.328	0.757	0.672	0.522	1	0.759	0.411	0.549	0.386	0.159	0.729	0.632	0.131	0.707	0.258	0.757	0.548	0.561	0.487	-0.115	0.160	0.452	0.552	0.796	0.162	0.593	0.523	0.471	0.547	-0.236	0.891	0.489	0.388	0.566	0.009	0.694	0.595	0.639	-0.119	0.445	-0.144
ZLog-Fe_pct	0.362	0.228	0.463	0.726	0.586	0.647	0.562	-0.441	0.737	0.887	0.642	0.759	1	0.585	0.602	0.670	0.204	0.812	0.567	0.042	0.732	0.215	0.627	0.425	0.796	0.790	-0.248	-0.040	0.484	0.680	0.759	0.168	0.794	0.596	0.586	0.617	0.017	0.735	0.616	0.211	0.636	-0.063	0.760	0.517	0.508	-0.157	0.309	-0.062
ZLog-K_pct	0.124	-0.061	0.065	0.762	0.221	0.590	0.135	-0.026	0.467	0.473	0.505	0.411	0.585	1	0.661	0.610	0.453	0.402	0.468	0.023	0.569	0.364	0.233	0.209	0.794	0.841	0.052	-0.033	0.587	0.714	0.417	0.212	0.644	0.690	0.377	0.518	0.228	0.253	0.649	0.142	0.452	0.024	0.671	0.446	0.210	-0.026	0.127	-0.011
ZLog-La_ppm	0.238	-0.106	0.300	0.760	0.465	0.409	0.351	0.155	0.638	0.365	0.540	0.549	0.602	0.661	1	0.659	0.520	0.514	0.646	0.192	0.687	0.654	0.507	0.352	0.675	0.686	0.231	0.355	0.740	0.840	0.550	0.397	0.696	0.968	0.347	0.574	0.201	0.524	0.876	0.561	0.477	-0.049	0.812	0.775	0.402	-0.189	0.286	-0.049
ZLog-Pb_ppm	0.324	-0.107	0.288	0.857	0.393	0.426	0.288	0.007	0.547	0.556	0.577	0.386	0.670	0.610	0.659	1	0.571	0.509	0.519	0.181	0.606	0.359	0.377	0.433	0.738	0.769	0.218	0.079	0.559	0.763	0.544	0.233	0.754	0.638	0.467	0.813	0.364	0.446	0.739	0.370	0.610	-0.027	0.693	0.488	0.487	-0.098	0.303	0.135
ZLog-Mg_pct	0.007	-0.322	0.171	0.498	0.054	0.300	0.054	0.517	0.304	0.010	0.323	0.159	0.204	0.453	0.520	0.571	1	0.078	0.355	0.309	0.377	0.468	0.144	0.222	0.509	0.404	0.682	0.445	0.653	0.615	0.211	0.138	0.273	0.546	-0.018	0.410	0.236	0.221	0.670	0.376	0.249	-0.010	0.499	0.572	0.131	0.026	0.038	0.152
ZLog-Mn_ppm	0.427	0.214	0.459	0.602	0.638	0.425	0.580	-0.370	0.722	0.818	0.558	0.729	0.812	0.402	0.514	0.509	0.078	1	0.480	-0.026	0.636	0.205	0.671	0.412	0.600	0.550	-0.213	0.082	0.397	0.507	0.777	0.159	0.716	0.504	0.606	0.535	-0.058	0.688	0.469	0.399	0.592	-0.042	0.534	0.461	0.484	-0.186	0.301	-0.139
ZLog-Mo_ppm	0.230	-0.099	0.447	0.514	0.539	0.506	0.443	-0.030	0.755	0.415	0.545	0.632	0.567	0.468	0.646	0.519	0.355	0.480	1	0.101	0.830	0.554	0.500	0.510	0.510	0.559	0.177	0.201	0.691	0.657	0.640	0.198	0.554	0.690	0.395	0.443	0.001	0.607	0.728	0.331	0.595	-0.024	0.753	0.945	0.418	-0.157	0.223	-0.142
ZLog-Na_pct	-0.081	-0.182	0.163	0.242	0.030	-0.035	0.042	0.216	0.042	-0.097	0.068	0.131	0.042	0.023	0.192	0.181	0.309	-0.026	0.101	1	0.096	0.255	0.112	0.010	0.060	0.096	0.340	0.497	0.204	0.258	0.063	0.046	0.088	0.102	-0.107	0.143	0.096	0.204	0.224	0.209	-0.052	-0.038	0.189	0.123	0.016	0.019	0.110	-0.136
ZLog-Ni_ppm	0.290	0.029	0.446	0.666	0.563	0.602	0.473	-0.134	0.839	0.607	0.782	0.707	0.732	0.569	0.687	0.606	0.377	0.636	0.830	0.096	1	0.510	0.538	0.427	0.679	0.618	0.087	0.260	0.717	0.723	0.699	0.242	0.644	0.709	0.429	0.582	0.055	0.572	0.733	0.366	0.750	0.050	0.737	0.881	0.448	-0.061	0.315	-0.174
ZLog-P_ppm	0.112	-0.031	0.151	0.410	0.325	0.106	0.193	0.468	0.457	0.027	0.370	0.258	0.215	0.364	0.654	0.359	0.468	0.205	0.554	0.255	0.510	1	0.241	0.202	0.319	0.335	0.490	0.384	0.574	0.685	0.316	0.294	0.364	0.570	0.286	0.324	0.231	0.256	0.623	0.493	0.304	0.025	0.440	0.661	0.334	-0.049	0.172	-0.049
ZLog-Pb_ppm	0.543	0.187	0.704	0.466	0.701	0.411	0.683	-0.296	0.728	0.554	0.419	0.757	0.627	0.233	0.507	0.377	0.144	0.671	0.500	0.112	0.538	0.241	1	0.626	0.420	0.456	-0.083	0.125	0.338	0.432	0.851	0.097	0.615	0.485	0.568	0.439	-0.170	0.853	0.379	0.407	0.521	0.023	0.604	0.519	0.618	-0.054	0.467	0.007
ZLog-Sb_ppm	0.582	0.131	0.614	0.374	0.595	0.284	0.488	-0.099	0.533	0.372	0.320	0.548	0.425	0.209	0.352	0.433	0.222	0.412	0.510	0.010	0.427	0.202	0.626	1	0.229	0.430	0.035	0.024	0.355	0.365	0.599	0.058	0.436	0.480	0.549	0.254	-0.234	0.820	0.413	0.393	0.407	0.001	0.605	0.639	0.495	-0.095	0.296	0.094
ZLog-Sc_ppm	0.187	0.041	0.229	0.841	0.329	0.607																																										

ANEXO 13: FOTOGRAFÍAS DE LAS MUESTRAS DE ROCAS DEL ÁREA 1







**ANEXO 14: FOTOGRAFÍAS DE LAS MUESTRAS DE ROCAS
DEL ÁREA 2**









ANEXO 15: ANÁLISIS QUÍMICO - ROCAS

	FORMATO	Código : M2.2-F-134 Versión: 03 Fecha aprob.: 24/10/2023 Página : 2 de 5
	INFORME DE ENSAYO	

Ensayos solicitados		Roca total 18 elementos ²										LOI ⁴	Roca total 18 elementos ²		Multielemental 33 elementos ³					
Código del proceso		M2.2.2.1-2.										M2.2.2.1-3.	M2.2.2.1-2.		M2.2.2.1-4.					
Fecha de análisis:		2023-11-14 al 2023-11-17										2023-11-08	2023-11-14 al 2023-11-17		2023-11-15					
Elementos		Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	LOI	Y	Zr	Ba	Co	Cr	Ni	Sr	Zn
Unidades		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
No	LDM Código	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	5	5	5	1	1	5	10	1
1	JB-01	2.24	47.54	1.65	0.51	0.78	0.02	<0.02	0.15	7.59	0.10	38.75	16	17	60	1	12	6	187	9
2	JB-02	14.69	14.68	3.94	1.99	1.73	0.02	0.67	0.24	42.34	0.59	16.79	27	109	653	8	40	40	490	77
3	JB-03	8.52	21.31	2.38	1.44	1.32	0.01	0.40	0.58	39.71	0.45	22.12	23	107	245	6	65	123	454	306
4	JB-04	2.59	37.75	1.41	0.40	2.39	0.02	0.18	0.23	18.89	0.14	33.59	9	35	148	<1	23	37	880	61
5	JB-05	7.81	21.76	4.43	0.36	5.75	0.14	3.22	0.46	30.68	1.27	23.31	30	59	289	22	101	74	305	432
6	RC-01	13.42	7.68	10.31	1.53	9.52	0.14	2.06	0.19	45.04	0.79	6.37	16	60	276	37	452	86	451	105
7	RC-02	6.21	17.75	3.75	0.32	4.87	0.12	2.46	0.37	25.11	1.00	35.41	24	45	264	3	41	289	425	578
8	RC-03	2.17	39.74	1.01	0.67	0.83	0.01	0.18	0.70	16.16	0.15	36.94	20	29	220	1	42	234	570	606
9	RC-04	10.75	25.41	3.69	2.16	1.56	0.04	0.47	0.53	33.33	0.53	19.20	34	102	144	6	47	18	169	15
10	JB-06	3.96	44.37	1.65	0.44	0.82	0.08	0.21	0.23	14.82	0.20	33.05	22	44	58	3	17	9	226	17
11	JB-07	12.68	24.39	4.21	4.18	1.03	<0.01	0.46	17.40	30.87	0.42	4.20	303	114	349	2	66	10	285	17

LDM: Límite de detección de método.
LCM: Límite de cuantificación del método.

(Obs.): Corresponde a muestras no idóneas.

- Método de referencia/ Procesos:
- 2. Realizar el ensayo de elementos mayores en muestras sólidas por fusión eléctrica con metaborato de litio e ICP-OES, M2.2.2.1-2. (Proceso).
 - 3. Realizar ensayo de elementos menores en muestras sólidas por digestión multiácida e ICP-OES, M2.2.2.1-4. (Proceso).
 - 4. Realizar el ensayo de pérdida de ignición en muestras sólidas, M2.2.2.1-3. (Proceso).

Fecha de emisión del informe de ensayo: 2023-11-30.

Ensayos solicitados		Multielemental 33 elementos ¹														Multielemental 33 elementos ¹										Roca total 18 elementos ²											
Código del proceso		M2.2.1-4.														M2.2.2.1-12.										M2.2.2.1-2.											
Fecha de análisis:		2023-11-15														2023-11-15										2023-11-14 al 2023-11-17											
Elementos		Ag	Ba	Co	Cr	Cu	La	Li	Ni	Pb	Sc	Rb	Sr	V	Zn	As	Bi	Cd	Mo	Sb	Ti	W	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si	Ti	Y	Zr			
Unidades		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm			
No	LDM Código	0.5	5	1	1	2	2	2	5	5	5	2	2	10	1	5	10	1	2	2	0.5	5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	5	5			
1	JB-01	1.7	60	1	12	132	14	11	6	<5	<5	<2	187	<10	9	<5	<10	<1	<2	<2	<0.5	<5	1.19	33.98	1.16	0.43	0.47	0.02	<0.01	0.06	3.55	0.06	16	17			
2	JB-02	1.1	653	8	40	25	72	31	40	59	19	184	490	169	77	8	<10	<1	16	<2	<0.5	<5	7.78	10.49	2.76	1.65	1.04	0.01	0.50	0.11	19.79	0.35	27	109			
3	JB-03	0.7	245	6	65	43	24	19	123	<5	8	63	454	954	306	17	<10	6	109	6	<0.5	<5	4.51	15.23	1.67	1.19	0.80	<0.01	0.30	0.25	18.56	0.27	23	107			
4	JB-04	<0.5	148	<1	23	28	12	20	37	<5	<5	5	880	275	61	6	<10	<1	28	<2	<0.5	<5	1.37	26.98	0.98	0.33	1.44	0.02	0.14	0.10	8.83	0.08	9	35			
5	JB-05	<0.5	289	22	101	48	27	10	74	<5	12	5	305	127	432	<5	<10	4	4	<2	<0.5	<5	4.13	15.55	3.10	0.30	3.47	0.11	2.39	0.20	14.34	0.76	30	59			
6	RC-01	0.8	276	37	452	107	10	45	86	<5	30	49	451	246	105	74	<10	2	6	2	1.7	<5	7.11	5.49	7.21	1.27	5.74	0.11	1.53	0.08	21.05	0.48	16	60			
7	RC-02	0.9	264	3	41	54	8	21	289	16	<5	39	425	953	578	32	<10	13	196	9	0.6	<5	3.29	12.68	2.62	0.26	2.94	0.09	1.83	0.16	11.74	0.60	24	45			
8	RC-03	0.7	220	1	42	29	10	11	234	<5	<5	18	570	1138	606	28	<10	16	167	11	<0.5	<5	1.15	28.40	0.71	0.56	0.50	<0.01	0.13	0.31	7.55	0.09	20	29			
9	RC-04	1.4	144	6	47	56	44	35	18	9	14	81	169	61	15	<5	<10	<1	7	<2	<0.5	<5	5.69	18.16	2.58	1.79	0.94	0.03	0.35	0.23	15.58	0.32	34	102			
10	JB-06	0.8	58	3	17	41	22	18	9	<5	<5	<2	226	20	17	<5	<10	<1	<2	<2	<0.5	<5	2.09	31.71	1.15	0.36	0.49	0.06	0.16	0.10	6.93	0.12	22	44			
11	JB-07	<0.5	349	2	66	24	179	26	10	41	19	109	285	59	17	11	<10	<1	12	<2	1	<5	6.71	17.43	2.95	3.47	0.62	<0.01	0.34	7.59	14.43	0.25	303	114			

LDM: Límite de detección de método.
LCM: Límite de cuantificación del método.

[Obs.): Corresponde a muestras no idóneas.

Método de referencia/ Procesos:
2. Realizar el ensayo de elementos mayores en muestras sólidas por fusión eléctrica con metaborato de litio e ICP-OES; M2.2.2.1-2. (Proceso).
3. Realizar ensayo de elementos menores en muestras sólidas por digestión multiácida e ICP-OES; M2.2.2.1-4. (Proceso).
5. Realizar ensayo de elementos menores en muestras sólidas por digestión multiácida e ICP-MS; M2.2.2.1-12. (Proceso).

Fecha de emisión del informe de ensayo: 2023-11-30.

Ensayos solicitados		Multielemental 23 elementos ⁶																							
Código del proceso		M2.2.2.1-7.																							
Fecha de análisis:		2023-11-17																							
Elementos		Be	Ce	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	In	Lu	Nb	Nd	Pr	Sm	Ta	Tb	Th	Tm	U	W	Yb	
Unidades		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
No	LDM	0.6	0.5	0.05	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.15	0.5	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	1	0.1	
	Código																								
	1	JB-01	<0.6	18.7	0.47	1.7	0.9	0.4	2.9	2.0	0.4	0.3	<0.2	<0.15	2.4	9.7	2.4	1.8	<0.5	0.3	1.6	0.1	1.0	<1	0.9
	2	JB-02	2.2	89.1	5.11	4.9	2.8	1.0	17.7	6.3	3.1	0.9	<0.2	0.36	16.9	38.9	10.4	7.0	1.2	0.8	16.9	0.4	5.3	2	2.6
	3	JB-03	1.1	44.3	2.97	3.6	2.0	0.7	10.6	4.1	2.8	0.7	<0.2	0.28	9.8	21.4	5.6	4.0	0.7	0.6	8.3	0.3	18.0	2	1.9
	4	JB-04	<0.6	18.1	0.89	1.3	0.7	0.3	3.5	1.5	1.0	0.3	<0.2	<0.15	3.6	8.3	2.2	1.5	<0.5	0.2	2.9	0.1	5.5	<1	0.7
	5	JB-05	<0.6	52.5	0.47	5.6	2.7	2.5	8.6	7.0	1.6	1.0	<0.2	0.29	21.6	27.7	6.5	6.3	1	1.0	2.2	0.4	2.7	<1	2.1
	6	RC-01	<0.6	20.8	2.20	3.3	1.7	1.0	14.2	3.5	1.7	0.6	<0.2	0.24	4.6	12.9	2.8	3.2	<0.5	0.5	2.0	0.3	1.0	<1	1.7
	7	RC-02	<0.6	40.6	0.31	4.4	2.1	1.9	7.0	5.4	1.1	0.8	<0.2	0.21	17.0	21.5	5.1	4.7	0.8	0.8	1.8	0.3	2.1	<1	1.6
	8	RC-03	<0.6	12.4	0.66	1.7	1.2	0.4	2.8	1.9	0.7	0.4	<0.2	0.19	3.4	8.2	2.0	1.6	<0.5	0.3	2.3	0.2	23.2	<1	1.2
	9	RC-04	1.4	59.5	2.52	4.6	3.0	1.0	14.2	5.5	2.7	1.0	<0.2	0.45	12.2	27.6	7.1	5.2	0.7	0.8	10.6	0.4	3.7	<1	3.1
	10	JB-06	<0.6	28.8	0.83	2.8	1.8	0.7	6.0	2.8	1.3	0.5	<0.2	0.28	4.5	13.6	3.4	2.6	<0.5	0.4	3.8	0.3	1.2	<1	1.8
	11	JB-07	1.5	226.4	2.60	29.3	17.9	5.6	14.7	35.2	1.5	6.1	<0.2	1.98	7.3	145.9	33.9	28.5	<0.5	5.0	31.1	2.4	20.0	2	14.2

LDM: Límite de detección de método.
LCM: Límite de cuantificación del método.
(Obs.): Corresponde a muestras no idóneas.

Método de referencia/ Procesos:
6. Realizar ensayo de tierras raras en muestras sólidas por fusión eléctrica con metaborato de litio e ICP-MS, M2.2.2.1-7. (Proceso).

Fecha de emisión del informe de ensayo: 2023-11-30.

	FORMATO	Código: M2.2-F-134
	INFORME DE ENSAYO	Versión: 03 Fecha de aprob : 24/10/2023 Página: 5 de 5

Ensayos solicitados		Ensayo de Polimetálicos ⁷				
Código del proceso		M2.2.2.1-5				
Fecha de análisis:		2023-11-20				
Elementos		Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Unidades		ppm	ppm	ppm	ppm	%
No	LDM					
	Código	0.5	2	5	1	0.01
1	RC-05	1.5	39	47	523	2.52

Ensayos solicitados		Multielemental 33 elementos ³			Multielemental 23 elementos ⁶	Roca total 18 elementos ²
Código del proceso		M2.2.2.1-4.			M2.2.2.1-7.	M2.2.2.1-2.
Fecha de análisis:		2023-11-15			2023-11-17	2023-11-17
Elementos		V	Ni	Cr	U	Al
Unidades		ppm	ppm	ppm	ppm	%
No	LDM					
	Código	10	5	1	0.1	0.01
1	RC-05	848	229	82	13.7	10.36

LDM: Límite de detección de método.

LCM: Límite de cuantificación del método.

(Obs.): Corresponde a muestras no idóneas.

Método de referencia/ Procesos:

7. Realizar ensayo de polimetálicos en muestras sólidas por digestión multiácida y AAS; M2-FP.4-031; 2021, según ficha de instructivo nivel 4 (M2.2.2.1-5).

Fecha de emisión del informe de ensayo: 2023-11-30.

ANEXO 16: ANÁLISIS MINERALÓGICO - ROCAS

	FORMATO	Código : M2.2-F-093
	INFORME DE ANÁLISIS MINERALÓGICOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	Versión : 02 Fecha aprob.: 17/07/2023 Página : 2 de 6

V. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-01	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Calcita	Ca(CO ₃)	91.46
2	Cuarzo	SiO ₂	4.88
3	Dolomita	Ca _{0.55} Mg _{0.45} (CO ₃)	3.66
Valor promedio del background		50	
N° de cuentas del pico máximo		3702	
Error estadístico de conteo		3.22%	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-02	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Cuarzo	SiO ₂	40.93
2	Calcita	Ca(CO ₃)	33.68
3	Clinocloro	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	7.77
4	Moscovita	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	4.66
5	Moscovita	K _{0.8} Na _{0.2} Fe _{0.05} Al _{2.95} Si _{3.1} O ₁₀ (OH) ₂	3.63
6	Ortoclase	K(AlSi ₃ O ₈)	3.11
7	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	2.59
8	Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	2.07
9	Pirita	FeS ₂	1.56
Valor promedio del background		60	
N° de cuentas del pico máximo		1860	
Error estadístico de conteo		4.54%	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-03	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Calcita	Ca(CO ₃)	89.98
2	Cuarzo	SiO ₂	2.50
3	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	2.50
4	Moscovita	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	1.27
5	Pirita	FeS ₂	1.25
6	Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	1.25
7	Moscovita	K _{0.8} Na _{0.2} Fe _{0.05} Al _{2.95} Si _{3.1} O ₁₀ (OH) ₂	1.25
Valor promedio del background		60	
N° de cuentas del pico máximo		2014	
Error estadístico de conteo		4.37%	
OBSERVACIONES			
-			

	FORMATO		Código : M2.2-F-093
	INFORME DE ANÁLISIS MINERALÓGICOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X		Versión : 02 Fecha aprob.: 17/07/2023 Página : 3 de 6

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-04	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Calcita	Ca(CO ₃)	76.77
2	Cuarzo	SiO ₂	13.13
3	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	7.07
4	Moscovita	K _{0.90} Na _{0.05} Mg _{0.32} Ti _{0.03} Fe _{0.18} Al _{2.11} Si _{3.40} O ₁₀ (OH) ₂	2.02
5	Pirita	FeS ₂	1.01
Valor promedio del background		50	
N° de cuentas del pico máximo		3638	
Error estadístico de conteo		3.25%	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-05	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Ankerita	Ca(Fe ²⁺ ,Mg)(CO ₃) ₂	30.93
2	Calcita	Ca(CO ₃)	27.15
3	Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	20.62
4	Cuarzo	SiO ₂	13.40
5	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	3.09
6	Pirita	FeS ₂	1.37
7	Moscovita	KFe _{0.26} Al _{2.48} Si _{3.26} O ₁₀ (OH) _{1.88} F _{0.12}	1.37
8	Anatasa	TiO ₂	1.04
9	Galena	PbS	1.03
Valor promedio del background		50	
N° de cuentas del pico máximo		1932	
Error estadístico de conteo		4.46%	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-06	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Calcita	Ca(CO ₃)	82.61
2	Cuarzo	SiO ₂	8.70
3	Biotita	K(Mg _{1.46} Fe _{1.34} Ti _{0.2})(Al _{1.2} Si _{2.8} O ₁₀)(OH) _{1.84} O _{0.16}	4.35
4	Anortita	(Ca,Na)(Si,Al) ₄ O ₈	2.61
5	Moscovita	K _{0.77} Al _{1.93} (Al _{0.5} Si _{3.5} O ₁₀)(OH) ₂	1.73
Valor promedio del background		40	
N° de cuentas del pico máximo		4086	
Error estadístico de conteo		3.07%	
OBSERVACIONES			
-			

	FORMATO	Código : M2.2-F-093
	INFORME DE ANÁLISIS MINERALÓGICOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	Versión : 02 Fecha aprob.: 17/07/2023 Página : 4 de 6

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-07	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Fluorapatito	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	45.66
2	Cuarzo	SiO_2	18.72
3	Microclina	$\text{K}_{0.95}\text{Na}_{0.05}\text{AlSi}_3\text{O}_8$	11.42
4	Albita	$\text{Na}_{0.685}\text{Ca}_{0.347}\text{Al}_{1.46}\text{Si}_{2.54}\text{O}_8$	9.13
5	Flogopita	$\text{K}_{0.95}\text{Na}_{0.02}\text{Mg}_{1.55}\text{Ti}_{0.2}\text{Fe}_{1.25}\text{Al}_{1.2}\text{Si}_{2.8}\text{O}_{10.75}(\text{OH})_{1.25}$	8.22
6	Moscovita	$\text{K}(\text{Al}_{1.27}\text{Mg}_{0.53}\text{Fe}_{0.09}\text{Mn}_{0.08}\text{Ti}_{0.03})(\text{Al}_{0.46}\text{Si}_{3.54})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	6.85
Valor promedio del background		50	
N° de cuentas del pico máximo		1000	
Error estadístico de conteo		6.20%	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-01	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Cuarzo	SiO_2	25.14
2	Clinocloro	$(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	17.80
3	Calcita	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	14.12
4	Albita	$\text{K}_{0.22}\text{Na}_{0.78}\text{AlSi}_3\text{O}_8$	13.28
5	Flogopita	$\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	10.17
6	Moscovita	$(\text{K}, \text{NH}_4, \text{Na})\text{Al}_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	6.50
7	Magnesio-hornblenda	$\text{K}_{0.05}\text{Na}_{0.26}\text{Ca}_{1.79}\text{Mg}_{3.52}\text{Fe}_{1.39}\text{Al}_{1.1}\text{Si}_{7.18}\text{O}_{22}(\text{OH})_{1.93}\text{F}_{0.07}$	6.21
8	Pirita	FeS_2	5.08
9	Esfalerita	ZnS	1.70
Valor promedio del background		50	
N° de cuentas del pico máximo		1000	
Error estadístico de conteo		6.20%	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-02	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Calcita	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	71.43
2	Cuarzo	SiO_2	21.98
3	Moscovita	$(\text{K}, \text{NH}_4, \text{Na})\text{Al}_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	3.30
4	Albita	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	2.19
5	Fluorapatito	$\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$	1.10
Valor promedio del background		40	
N° de cuentas del pico máximo		3790	
Error estadístico de conteo		3.18%	
OBSERVACIONES			
-			

	FORMATO	Código : M2.2-F-093
	INFORME DE ANÁLISIS MINERALÓGICOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	Versión : 02 Fecha aprob.: 17/07/2023 Página : 5 de 6

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-03	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Calcita	Ca(CO ₃)	82.22
2	Cuarzo	SiO ₂	13.33
3	Moscovita	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	2.22
4	Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	1.12
5	Fluorapatito	Ca ₅ F(PO ₄) ₃	1.11
Valor promedio del background		40	
N° de cuentas del pico máximo		4062	
Error estadístico de conteo		3.08%	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-04	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Calcita	Ca(CO ₃)	56.34
2	Cuarzo	SiO ₂	28.17
3	Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	4.93
4	Anortita	(Ca,Na)(Si,Al) ₄ O ₈	4.23
5	Moscovita	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	3.51
6	Moscovita	KNa _{0.05} Mg _{0.07} Ti _{0.03} Fe _{0.09} Al _{2.92} Si _{2.97} O _{10.13} (OH) _{1.8} F _{0.07}	2.82
Valor promedio del background		60	
N° de cuentas del pico máximo		2376	
Error estadístico de conteo		4.02%	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-05	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
1	Cuarzo	SiO ₂	33.47
2	Calcita	Ca(CO ₃)	13.94
3	Illita	(K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	11.55
4	Laumontita	Ca ₂ Al ₄ Si ₈ O ₂₄ (H ₂ O) ₇	10.76
5	Moscovita	K _{0.8} Na _{0.2} Fe _{0.05} Al _{2.95} Si _{3.1} O ₁₀ (OH) ₂	9.96
6	Flogopita	K _{0.89} Na _{0.08} Mg _{2.11} Ti _{0.18} Fe _{0.7} Al _{1.39} Si _{2.64} O _{10.44} (OH) _{1.39} F _{0.17}	7.17
7	Jacobsita	MnFe ₂ O ₄	6.77
8	Microclina	K _{0.95} Na _{0.05} AlSi ₃ O ₈	3.59
9	Pirita	FeS ₂	2.79
Valor promedio del background		50	
N° de cuentas del pico máximo		1514	
Error estadístico de conteo		5.04%	
OBSERVACIONES			
-			

	FORMATO		Código : M2.2-F-094
	INFORME DE ANÁLISIS DE ARCILLAS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X		Versión : 02 Fecha aprob.: 17/07/2023 Página : 2 de 4

V. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-01	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
-	No presenta fases de arcillas	-	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-02	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
1	Clinocloro	$(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	
2	Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-03	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
1	Illita	(K,H ₃₀)Al ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ ·xH ₂ O	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-04	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
1	Illita	(K,H ₃₀)Al ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ ·xH ₂ O	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-05	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
1	Illita	$(\text{K},\text{H}_{30})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-06	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
1	Illita	(K,H ₃₀)Al ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ ·xH ₂ O	
OBSERVACIONES			
-			

	FORMATO		Código : M2.2-F-094
	INFORME DE ANÁLISIS DE ARCILLAS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X		Versión : 02 Fecha aprob.: 17/07/2023 Página : 3 de 4

CÓDIGO DE MUESTRA		JB-07	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
1	Illita	(K,H ₃₀)Al ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ ·xH ₂ O	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-01
Nº	MINERAL	FÓRMULA
1	Clinocloro	(Mg,Fe,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈
2	Vermiculita	Mg _{3.41} (Al _{1.14} Si _{2.86} O ₁₀)(OH) ₂ (H ₂ O) _{3.72}
3	Illita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
OBSERVACIONES		
-		

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-02	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
-	No presenta fases de arcillas	-	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-03	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
-	No presenta fases de arcillas	-	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-04	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
1	Yeso	CaSO ₄ ·2H ₂ O	
2	Montmorillonita	Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·xH ₂ O	
OBSERVACIONES			
-			

CÓDIGO DE MUESTRA		RC-05	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	
1	Yeso	CaSO ₄ ·2H ₂ O	
2	Illita	(K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	
OBSERVACIONES			
-			