



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

**Análisis litogeoquímico de rocas volcánicas cretácicas
asociadas a Sulfuros Masivos Volcanogénicos en el Perú**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Carlos Felipe DE LA MATA LECCA

ASESOR

Dr. Jesús Alberto TORRES GUERRA

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

De la Mata, C. (2025). *Análisis litogeoquímico de rocas volcánicas cretácicas asociadas a Sulfuros Masivos Volcanogénicos en el 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	Carlos Felipe de la Mata Lecca
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70521500
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-7408-0693
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jesús Alberto Torres Guerra
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07219691
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8186-5249
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Miguel Agustín Rivera Feijoo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07592789
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Guillermo Nicanor Diaz Huayna
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07426765
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Rosa Julia Medina Sandoval
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06132417

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.8. Geoquímica
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Piura, Ancash, Lima e Ica Latitud: 4°16'-14°55' S Longitud: 80°36'-74°56'S
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024 - 2025
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 martes 14 de octubre del año 2025 siendo las 4:00 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros de Jurado Calificador:

Msc. Miguel Agustin Rivera Feijoo	(Presidente De Jurado)
Mg. Guillermo Nicanor Diaz Huayna	(Miembro de Jurado)
Ing. Rosa Julia Medina Sandoval	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **CARLOS FELIPE DE LA MATA LECCA**, quien sustentará la Tesis titulada: **"ANÁLISIS LITOGEOQUÍMICO DE ROCAS VOLCÁNICAS CRETACICAS ASOCIADAS A SULFUROS MASIVOS VOLCANOGÉNICOS EN EL PERÚ"**; su asesor el docente **Dr. JESÚS ALBERTO TORRES GUERRA**, 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). APROBADO CON MENCIÓN HONROSA.

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. **CARLOS FELIPE DE LA MATA LECCA**.

Siendo las 17:00 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 14 de octubre del 2025

MSC. MIGUEL AGUSTIN RIVERA FEIJOO
PRESIDENTE DE JURADO

MG. GUILLERMO NICANOR DIAZ HUAYNA
MIEMBRO DE JURADO

ING. ROSA JULIA MEDINA SANDOVAL
MIEMBRO DE JURADO

DR. JESÚS ALBERTO TORRES GUERRA
MIEMBRO ASESOR



Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, JESÚS ALBERTO TORRES GUERRA en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la EP N°000773-2025-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es CARACTERIZACIÓN LITOGEOQUÍMICA DE ROCAS VOLCÁNICAS CRETACICAS ASOCIADAS A SULFUROS MASIVOS VOLCANOGÉNICOS EN EL PERÚ, presentada por el bachiller CARLOS FELIPE DE LA MATA LECCA para optar el título en Ingeniería Geológica, 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 11% 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 del título de INGENIERO GEÓLOGO.

Lima, 22 de SETIEMBRE de 2025.

Firma del Asesor:

Nombres y Apellidos del asesor: JESÚS ALBERTO TORRES GUERRA

DNI: 07219691

* 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.

Esta investigación está dedicada a mi familia y amigos
Quienes estuvieron siempre brindándome su apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a las personas que influenciaron y colaboraron en el desarrollo de esta tesis expuesta en las siguientes páginas. En primer lugar, a mis padres Gabriela y Carlos, así como a mi hermana Gloria y a mi compañera de vida Yajaira por su apoyo incondicional y constante.

De igual manera, agradecer a mi asesor Alberto Torres quién fomentó el desarrollo del estudio de los depósitos de Sulfuros Masivos Volcanogénicos, así como su constante asesoramiento a lo largo del mismo. En especial por haberme inducido durante los años universitarios al gusto por el estudio de los depósitos minerales y su contribución en mi desarrollo profesional.

Agradecer de igual manera a Orlando Bazán y Antonio Marchena por brindar su valioso tiempo para la revisión, sugerencias, comentarios e ideas que enriquecieron el presente estudio. Particularmente por las discusiones de la Geología regional de la zona de estudio.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, particularmente a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica por haberme brindado las bases de mi desarrollo profesional.

RESUMEN

Este estudio se enfoca en analizar el contexto en el cual se depositaron las rocas asociadas a depósitos de Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS) en las cuencas de intra-arco Lancones en la costa norte y de tras-arco Casma en el centro del Perú.

Se consideraron tres aspectos geológicos fundamentales, determinados con el uso de la litogeoquímica: (1) características de las diferencias litológicas vulcanológico-sedimentarias, (2) asociaciones mineralógicas típicas y (3) asociaciones de alteraciones hidrotermales predominantes. Estos tres aspectos permiten conocer el contexto tectónico y sus implicancias en las cuales estas rocas cretácicas se depositaron.

Los resultados del análisis litogeoquímico para las rocas de la cuenca Lancones muestran composiciones bimodales de signatura toleítica a calco-alcalina, generadas en arcos de islas a arcos continentales en cortezas de 10-30 km de espesor, que presentan alteraciones hidrotermales predominantes de clorita, carbonatos y pirita que indica una mayor influencia de un fluido magmático y presencia de carbonatos magnesianos. Los ratios de Ba/Th y Ta/Yb indican fluidos predominantemente del manto con ligera influencia de fluidos de subducción someros. Además, estas rocas muestran una mayor influencia de fluidos de subducción más profundos con una componente de fluidos del manto.

Por su parte, las rocas de la cuenca Casma muestran composiciones bimodales de signatura calco-alcalina a alto potasio, generadas en arcos continentales con espesores corticales que van de 20-40 km, que presentan alteraciones hidrotermales predominantes en sericita, cuarzo y pirita, teniendo una mayor influencia de fluidos meteóricos externos y presencia de carbonatos más cálcicos.

ABSTRACT

This study focuses on characterizing the context in which rocks associated with Volcanogenic Massive Sulfide (VMS) deposits were deposited in the Lancones intra-arc basin on the north coast and the Casma back-arc basin in central Peru.

Three fundamental geological aspects that can be monitored using lithogeochemistry will be considered: (1) Lithological Characteristics of Volcanic and Sedimentary Differences, (2) typical mineralogical associations, and (3) predominant hydrothermal alteration associations. These three aspects provide insight into the tectonic context and its implications in which these Cretaceous rocks were deposited.

The results of lithogeochemical analysis of the rocks of the Lancones Basin show bimodal compositions with a tholeiitic to calc-alkaline signature, generated in island arcs transitioning to continental arcs in 10-30 km crust thick. These compositions exhibit predominantly chlorite, carbonates, and pyrite hydrothermal alterations, indicating a greater influence of magmatic fluid and the presence of magnesian carbonates. The Ba/Th and Ta/Yb ratios indicate predominantly mantle fluids with a slight influence of shallow subduction fluids. Additionally, these rocks display a greater influence from deeper subduction fluids, along with a component of mantle-derived fluids.

Casma Basin rocks, on the other hand, exhibit bimodal compositions with a calc-alkaline to high-potassium signature, generated in continental arcs with crustal thicknesses ranging from 20-40 km. These compositions exhibit predominantly sericite, quartz, and pyrite hydrothermal alterations, with a greater influence of external meteoric fluids and the presence of more calcic carbonates.

TABLA DE CONTENIDOS

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. Descripción de la problemática.....	14
1.2.2. Formulación del problema	14
1.2.2.1. Problema general	14
1.2.2.2. Problemas específicos	15
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	15
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.1.1. Cuenca Lancones.....	16
2.1.2. Cuenca Casma.....	17
2.2. BASES TEÓRICAS	18
2.2.1. Generalidades	18
2.2.2. Contexto tectónico	20
2.2.3. Contexto Geológico-Estructural	22
2.2.4. Mineralización.....	24
2.2.5. Alteración hidrotermal.....	25
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	26
3. CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES	30
3.1. HIPÓTESIS GENERAL	30
3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	30
3.3. VARIABLE DE ESTUDIO	30
3.3.1. Variables independientes.....	30
3.3.2. Variables dependientes.....	30
3.4. OPERACIONES DE VARIABLES	31
4. CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS	31
4.1. ÁREA DE ESTUDIO	31
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	33
4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	33
4.4. PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	33
4.4.1. Etapa de pre-campo (Gabinete).....	33
4.4.2. Etapa de Campo.....	34
4.4.3. Etapa de análisis e interpretación de la información	34
4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	34
5. CAPITULO V: MARCO GEOLÓGICO	35
5.1. CUENCA LANCONES	35
5.2. CUENCA CASMA	35
5.2.1. Subcuenca Huarmey	37
5.2.2. Subcuenca Cañete.....	37
6. CAPÍTULO VI: RESULTADOS	37
6.1. CLASIFICACIÓN LITOGEOQUÍMICA	37
6.2. LITOGEOQUÍMICA DE ROCAS MÁFICAS	40

6.3.	LITOGEOQUÍMICA DE ROCAS INTERMEDIAS-FÉLSICAS	42
6.4.	ALTERACIÓN PREDOMINANTE	44
6.4.1.	<i>Método de Halley & Zivkovic</i>	44
6.4.2.	<i>Método de Large</i>	44
6.5.	DIAGRAMA DE TIERRAS RARAS	46
6.6.	ESPESOR CORTICAL	48
6.7.	ANÁLISIS FACTORIAL	51
6.8.	RATIOS PROPUESTOS.....	53
7.	CAPITULO VII: DISCUSIÓN.....	56
8.	CAPITULO VIII: CONCLUSIONES.....	61
9.	CAPITULO IX: RECOMENDACIONES.....	62
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

LISTADO DE MAPAS

MAPA 1. CUENCAS VOLCANO-SEDIMENTARIAS DE LA COSTA NORTE Y CENTRO DEL PERÚ EN LAS CUALES SE REALIZÓ EL ESTUDIO.....	32
MAPA 2. MAPA ISÓPACO DE PROFUNDIDAD DEL MANTO ESTIMADO CON CE/Y PARA EL CRETÁCICO EN EL PERÚ.....	50
MAPA 3. ESQUEMA HIPOTETICO PARA LA EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DEL NORTE DEL PERÚ EN EL CRETÁCICO	58
MAPA 4. ESQUEMA HIPOTETICO PARA LA EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DEL CENTRO DEL PERÚ EN EL CRETÁCICO.	59

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIONES ESPERADAS PARA LOS VMS EN LOS TRES PRINCIPALES AMBIENTES TECTÓNICOS EN LOS CUALES SE FORMAN.....	21
FIGURA 2. FIGURA ESQUEMÁTICA DEL RÉGIMEN DE DESCARGA DE FLUIDOS EN UNA FALLA EXTENSIONAL	23
FIGURA 3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CLASIFICACIONES LITOLÓGICAS.....	25
FIGURA 4. COMPARACIÓN DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DE AMBAS CUENCAS CON SUS PRINCIPALES OCURRENCIAS DE DEPÓSITOS TIPO VMS.....	36
FIGURA 5. DIAGRAMAS DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS VOLCÁNICAS DE PEARCE Y HASTIE	39
FIGURA 6. DIAGRAMAS DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS MÁFICAS DE WOOD Y PEARCE	41
FIGURA 7. DIAGRAMAS DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS INTERMEDIAS -FÉLSICAS DE PEARCE Y LESHER	43
FIGURA 8. DIAGRAMAS DE CLASIFICACIÓN DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL BASADOS EN EL MÉTODO HALLEY & ZIVKOVIC Y EN EL MÉTODO DE LARGE.....	45
FIGURA 9. DIAGRAMAS SPIDER DE TIERRAS RARAS SEPARADOS EN AMBAS CUENCAS Y POR TIPO DE ROCA (MÁFICO-FÉLSICO)	47
FIGURA 10. DIAGRAMA CE/Y DIVIDIDO POR CUENCAS Y SUBCUENCAS.....	49
FIGURA 11. DIAGRAMA SR/Y DIVIDIDO POR CUENCAS Y SUBCUENCAS.....	49
FIGURA 12. ANÁLISIS FACTORIAL Y PROYECCIÓN DE DISCRIMINANTES	53
FIGURA 13. DIAGRAMAS DE DISCRIMINACIÓN DE AMBIENTES PROPUESTOS.....	55
FIGURA 14. INTERPRETACIÓN TECTÓNICA DE LAS CUENCAS DE INTRA-ARCO LANCONES Y CASMA....	60

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE DEPÓSITOS VMS.....	19
TABLA 2. MEDIA GEOMÉTRICA DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES EN LOS VMS DE ACUERDO CON EL TIPO DE ROCA HOSPEDANTE.	20
TABLA 3. ASOCIACIONES MINERALES EN DEPÓSITOS VMS CON SUS VARIACIONES POR METAMORFISMO SOBREIMPUESTO.	26
TABLA 4. TABLA DE OPERACIÓN DE VARIABLES PARA EL PRESENTE ESTUDIO	31
TABLA 5. ANÁLISIS FACTORIAL. RELACIÓN ENTRE 43 ANALITOS Y 7 FACTORES ENCONTRADOS.....	52
TABLA 6. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS CARACTERÍSTICAS CLAVE DE LOS DEPÓSITOS VMS EN LA FAJA COSTERA PERUANA.	57

1. CAPÍTULO I: Introducción

1.1.Introducción

En Sudamérica, el Perú posee la mayor cantidad de depósitos tipo VMS, como los depósitos ricos en metales base (Zn-Cu-Pb-Ag) entre ellos: Cerro Lindo, Palma y Maria Teresa y depósitos ricos en metales preciosos (Au) como Tambo Grande. Siendo ejemplos de clase mundial Cerro Lindo y Tambogrande.

Los depósitos de Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS) en el Perú están asociados a cuencas volcano-sedimentarias submarinas Cretácicas en la costa (Cuenca Lancones y Casma) (Cobbing et al., 1981; Soler 1991; Tegart et al., 2000). Teniendo depósitos como Tambogrande (WC), Cerro Colorado, Miraflores y El Papayo asociados a la Fm. La Bocana en el norte (Valdivia & Torres, 1995; Tegart et al., 2000; Ríos, 2004). Mientras que, en el centro del Perú, en la subcuenca Cañete se ubican Cerro Lindo, Perubar, María Teresa y Palma asociados a las secuencias superiores del Grupo Casma (Medina, 2013; Polliand et al, 2005). Sin embargo, entre ambos clústers de depósitos, en la subcuenca Huarney no se tienen evidencias de depósitos económicos. El objetivo de este estudio es determinar las condiciones tectónicas y los controles metalogenéticos que tuvieron lugar durante la depositación de las rocas volcánicas en las cuencas Lancones y Casma; y cómo estas características se pueden usar como guías en la exploración de depósitos VMS a escala regional en el Perú; Se buscará, así mismo, características que permitan explicar la poca evidencia que se tiene a la fecha de depósitos económicos en la cuenca Huarney.

El contexto tectónico de estas cuencas ha tenido diversas interpretaciones (Ríos, 2004; Cueva et al, 2010; Jaimes et al., 2010; Fontboté, 2019; Jara, 2019); utilizando geoquímica de elementos inmóviles y separando las muestras que presentan desviaciones por alteración, se esperan tener resultados consistentes que permitan discriminar ambos ambientes tectónicos. Así mismo, con base en los resultados, proponer ratios geoquímicas que ayuden a visualizar mejor los contrastes y presentar las características distintivas de cada cuenca y arco volcánico que ayuden a entender el contexto tectónico en el cual se depositaron estas secuencias volcano-sedimentarias.

1.2.Planteamiento del problema

1.2.1.Descripción de la problemática

El Perú cuenta con una riqueza en cuanto a depósitos VMS, teniendo depósitos en principalmente en dos cuencas, en el norte la Cuenca Lancones y en el centro del Perú en la Subcuenca Cañete, dentro de la cuenca Casma. Sin embargo, existe un vacío de depósitos VMS en la Subcuenca Huarmey, probablemente debido a la falta de un modelo tectónico claro que permita su exploración eficiente.

Existen varios trabajos de investigación que abordan el contexto tectónico mediante los cuales se dieron la depositación de estas secuencias volcano-sedimentarias, no obstante, se tienen múltiples interpretaciones que tienen implicancias diferentes para su exploración. Así mismo, muchos de los trabajos que describen la ocurrencia de estos depósitos tipo VMS dentro de estos arreglos volcánicos, se limitan a describir características geológicas a una escala de depósito o se limitan a describir las subcuencas geoquímicamente.

Es necesario conocer los controles metalogenéticos que favorecieron este tipo de depósitos (Tectónica, estructural y litológicas), debido a que estas rocas presentan edades similares que rondan el Cretácico (145-66 Ma) y últimos estudios asocian la edad de mineralización alrededor de los 100 Ma. Por tanto, la falta de un modelo de depositación representa un problema en los procesos de prospección y exploración, que consecuentemente trae consigo un impacto negativo en la tasa de descubrimientos, donde el Perú tiene un alto potencial de albergar depósitos tipo VMS.

1.2.2.Formulación del problema

1.2.2.1.Problema general

¿En qué medida las características litogeoquímicas de las rocas volcánicas cretácicas submarinas se encuentran asociadas a la ocurrencia de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú?

1.2.2.2.Problemas específicos

- ¿Cuáles fueron las diferencias litológicas asociadas a la generación de las rocas volcánicas cretácicas submarinas en el Perú?
- ¿Cómo se diferencian mineralógicamente las ocurrencias de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú?
- ¿Cuáles son las asociaciones mineralógicas relacionadas con las alteraciones hidrotermales asociadas a la ocurrencia de sulfuros masivos en el Perú?

1.3.Objetivos de la Investigación

1.3.1.Objetivo general

Analizar en qué medida las características litogeoquímicas de las rocas volcánicas cretácicas submarinas se encuentran asociadas a sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú.

1.3.2.Objetivos específicos

- Identificar cuáles son las diferencias litológicas asociadas a la generación de ocurrencias de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú.
- Examinar cuáles son las diferencias mineralógicas asociada a la generación de ocurrencias de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú.
- Interpretar cuáles son las diferencias de las asociaciones mineralógicas relacionadas con las alteraciones hidrotermales que están asociadas con las ocurrencias de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú.

1.4.Importancia y alcance de la investigación

Este estudio se realiza con el objetivo de contribuir con el entendimiento de la metalogenia de las rocas volcánicas asociadas a los depósitos tipo Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS) cretácicos, incluyendo sus principales características litológicas, ambiente tectónico y características estructurales.

Se espera poder realizar modelos tectónicos, entendiendo que el éxito de las campañas de exploración depende principalmente de modelo geológico sobre el cual se basan los criterios de exploración. Así mismo se espera poder dar luces y discriminar zonas donde sea más favorable la exploración de depósitos tipo VMS en el Perú y ampliar la visión sobre la posibilidad de ocurrencia mineral especialmente en la subcuenca Huarmey, que

a la fecha se encuentra subexplorada a pesar de que en los últimos años se han empezado a reportar anomalías espectrales y geoquímicas en muestras de sedimentos de quebradas y muestras de rocas (Zuloaga et al. 2018).

2. CAPÍTULO II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Existen una cantidad extensa de trabajos bibliográficos sobre las zonas de estudio, los cuales se detallarán a continuación agrupados por cuencas volcano-sedimentarias:

2.1.1. Cuenca Lancones

Los primeros estudios estratigráficos en esta cuenca volcano-sedimentaria se remontan a Reyes & Caldas (1987), quienes dividen las sucesiones volcánicas como El Ereo, la Bocana y Lancones. Posteriormente Valdivia & Torres (1995), Caldas & Farfán (1997), Jaillard et al. (1998), Injoque et al. (2000), Winter (2008) y Jaimes (2023) realizan modificaciones en el aspecto geológico-estructural y en su clasificación.

En cuanto a trabajos de aspecto regional tectónico y/o metalogenético Valdivia & Torres, (1995) y Caldas & Farfán (1997) consideran la cuenca Lancones como de tipo Intrarco, mientras que Injoque et al. (1979, 2000), sugieren que las rocas volcánicas cretácicas de la cuenca Lancones están asociadas a cuatro arcos volcánicos que en conjunto forman el arco compuesto de la cuenca intracratónica Lancones. Finalmente, Tegard et al. (2000) y Rios (2004) proponen un modelo de evolución tipo rift hasta una cuenca marginal. Rios (2004) determina dos metalotectos importantes, uno determinado complejo basal volcánico (Fm. El Ereo) de afinidad toleítica y el complejo volcánico-sedimentario (Fm. La Bocana) de afinidad Toleítica a Calcoalcalina. El primer metalotecto asociado a sulfuros masivos de Cu-Zn-Au, tipo Tambogrande y el segundo asociado a Sulfuros masivos de Zn-Pb-Ag, tipo Kuroko. Winter (2008) encuentra que la data geoquímica de las secuencias basálticas que rellenan la cuenca Lancones indica signatures a ambientes de arcos volcánicos.

Cabe mencionar trabajos de Vidal (1987), Steinmuller (1999) y Canchaya et al. (2001) que realizan investigaciones asociadas en la ocurrencia de los depósitos tipo VMS en la cuenca.

2.1.2.Cuenca Casma

Los primeros estudios estratigráficos en esta cuenca volcano-sedimentaria se remonta a descripciones y correlaciones estratigráficas realizadas por Trotterau y Ortiz (1963), Myers (1974, 1980), Offler et al, (1980), Guevara (1980), Cobbing et al. (1981), Soler & Bonhomme (1990) y Jacay (2005), recientemente en base a nuevas dataciones Leon et al. (2023) indica que Formación Chilca debe ser más reciente que la Formación Quilmaná como inicialmente fue planteado por Salazar (1993). La subdivisión de la Cuenca Casma en dos sub-cuencas fue planteada por Atherton et al, (1985).

La edad del grupo Casma está siendo ampliamente discutida, inicialmente se tenían trabajos paleontológicos de Myers (1974), siendo considerada Albiano-cenomaniano; luego dataciones radiométricas de Noble et al. (2005), Polliand et al. (2005) que validan estas edades, sin embargo, posteriormente Romero (2007) encuentra rocas asignadas al Grupo Casma con edades radiométricas alrededor del Maastrinchtiano-Daniano que considera como una cuenca aparte. Recientemente Ccallo et al. (2023) encuentra dataciones radiométricas que abarcan todo el cretácico, actualmente INGEMMET se encuentra trabajando en realizar un cartografiado de las secuencias volcano-sedimentarias, así como de toma de data radiométrica que permitan poder diferenciar mejor estas secuencias.

En cuanto a trabajos de metalogenia y/o Tectónica resaltan los trabajos de Altherton & Webb (1989) y Aguirre et al, (1989) interpretan un contexto de cuenca marginal de tras-arco con un fuerte adelgazamiento cortical. Soler (1991) propone que la depositación del Grupo Casma ocurre en un contexto tectónico de Arco volcánico extensivo. Polliand et al. (2005) infiere un contexto de cuencas Pull-apart de intrarco con base en estudios de reconstrucción de placas e interpretación de imágenes satelitales en el depósito de Perubar. Romero (2007) propone una nueva cuenca de edad Maastrinchtiano-Daniano (70-60 Ma) que se depositan como una cuenca del tipo marginal de tras-arco. Cueva et al, (2010) interpretan 2 contextos tectónicos uno para las secuencias volcánico-sedimentarias, uno más antiguo (Albiano-cenomaniano) de contexto arco-volcánico extensivo y uno más joven (Maastrinchtiano-Daniano) de contexto de tras-arco. Así mismo, Atherton et al. (1985), Soler (1991), Romero (2007), Cueva et al. (2010) y Jara (2019) quienes muestran que signatures calcoalcalinas a toleíticas asignadas a las rocas del Grupo Casma.

2.2.Bases Teóricas

2.2.1.Generalidades

Los depósitos de sulfuros masivos Volcanogénicos (VMS) son una fuente importante de Cu, Zn, Pb, Au y Ag, además son responsables de la mitad de la producción global de Pb y Zn, y un 7% y 18% de la producción de Cu y Ag respectivamente, así como de cantidades significantes de Au y otros metales. (Singer, 1995; Hannington, 2014).

Estos depósitos se forman en las cercanías del fondo oceánico, como resultado de una mezcla de fluidos marinos e hidrotermales en celdas convectivas impulsadas por calor (Franklin et al. 1981; Large 1992; Franklin et al. 2005; Galley et al. 2007; Shanks and Thurston 2012; Hannington 2014). Los VMS ocurren prácticamente a lo largo de toda la historia geológica alrededor del mundo desde los 3.55 Ga hasta la actualidad, sin embargo, en el Perú, están asociados a edades alrededor del Cretácico medio (100 Ma).

El termino Volcanogénico implica una relación espacial entre la mineralización y la actividad volcánica, incluso cuando las rocas siliciclásticas dominan la estratigrafía (Franklin et al. 2005; Shanks and Thurston 2012; Hannington 2014). La composición de las rocas volcánicas asociadas a la mineralización va en un rango de máfico a félsico, arreglos bimodales no son poco comunes (Barrett and MacLean 1997; Franklin et al. 2005; Shanks and Thurston 2012). Las secuencias volcánicas consisten en lavas almohadilladas masivas, flujos de lavas, hialoclastitas, brechas, depósitos piroclásticos, sedimentos volcanoclasticos y peperitas. (Shanks 2001; Hannington et al. 2005; Galley et al. 2007; Shanks and Thurston 2012). Franklin et al (2005), describen como las sucesiones estratigráficas están asociadas al tipo de depósito que albergan, donde están divididas en cinco tipos: secuencias sedimentarias Máficas, bimodal máfica, Pelíticos máficos, bimodal félsica y siliciclástica (Tabla 1). Alrededor del mundo, los depósitos que más abundan son el tipo bimodal máfico que en conjunto con los depósitos siliciclásticos y pelíticos máficos los que más aportan en tonelaje (Galley et al, 2007). Las leyes más altas de Ag y Pb están asociadas a depósitos bimodales félsicos, mientras que las que más Au tienen son del tipo máficas (Galley et al., 2007) (Tabla 2).

Tabla 1. Clasificación de depósitos VMS

Tipo	Asociación	Metales económicos	Geoquímica	Contexto
I	Máfico	Cu-Zn (Au)	Toleítico (MORB)	Dorsales oceánicas, corteza oceánica engrosada, cuenca oceánica trasarco, arcos primitivos (Ofiolitas)
II	Máfico-pelítico	Cu (Zn-Ag)	Toleítico-alcálido	Dorsal oceánica con sedimentos, Zonas de extensión continental (Corteza oceánica)
III	Bimodal-máfico	Cu-Zn (Au-Ag)	Calcoalcalino	Cuencas tras-arco en arcos volcánicos primitivos a intermedios (Arcos de isla)
IV	Bimodal-félsico	Cu-Pb-Zn-Ag (Au)	Calcoalcalino	Zonas de extensión en arcos volcánicos evolucionados con corteza continental
V	Félsico-siliciclástico	Cu-Zn-Pb (Ag-Au)	Calcoalcalino-Toleítico	Zona de extensión intracontinental

Nota. Los datos fueron obtenidos de los estudios de Large (1992), Barrie & Harrington (1999), Lydon (1984, 1988), Franklin et al (1981, 2005) y Prokin & Buslaev (1999).

Los depósitos VMS en la cuenca Lancones han sido clasificados en dos clases, los asociados a la Formación San Lorenzo a Sulfuros Masivos de Cu-Zn-Au tipo Tambogrande y el segundo asociado a las formaciones La Bocana y El Ereó de Sulfuros Masivos de Zn-Pb-Ag Tipo Kuroko (Ríos, 2004). El primero de tendencia bimodal máfico, clasificado como único en su tipo por sus contenidos elevados de Au y Ag (Tegart et al., 2000; Serrano, 2003; Ríos, 2004; Winter, 2008), mientras que el segundo tipo, más evolucionado, ha sido clasificado como Bimodal félsico, tipo Kuroko (Ríos, 2004; Winter, 2008). Por otro lado, en la cuenca de Lancones entre Los Encuentros y Las Orquetas, Valdivia y Torres (1995) indican la presencia de stocks de andesitas porfiríticas y diques aplíticos (pórfido) con piritita diseminada y alteración argílica correspondientes a un complejo plutónico mineralizado.

Los depósitos VMS en la cuenca Casma, específicamente en la sub-cuenca Cañete han sido clasificados como tipo Kuroko (Vidal, 1987; Cueva et al, 2010), sin embargo, son reclasificados según la clasificación de Franklin et al. (2005) como de tipo bimodal félsicos, muy similar a la Cuenca Lancones del Cretácico superior ricos en Zn-Pb-Ag (Jara, 2019).

Tabla 2. Media Geométrica de las concentraciones de los metales en los VMS de acuerdo con el tipo de roca hospedante.

	Máfico	Bimodal-Máfico	Máfico-pelítico	Bimodal Félsico	Félsico-Silicilástico
Cu (%)	1.82	1.24	1.23	1.04	0.62
Zn (%)	0.84	2.32	1.58	4.36	2.70
Pb (%)	0.02	0.30	0.68	1.14	1.09
Au (ppm)	1.40	0.81	0.75	1.06	0.59
Ag (ppm)	11	21	19	56	39
Total sulfuros (Tn)	2,699,466	3,421,075	4,721,093	3,320,784	7,139,305
Total de metal (Tn)	63,035	128,515	132,968	198,461	324,748
Cantidad	76	291	90	241	106

Nota. Los datos fueron obtenidos del estudio de Franklin J. et al. (2005).

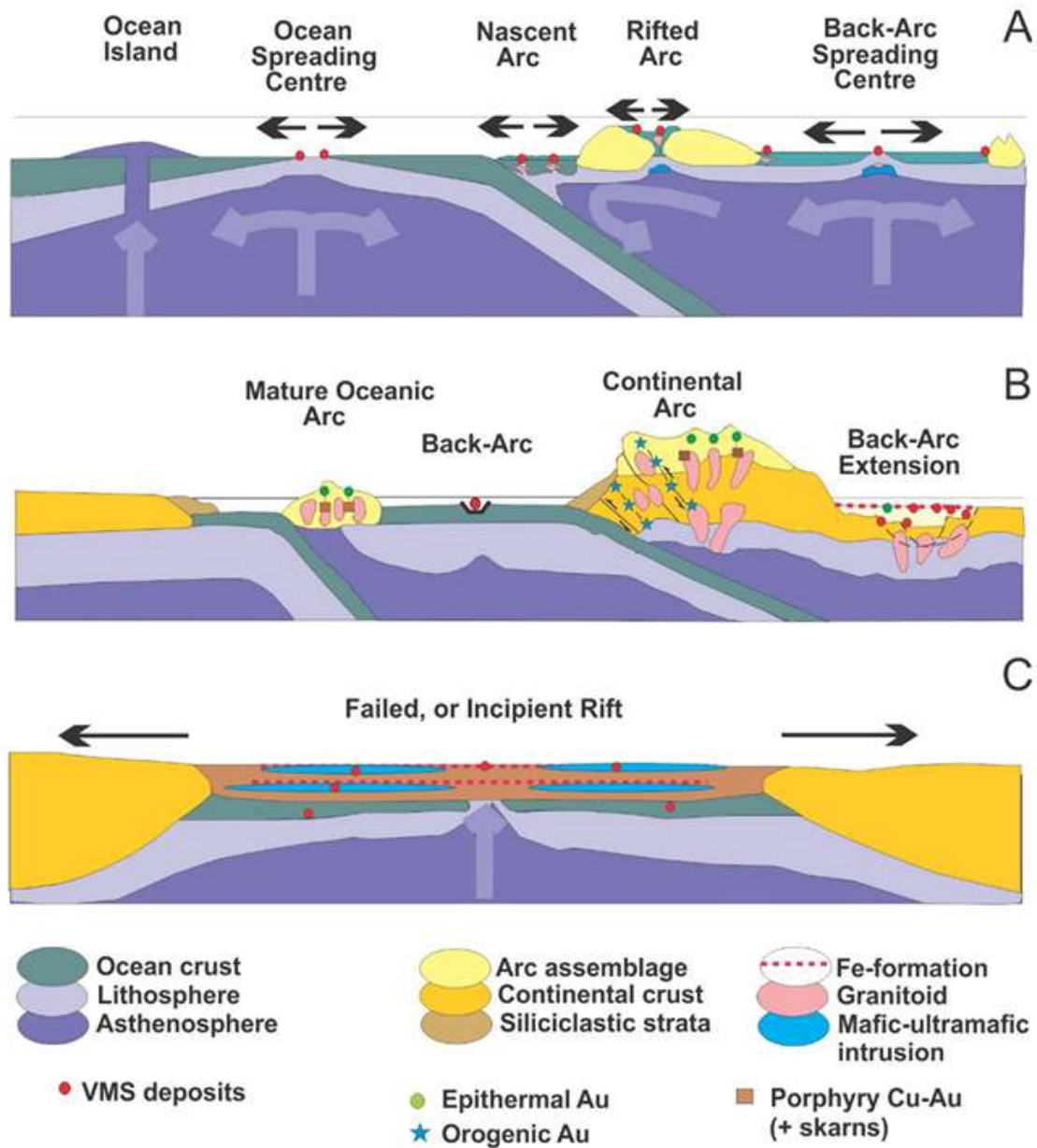
2.2.2.Contexto tectónico

Los depósitos de Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS) se forman en contextos extensionales, en ambientes tectónicos convergentes y divergentes (Huston et al., 2010), las rocas asociadas suelen ser caracterizadas por ser sucesiones volcánicas bimodales de signatures toleíticas a calco-alcalinas.

Los depósitos VMS de signatures máficas (Tipo I, II y III) se forman en ambientes relacionados a arcos oceánicos, la evolución de un rift naciente (Tipo I) y el desarrollo de cuencas de trasarco de isla (Tipo II y III). Estos ambientes están mas relacionados a enriquecimiento de Cu y Au (Franklin et al, 2005).

Los depósitos VMS de signatures félsicas (Tipo IV y V) se forman en ambientes geodinámicos tipo “Andinos” en márgenes convergentes en arcos continentales asociados a las cuencas de tras-arco (Franklin et al. 2005). Esta extensión cuentas de tras-arco se da en ambientes de subducción por procesos de slab rollback, este proceso provee el contexto térmico, tectónico e hidrotermal (Franklin et al, 2005) necesario para la formación de depósitos VMS. Estos depósitos están asociados al enriquecimiento de Zn y Pb (Franklin et al, 2005) (Fig.1).

Figura 1. Localizaciones esperadas para los VMS en los tres principales ambientes tectónicos en los cuales se forman



Nota. Los datos fueron obtenidos del estudio de Galley, AG, Hannington, MD, Jonasson, IR (2007). A) Extensión oceánica y formación de arco oceánico a partir del desarrollo de las zonas de subducción. B) Subducción de arcos maduros oceánicos y arcos oceánico-continental. C) Rift incipiente. La tierra inicialmente estaba dominada por actividades de plumas mantélicas asociadas con el desarrollo de numerosos rifts incipientes.

2.2.3.Contexto Geológico-Estructural

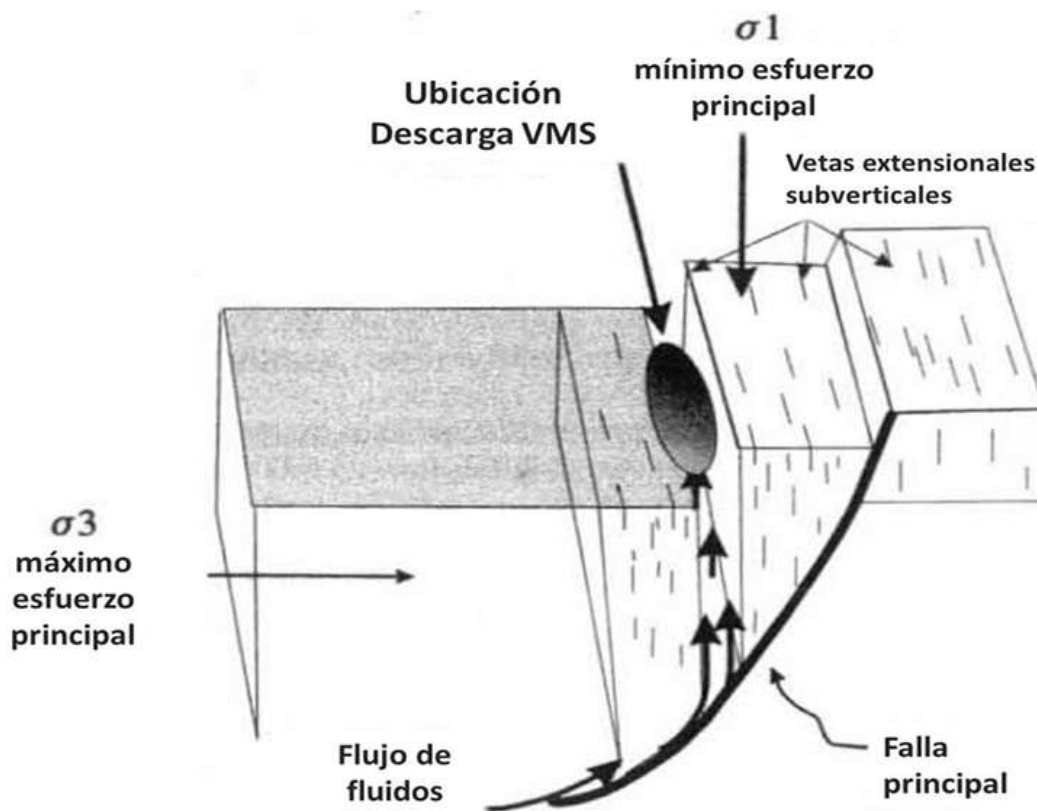
Los depósitos VMS bimodales-máficos ocurren en arreglos de rifts incipientes y subducción de arcos oceánicos, típicamente con una abundancia de menos del 25% de sucesiones volcánicas félsicas, mientras que los depósitos VMS bimodales-félsicos ocurren en arreglos de rifts incipientes, así como en subducción de arcos continentales, típicamente con una abundancia del 35-70% de sucesiones volcánicas félsicas acompañadas de intrusiones sub-volcánicas máficas y félsicas (Franklin et al, 2005).

A escala distrital estos depósitos ya sean de naturaleza bimodal-felsica o bimodal-máfica, ocurren en clústers controlados por estructuras corticales de primer orden, por norma general asociados a adelgazamientos corticales, ya sea en arreglos de tras-arco o rifts (Galley et al, 2007). Suelen contener una cantidad de moderada a media de sedimentos, generalmente de ambiente marino, como pelitas y arenas inmaduras en el caso de los bimodales-máficos y de ambiente continental como arenas maduras en el caso de los bimodales-félsicos (Franklin et al., 2005). Mientras que la mayoría de estos distritos de clústers presentan intrusiones sub-volcánicas de ambas signaturas y dentro de las sucesiones volcánicas, hay dos niveles que indican cercanías al cuerpo, el primero un nivel de horizontes ferruginosos de Exhalitas de 1-5m de espesor que pueden cubrir decenas de metros (Spry et al, 2000; Peter, 2003) que son una combinación de materiales volcánicos, chert y carbonatos. Mientras que el otro nivel, un poco más regional es la particular presencia de andesitas que han sido registradas en VMS bimodales-máficos (Franklin et al., 1985; Embley et al., 1988; *Perfit, M., & Chadwick, W., 1999*; Johnson et al, 2000; Tegart et al, 2000) y que basado en estudios de litogeoquímica e isotopía Embley (1998) demostró que esta andesita no fue formada a lo largo de un proceso de cristalización fraccionada, sino a través de la contaminación de un fundido basáltico por la fusión parcial de la corteza hidratada, indicando la presencia de un magma cortical de alto nivel durante la formación de los VMS.

A escala local, los VMS tiene un control estructural importante, que ha sido demostrado por su orientación preferencial y su proximidad a la fuente volcánica (Scott, 1980). El estudio de sistemas actuales de fondos marinos en rifts y grabens que indican que la orientación de las fallas es controlada por la dirección del esfuerzo principal durante el periodo de extensión y vulcanismo que es por lo general subhorizontal y perpendicular al eje del del rift (Kappel & Franklin, 1989; Kleinrock et al., 1997; Davidson et al, 2004).

Estudios isotópicos y mineralógicos indican que las fallas listricas maestras juegan un rol importante para el ascenso de los fluidos. En arcos más maduros, en cuencas de tras-arco sedimentarias, las fallas continúan teniendo un papel fundamental para la localización de sills, domos y actividad hidrotermal, como resultado del desarrollo de depósitos tipo pelíticos-máficos. La ubicación de estas fallas podría ser evidencia por discontinuidades locales en la estratigrafía del piso de falla, enjambres de diques, domos y criptodomos, así como flujos félsicos locales (Franklin et al., 2005) (Fig.2).

Figura 2. Figura esquemática del régimen de descarga de fluidos en una falla extensional



Nota. Los datos fueron obtenidos del estudio de Franklin J., Gibson H., Jonasson I., and Galley A. (2005).

Inicialmente, el estudio de la formación de los sistemas VMS se concentró en el modelo donde los sulfuros se acumulaban en el fondo oceánico, luego de ser descargado por fluidos hidrotermales exhalativos, como postularon Solomon and Walshe (1979) y fue posteriormente apoyado por el descubrimiento de las chimeneas de sulfuros en los sistemas activos en los actuales sistemas hidrotermales (Francheteau et al, 1979; Fouquet

et al. 1991) y de los depósitos de sulfuros masivos bien preservados (Franklin et al. 1981; Vearncombe et al 1995; Hannington and Barrie 1999).

Estudios posteriores han descrito una gran variedad de depósitos de reemplazamientos de sulfuros masivos de subsuelo marino en la actualidad y especialmente en antiguas sucesiones sedimentarias (Doyle & Allen 2003). Así mismo, Doyle & Allen reconocen la importancia de los reemplazamientos de subsuelo marino y acuñan el término sistemas VHMS (Sulfuros masivos hospedados en secuencias volcánicas) para depósitos en los cuales la precipitación de los sulfuros se dio en secuencias volcánicas o sedimentarias preexistentes. El reemplazamiento de la estratigrafía por la mineralización de sulfuros masivos es sincrónico con el vulcanismo, sedimentación y diagénesis de los estratos adyacentes (Doyle & Allen 2003).

Doyle & Allen (2003) proponen igualmente una serie de criterios para discriminar reemplazamientos de subsuelos marinos (VHMS) de la acumulación de sulfuros masivos en el fondo marino (VMS). Los depósitos VHMS, al contrario de los VMS, exhiben típicos reemplazamientos entre los sulfuros masivos y la estratigrafía hospedante, relictos de la roca caja entre los lentes de sulfuros y evidencia de reemplazamientos rápidos entre de la sucesión hospedante. Doyle & Allen (2003) describen una serie de criterios base en estratigrafía, incluyendo cortes entre las intrusiones y el vulcanismo que limitan la alteración entre la secuencia hospedante.

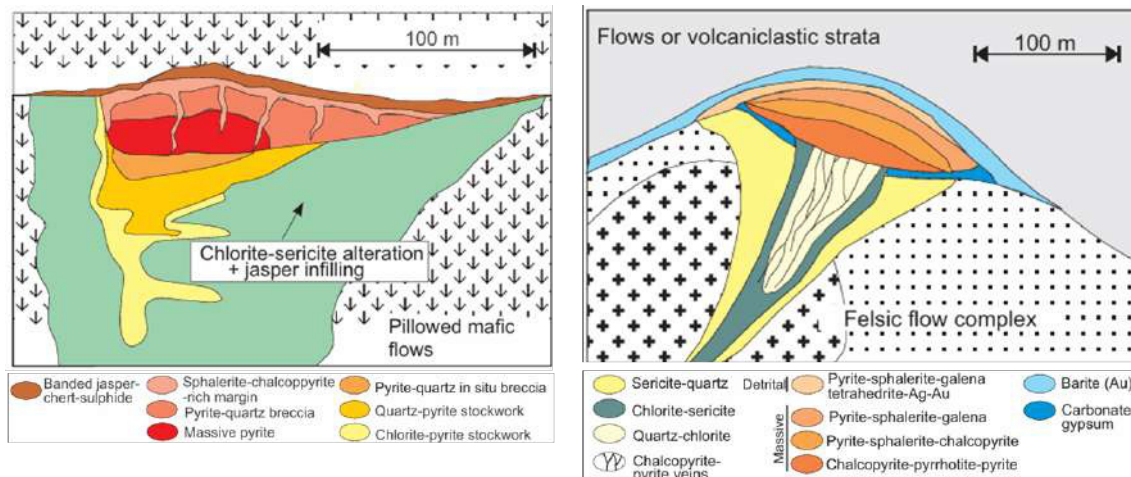
2.2.4.Mineralización

Los depósitos bimodales-máfico tipo Tambogrande están caracterizados por tener mineralizaciones polimetálicas Cu-Zn-Au, que ocurre en cuerpos lenticulares de sulfuros en secuencias de composiciones basálticas y dacíticas, donde diques dacíticos cortan toda la secuencia y la mineralización. Esta mineralización está zonada, conformado por un núcleo de pirita masiva con diseminación de covelina, digenita, calcocina, galena y esfalerita. En la parte superior presenta Baritina y óxidos de hierro (Winter, 2008).

Los depósitos bimodales-félsicos tipo Kuroko están caracterizados por tener una mineralización polimetálica Zn-Cu-Pb (Ag), que ocurre en cuerpos lenticulares sobre zonas de stockwork, en secuencias volcánicas félsicas o volcanoclásticas, cercanos a la interfase con secuencias basálticas (basaltos andesíticos o andesitas). Esta mineralización

consiste principalmente de un núcleo de calcopirita-pirrotina y una zona externa de esfalerita-pirita-galena con minerales accesorios como bornita, tenantita, arsenopirita y teluros. En la parte superior presentan baritina y/o anhidrita (Barrie and Harrington, 1999; Franklin et al., 2005) (Fig.3).

Figura 3. Representación gráfica de las clasificaciones litológicas.



Nota. Los datos fueron obtenidos del estudio de Barrie & Hannington (1999) modificadas por Franklin et al. (2005). Siendo los modelos bajo los cuales los depósitos peruanos han sido clasificados. A la Izquierda modelo VMS Bimodal-máfico, a la derecha, modelo VMS Bimodal-félsico.

2.2.5.Alteración hidrotermal

En los depósitos VMS, la alteración comúnmente se muestra como arreglos de alteración zonales que reflejan la influencia de una serie de procesos como el flujo de la interacción agua/roca (Fig.3), como resultado de un proceso de alteración hidrotermal (Galley, Hannington, Jonhson, (2007); Shanks and Thurstun, 2012; Hannington, 2014). Adicionalmente, estos depósitos poseen ensambles de alteración característicos (Shanks and Thruston, 2012), mostrados en la Tabla 3. Estos ensambles típicamente van de un núcleo de cuarzo-clorita, variando a clorita-sericita hacia los bordes (Large, 1992; Gemmel and Herrmann 2001; Hollis et al. 2015). Este arreglo esquemático de zonas de alteración hidrotermal es comúnmente utilizado en la industria de exploración como un método que sirva como una guía hacia los cuerpos mineralizados.

Tabla 3. Asociaciones minerales en depósitos VMS con sus variaciones por metamorfismo sobreimpuesto.

Tipo de Alteración	Asociaciones minerales sin metamorfismo	Asociaciones minerales en terrenos metamórficos
Argílica Avanzada	Kaolinita, alunita, ópalo, Smectita	Kaolinita, silimanita, Kyanita Pirofilita, andalusita, corindón, cuarzo, topacio
Argílica	Sericita, illita, smectita, Pirofilita, ópalo	Sericita, illita, pirofilita, sillimanita, kyanita, cuarzo, biotita, cordierita, granate
Sericítica	Sericítico, illita, ópalo	Sericita, illita, cuarzo, biotita, feld. K, sillimanita, kyanita, cuarzo, cordierita, granate.
Clorítica	Clorita, ópalo, cuarzo, sericita	Clorita, cuarzo, sericita, cordierita, piroxeno, anfíbol, flogopita, sillimanita
Carbonato propilítica	Carbonato (Fe, Mg), epidota, clorita, sericita, feldespato	Carbonato (Fe, Mg), epidota, clorita, sericita, feldespato, granate, hornblenda, diópsido, piroxeno.

Nota. Los datos fueron obtenidos del estudio Shanks and Thruston (2012).

2.3. Definición de términos

- **Análisis Factorial:** técnica estadística utilizada para reducir la complejidad de grandes conjuntos de datos, identificando factores subyacentes que explican las relaciones entre variables observadas. Su objetivo es agrupar variables correlacionadas en factores comunes, simplificando el análisis y facilitando la interpretación de los datos.
- **Arco Magmático:** faja de generación de magma a lo largo de placas tectónicas convergentes, originadas por el proceso de subducción.
- **Arco Volcánico:** cadena de volcanes alineados a lo largo de una zona de subducción. El magma generado por la fusión de la placa subducida asciende a la superficie, formando volcanes en una línea o arco, generalmente cerca de la costa.
- **Clúster:** conjunto de ocurrencias o depósitos minerales que ocurren en un área cercana.

- **Convergencia de Placas:** proceso en el cual dos placas tectónicas se acercan, colisionan y una placa se hunde debajo de la otra.
- **Cuenca de Tras-arco:** tipo de cuenca submarina que se forma detrás de un arco volcánico en zonas de subducción, donde la corteza se adelgaza y hunde, influenciada por la placa subducida.
- **Cuenca Marginal:** cuenca sedimentaria cerca a los márgenes de un continente o de un arco volcánico, generalmente asociada a procesos tectónicos de subducción o expansión oceánica.
- **Cuenca Pull-apart:** cuenca sedimentaria formada por fallas de rumbo, donde en el centro se genera una subsidencia que acumula sedimentos. Este tipo de cuenca ocurre debido a un movimiento horizontal de las placas tectónicas que provoca el "tirón" o separación, generando una área de hundimiento o extensión. Las cuencas pull-apart suelen estar asociadas con actividad sísmica y pueden encontrarse en zonas de fallas transformantes.
- **Cuenca tipo Rift:** cuenca sedimentaria formada en una zona de extensión de la corteza terrestre, donde las placas tectónicas se separan, generando un adelgazamiento en la corteza y un hundimiento del terreno.
- **Cuenca Volcano-sedimentaria:** zona deprimida de la corteza donde se acumulan sedimentos derivados de la erosión de los materiales volcánicos, junto con productos de actividad volcánica como cenizas y lavas. Estas cuencas se encuentran generalmente cerca de zonas de actividad volcánica, como arcos volcánicos.
- **Exhalita:** roca sedimentaria que se forma por la deposición de minerales a partir de vapores o gases emanados de fuentes termales, fumarolas o actividad volcánica generalmente submarina. Estos minerales se precipitan cuando los gases, principalmente dióxido de azufre, agua, o compuestos metálicos se enfrían.
- **Félsico:** rocas ígneas ricas en silicatos de elementos ligeros, como silicio, potasio y sodio que presentan coloraciones claras. típicamente discriminadas por su elevado contenido en sílice (mayor al 65%).
- **Litogeoquímica:** disciplina de la geología que estudia la composición química de las rocas. Se enfoca en el análisis y la interpretación de los elementos y compuestos presentes en las rocas para entender su origen, procesos de formación y evolución. La litogeoquímica se utiliza para caracterizar distintos tipos de rocas

(ígneas, sedimentarias, metamórficas), identificar recursos minerales, y estudiar la evolución tectónica y geológica de una región.

- **Máfico:** rocas ígneas ricas en minerales hierro y magnesio como el olivino, piroxeno y anfíbol. Suelen tener coloraciones oscuras y bajos contenidos de sílice (menores al 52%).
- **Metalogénico:** término que se utiliza para describir los procesos geológicos que conducen a la concentración de metales en depósitos minerales, así como las condiciones geológicas bajo las cuales estos depósitos se forman.
- **Placa continental:** losa de la litosfera terrestre que forma los continentes y se caracteriza por ser más gruesa y menos densa que la placa oceánica, compuesta principalmente por rocas graníticas.
- **Placa oceánica:** losa de la litosfera que forma el fondo de los océanos, siendo más delgada y densa que la continental, compuesta principalmente por rocas basálticas.
- **Rift:** fisura o grieta en la corteza terrestre donde las placas tectónicas se separan o extienden. Este proceso de rifting ocurre cuando la corteza se estira y adelgaza, generando una zona de hundimiento que puede dar lugar a la formación de cuencas sedimentarias, valles y, en algunos casos, nuevos océanos.
- **Signatura Calco-alcalina:** composición química de las rocas ígneas, caracterizadas por un alto contenido de calcio y sodio, en relación con otros elementos como el potasio. Estas rocas suelen ser félsicas o intermedias. Este tipo de signatura es comúnmente asociada con ambientes tectónicos de subducción, como arcos volcánicos.
- **Signatura Toleítica:** composición química de rocas ígneas, especialmente basálticas, que se caracteriza por un alto contenido de hierro y magnesio en relación con otros elementos como el calcio y el sodio. Estas rocas tienen una baja concentración de potasio y son típicas de las zonas de expansión oceánica, como las dorsales oceánicas, donde la corteza se forma por la actividad volcánica en el fondo marino. La signatura toleítica está asociada a ambientes tectónicos extensionales.
- **Slab Rollback:** fenómeno tectónico que ocurre cuando una placa tectónica que está siendo subducida ("slab") no solo se hunde en la astenosfera, sino que también se mueve horizontalmente hacia atrás, alejándose de la zona de

subducción. Este retroceso arrastra la placa subductada estirándola y generando una extensión de tras-arco.

- **Stockwork:** Sistema de vetillas de estructura compleja o con orientación aleatoria asociado generalmente a depósitos hidrotermales.
- **Subducción:** Proceso por el que una placa litosférica oceánica se hunde bajo otra placa, ya sea oceánica o continental.
- **Sulfuros masivos Volcanogénicos (VMS):** depósitos de minerales que se forman en ambientes submarinos, asociados a actividad volcánica, generalmente en zonas de dorsales oceánicas o arcos volcánicos. se caracteriza por mineralización estratiforme de sulfuros y que se forma sobre o cerca de la superficie marina, en asociación espacial, temporal y genética con vulcanismo submarino.
- **Tectónica:** rama de la geología que estudia la estructura, movimientos y deformaciones de la litosfera terrestre, así como las fuerzas que generan estas transformaciones. Se enfoca en cómo las placas tectónicas se mueven, interactúan y se reorganizan en la corteza terrestre.
- **Tierras Raras (REE):** Grupo de 17 elementos químicos que incluye a los 15 elementos lantánidos (lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio, lutecio), además el Itrio y Escandio son considerados por tener similitudes en sus propiedades químicas y físicas con los lantánidos.
- **Tierras raras ligeras (LREE):** grupo de elementos químicos dentro de las tierras raras que corresponden a los metales de transición, tienen números atómicos bajos (lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio y gadolinio). Estos elementos son menos densos y tienen propiedades químicas similares.
- **Tierras raras pesadas (HREE):** grupo de elementos químicos dentro de las tierras raras que tienen números atómicos más altos (Terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio) que incluyen también al Itrio por su similitud química. Estos elementos son más densos que las Tierras raras ligeras.
- **Vulcanismo Bimodal:** Actividad volcánica de composición máfica y félsica.

3. CAPÍTULO III: Hipótesis y variables

3.1.Hipótesis general

El análisis litogeoquímico de las rocas volcánicas cretácicas submarinas se encuentra asociado a la ocurrencia de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú.

3.2.Hipótesis Específicas

- Las diferencias litológicas asociadas con la generación de las rocas volcánicas cretácicas submarinas se relacionan con la ocurrencia de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú.
- Las diferencias mineralógicas asociadas con las rocas volcánicas cretácicas submarinas se asocian con la ocurrencia de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú.
- Las diferencias en las asociaciones mineralógicas relacionadas con las alteraciones hidrotermales en las rocas volcánicas cretácicas submarinas se relacionan con la ocurrencia de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú.

3.3.Variable de estudio

3.3.1.Variables independientes

Litogeoquímica de las rocas volcánicas Cretácicas submarinas

3.3.2.Variables dependientes

Ocurrencias de sulfuros masivos volcanogénicos en el Perú

3.4. Operaciones de variables

Tabla 4. Tabla de operación de Variables para el presente estudio

Variables		Definición	Dimensión	Indicadores
Dependiente	<i>Ocurrencia de Sulfuros Masivos Volcano génicos en el Perú</i>	Ocurrencia de minerales que se forman en ambientes submarinos, asociados a actividad volcánica.	- Principales menas - Características litológicas - Alteración predominante	- VMS ricos en Cu, Zn, Au - VMS ricos en Zn, Cu, Pb, Ag - Modelo bimodal máficos - Modelo bimodal félsicos - Alteración predominante Ser+Qz+Py - Alteración predominante Clr+Car+Py
	<i>Litogeología de rocas Volcánicas Cretácicas submarinas</i>	Análisis de la composición química de las rocas volcánicas para determinar origen, formación y evolución geológica.	- Ambiente tectónico - Espesor cortical - Signatura Geoquímica	- Generados en cuencas de tras-arcos. - Generados en cuencas tipo rift. - Espesores corticales someros - Espesores corticales profundos - Signatura calcoalcalino - Signatura Toleítica

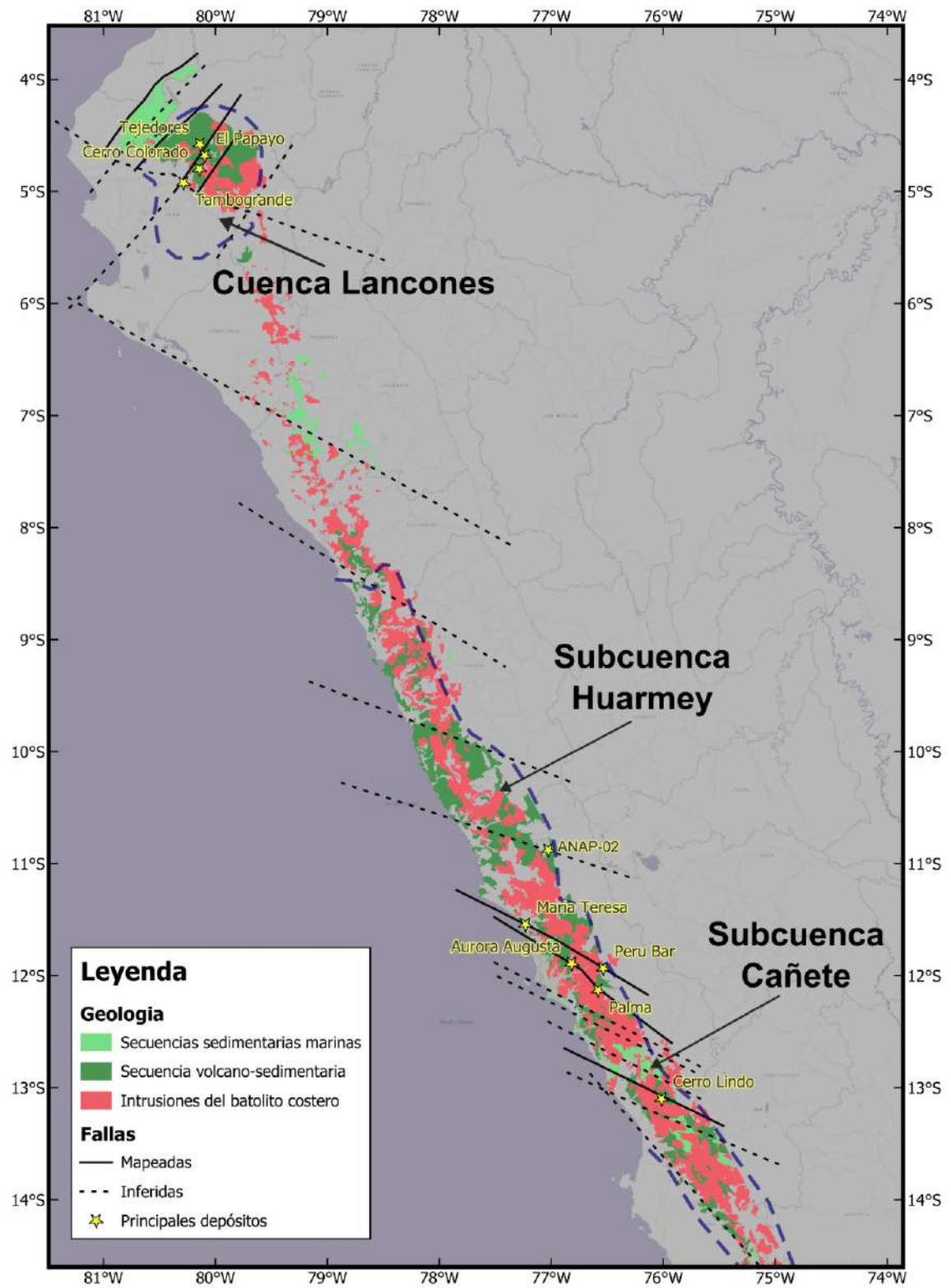
Nota. Elaboración propia

4. CAPÍTULO IV: Materiales y Métodos

4.1. Área de Estudio

El estudio fue realizado a lo largo de las costas del Perú, en las cuencas Lancones y Casma, donde afloran rocas volcano-sedimentarias submarinas cretáceas denominadas grupo Casma en el centro y las formaciones San Lorenzo, El Ereo y La Bocana en el norte del País, asociadas a la ocurrencia de depósitos minerales de sulfuros masivos Volcanogénicos (VMS). Así mismo, de las rocas volcánicas de la subcuenca Huarney, para caracterizarlas y medir su potencial para albergar mineralización tipo VMS (Mapa 1).

Mapa 1. Cuencas volcano-sedimentarias de la costa norte y centro del Perú en las cuales se realizó el estudio



Nota. Adaptado de Torr , L. et al. (2022) y Jaimes, F. (2023). Elaboración propia.

4.2.Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolla en base a dos tipos de investigación, descriptivo porque establece del análisis litogeoquímico de las rocas volcánicas cretáceas su asociación en la ocurrencia de depósitos VMS en el Perú y explicativo, porque busca entender estas características metalogénicas (Tectónicas, estructurales y litológicas) para saber cómo se formaron estas rocas volcánicas en las cuencas Lancones y Casma.

4.3.Población y muestra

La población está constituida por los afloramientos de las rocas volcánicas en la cuenca Lancones y Casma, las cuales han sido muestreadas por campañas de litogeoquímica entre ellas: Rios (2004), Noble et al. (2005), Winter (2008), Jara (2019), Campañas INGEMMET (2006, 2007, 2012), etc. Se recopiló la información correspondiente a un total de 123 muestras de dichos trabajos de rocas volcánicas (98 de la cuenca Lancones, 11 de la cuenca Huarmey y 14 de la cuenca Cañete). Las muestras fueron procesadas mediante digestión por metaborato de Litio y analizados por ICP-OES para elementos mayores, mientras que mediante digestión por 4 ácidos que fueron analizados por ICP-MS para elementos traza.

4.4.Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información

El desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo en 3 etapas:

4.4.1.Etapa de pre-campo (Gabinete)

Corresponde a la etapa de trabajo inicial de recopilación bibliográfica y diseño del programa de trabajo de campo, donde se realizó las siguientes actividades:

- Recopilación de información bibliográfica (artículos científicos, tesis, presentaciones, etc.) relacionadas a la génesis de los depósitos de Sulfuros masivos Volcanogénicos (VMS), evolución tectónica de Sudamérica durante el Jurásico, Cretácico y Paleoceno, geología regional de la cuenca Lancones y Casma y las características geológicas de los VMS en el Perú y el mundo.
- Clasificación de información según el tema y área de estudio.
- Recopilación de información cartográfica: cuadrángulos geológicos (INGEMMET) a escala 1:100 000 y 1:50 000.

- Recopilación de base de datos de Geoquímica (diversas fuentes), de yacimientos y franjas metalogenéticas (INGEMMET).
- Recopilación e interpretación de imágenes satelitales (ASTER DEM, SASPLANET y Google earth).
- Elaboración de mapas temáticos
- Plan de trabajo de campo para la cuenca con menor densidad de información, determinación de rutas de acceso, zonas de levantamiento de columnas, etc.

4.4.2.Etapa de Campo

Esta etapa involucra las siguientes actividades:

- Descripción de afloramientos con su respectiva ubicación geográfica (GPS) y registro fotográfico.
- Levantamiento de columnas estratigrafías en puntos específicos, que se utilizaron para la generación del resumen de la columna regional en conjunto con la información bibliográfica, así como para la descripción de cada cuenca.

4.4.3.Etapa de análisis e interpretación de la información

Corresponde a la etapa de procesamiento e interpretación de datos obtenidos de los análisis de laboratorio, así como de los datos recopilados durante el trabajo de campo, donde se realizó las siguientes actividades:

- Digitalización de mapas en software ArcGIS y columnas estratigráficas de la etapa de campo.
- Sistematización de la información de descripción de afloramientos, fotografías, ubicación, etc.
- Integración de la información obtenida en campo y procedente de los resultados de laboratorio, así como de la recopilación de la información.
- Análisis e interpretación de resultados de los controles metalogénicos de las rocas volcánicas en ioGAS.

4.5.Análisis estadístico

Se realizó una limpieza de la data disponible, posteriormente estos datos fueron sometidos a un análisis exploratorio, en el cual se identificó elementos con valores censurados mayores al 80% que fueron descartados, así también elementos con valores censurados

menores a 15% a los cuales se realizó una imputación simple de valores y del 15-50% se realizó una regresión lineal. Teniendo en cuenta que no hubo valores censurados entre el 50-80%.

Posteriormente, se segmentó la información usando el software Qgis por dominios tectónicos, Cuenca sedimentaria, litología y edad asociada a las formaciones reconocidas. Se utilizó el software ioGAS para la generación de gráficos binarios, ternarios, PCA, etc.

5. CAPITULO V: Marco Geológico

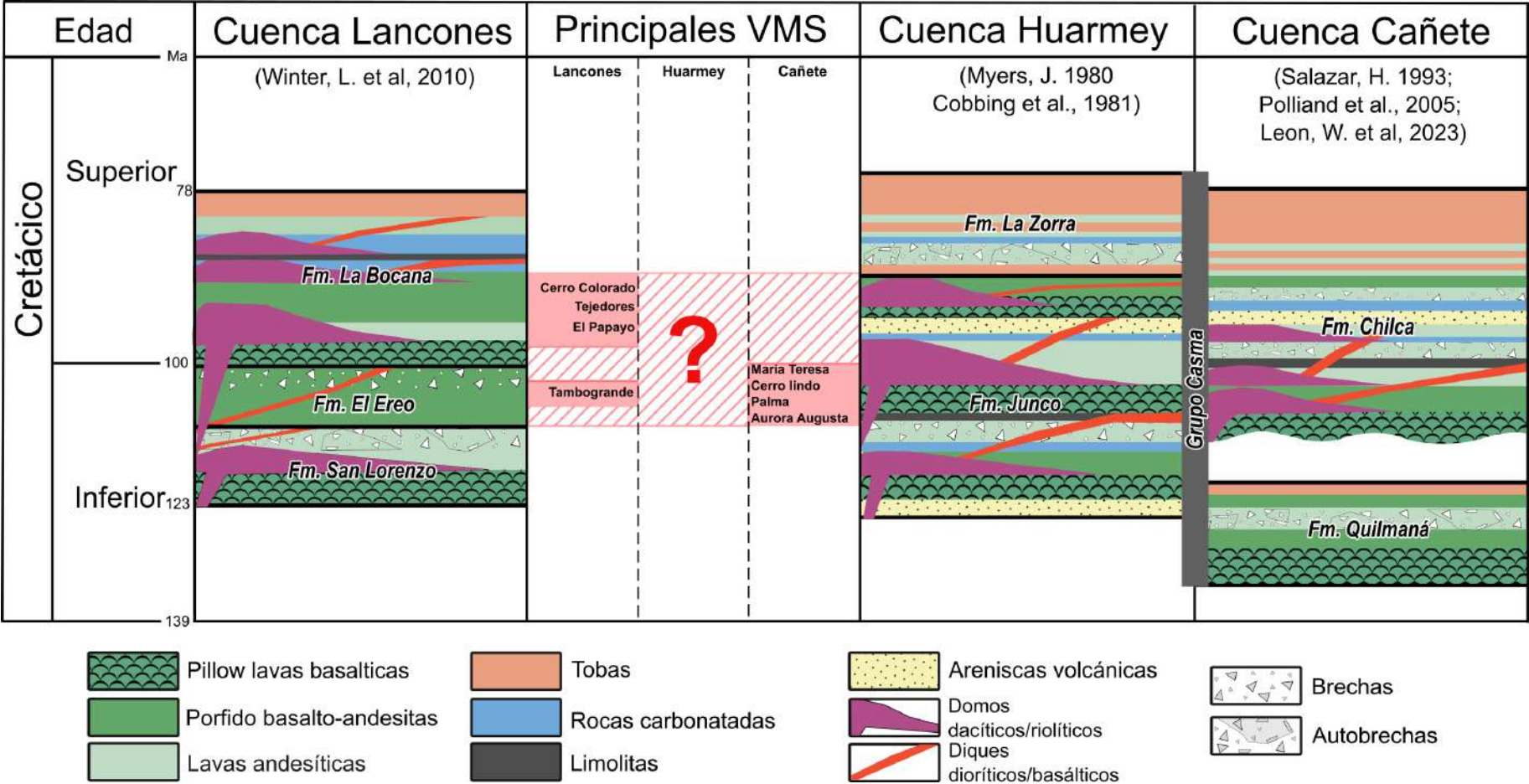
5.1.Cuenca Lancones

La estratigrafía de estas unidades volcano-sedimentarias está definida por una secuencia de lavas almohadilladas de composición basáltica denominadas Formación San Lorenzo, que subyace a una secuencia de lavas porfíricos correspondientes a la Formación El Ereó, esta se encuentra a su vez debajo de una secuencia basáltica intercalada con niveles de calizas y lavas andesíticas a basálticas denominadas Formación la Bocana, teniendo como miembro superior a una secuencia de tobas piroclásticas. Toda la secuencia se encuentra intruida por stocks, diques aplíticos, basálticos y domos dacíticos (Reyes & Caldas, 1987; Valdivia & Torres, 1995, Jaillard et al., 1997; Winter, L., 2008; Winter, L. et al, 2010; Jaimes, 2023).

5.2.Cuenca Casma

La estratigrafía de estas unidades volcano-sedimentarias está definida por una secuencia de lavas basálticas a andesíticas basálticas intercaladas con calizas y areniscas denominados Formación Pucusana, sobre esta se encuentra el Grupo Lima que consta de una secuencia sedimentaria de calizas intercaladas con lutitas con presencia de laminaciones de yeso en la base, mientras que al tope aparecen estratos gruesos de calizas (Bocs, 1963; Myers, 1974; Cobbing et al., 1981; Soler & Bonhomme, 1990). El uso de dataciones radiométricas, así como estudios más profundos recientes permitió poder diferenciar secuencias volcano-sedimentarias que en un inicio fueron atribuidas a distintas unidades y edades dentro del Grupo Casma, sin embargo, existen diferencias importantes como para separarlas litológica, cronológica y genéticamente (Fig.04) (Ccallo, W. et al, 2023; León, W. et al, 2023)

Figura 4. Comparación de las columnas estratigráficas de ambas cuencas con sus principales ocurrencias de depósitos tipo VMS



Nota: Compilado de Myers, J. 1980; Cobbing et al., 1981; Salazar, H. 1993; Polliand et al, 2005; Winter, L. et al, 2010; León, W., 2023. (Elaboración propia).

5.2.1.Subcuenca Huarmey

El Grupo Casma en este sector ha sido dividido en Formación Junco y Formación La Zorra. La Formación Junco está compuesta por lavas andesíticas/basálticas masivas y con estructuras de lavas almohadilladas bien desarrolladas, intercaladas con brechas volcánicas, areniscas volcanoclásticas, hialoclastitas, piroclastos y limolitas donde Myers, J. (1980) reportó oxitropidoceras *Carbonarium*, *Gabb* y *Leymeriella*, Sp. del Albiano-Cenomaniano (Cretácico inferior), le sobreyace la Formación la Zorra, compuesta de una intercalación de flujos andesíticos, ignimbritas, tobas y flujos piroclásticos submarinos a subaéreos con forme subimos estratigráficamente.(Myers, J. 1980).

5.2.2.Subcuenca Cañete

El Grupo Casma en este sector ha sido dividido en la Formación Quilmaná y Formación Chilca (Salazar, H. 1993). Esta clasificación ha sido corroborada con recientes dataciones en U-Pb asignándole una edad del Valanginiano superior a la Formación Quilmaná (Ccallo, W., 2023), mientras que la Formación Chilca ha sido datada con fósiles asignados al aptiano-albiano (Salazar, H. 1993). En la base encontramos la formación Quilmaná compuesto por Lavas almohadilladas intercalados con lavas, piroclastos y areniscas volcánicas que pasan a la parte alta a brecha volcánicas y niveles de hialoclastitas (ambiente marino), Sobreyaciendo, encontramos a la Formación Chilca compuesta de intercalaciones de lavas masivas, intercaladas con brechas y piroclastos. Esta unidad se encuentra intruida por múltiples diques andesíticos y domos riodacíticos (Polliand et al, 2005).

6. CAPÍTULO VI: Resultados

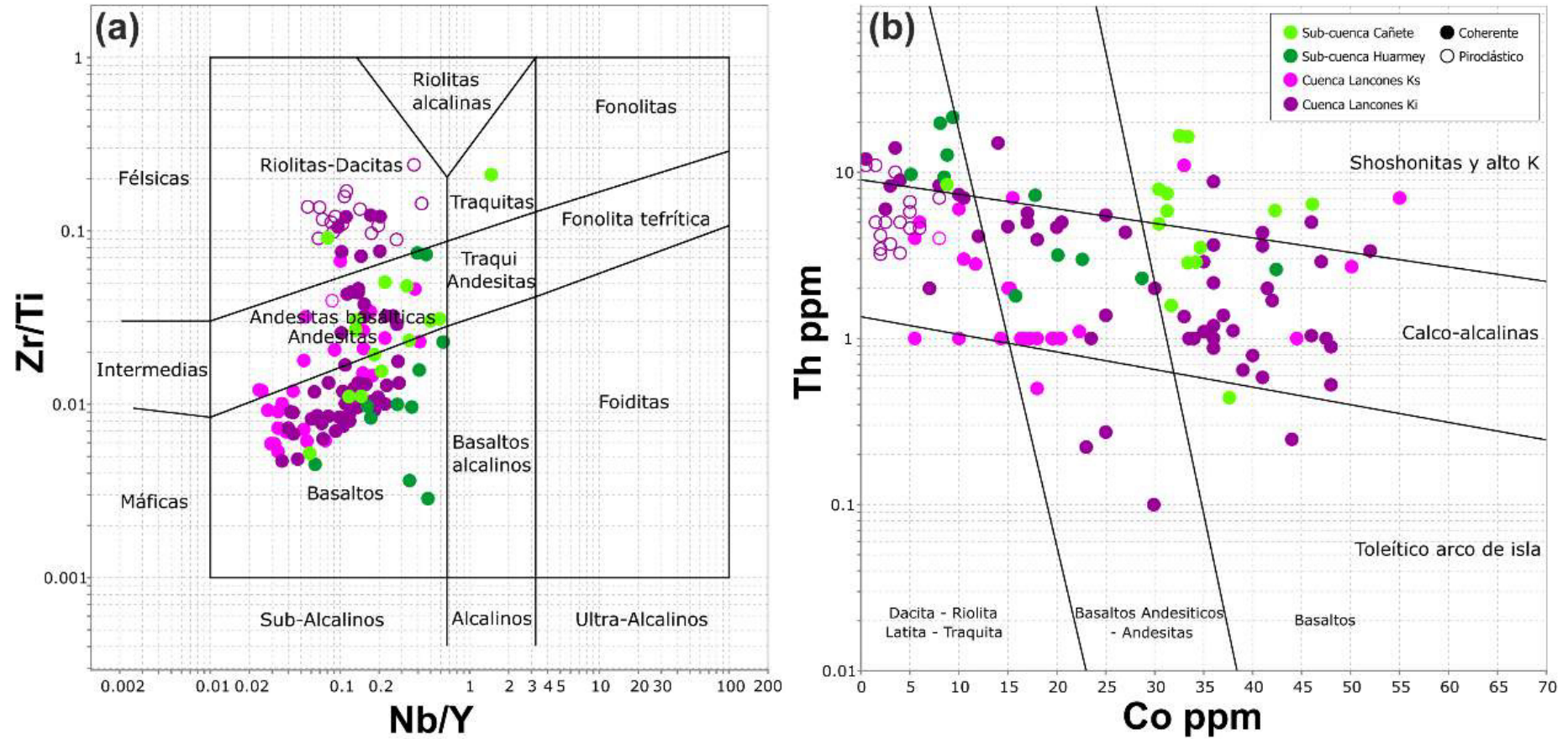
6.1.Clasificación Litogeoquímica

Las rocas volcánicas de las cuencas Lancones y Casma tienen una composición bimodal de acuerdo con el diagrama de Zr/Ti vs Nb/Y (Pearce, 1996) (Fig.05a), estos elementos traza generalmente son inmóviles durante los procesos alteración hidrotermal o supérgeno, por lo cual son adecuados para clasificar las rocas volcánicas. Cabe mencionar, que en la campaña de las rocas volcánicas del centro del Perú hubo mayor énfasis en muestrear rocas con tendencias máficas/intermedias, mientras que, en el norte, se lograron muestrear todo tipo de rocas volcánicas. Sin embargo, en el gráfico de Pearce,

se logra observar esa bimodalidad, pero es no concluyente para afirmar que las rocas del arco volcánico del norte son menos o más máficas que las rocas del arco volcánico del centro. Lo que podemos concluir de ambas imágenes es las tendencias más toleíticas asociadas a arcos de islas a calco-alcalinas en las rocas volcánicas del norte, mientras que en el centro las rocas presentan signatures geoquímicas calco-alcalinas más evolucionadas que se acrecienta ligeramente conforme nos acercamos más al cretácico superior (subcuenca Cañete) (Fig.05b).

Por otro lado, las rocas volcánicas del norte parecen mantener sus tendencias calco-alcalinas en el cretácico superior, lo que sugiere que a pesar del engrosamiento cortical regional que debió haber sufrido en esas épocas, mantuvo ligeramente el espesor cortical localmente.

Figura 5. Diagramas de clasificación de rocas volcánicas de Pearce y Hastie



Nota: (a) Diagrama de clasificación de rocas volcánicas de Pearce (1996) marcando dos tendencias poblacionales claras entre las rocas asociadas a VMS. (b) Diagrama de clasificación de rocas volcánicas de Hastie (2007) que marca una mayor evolución en las rocas asociadas los VMS del centro del Perú.

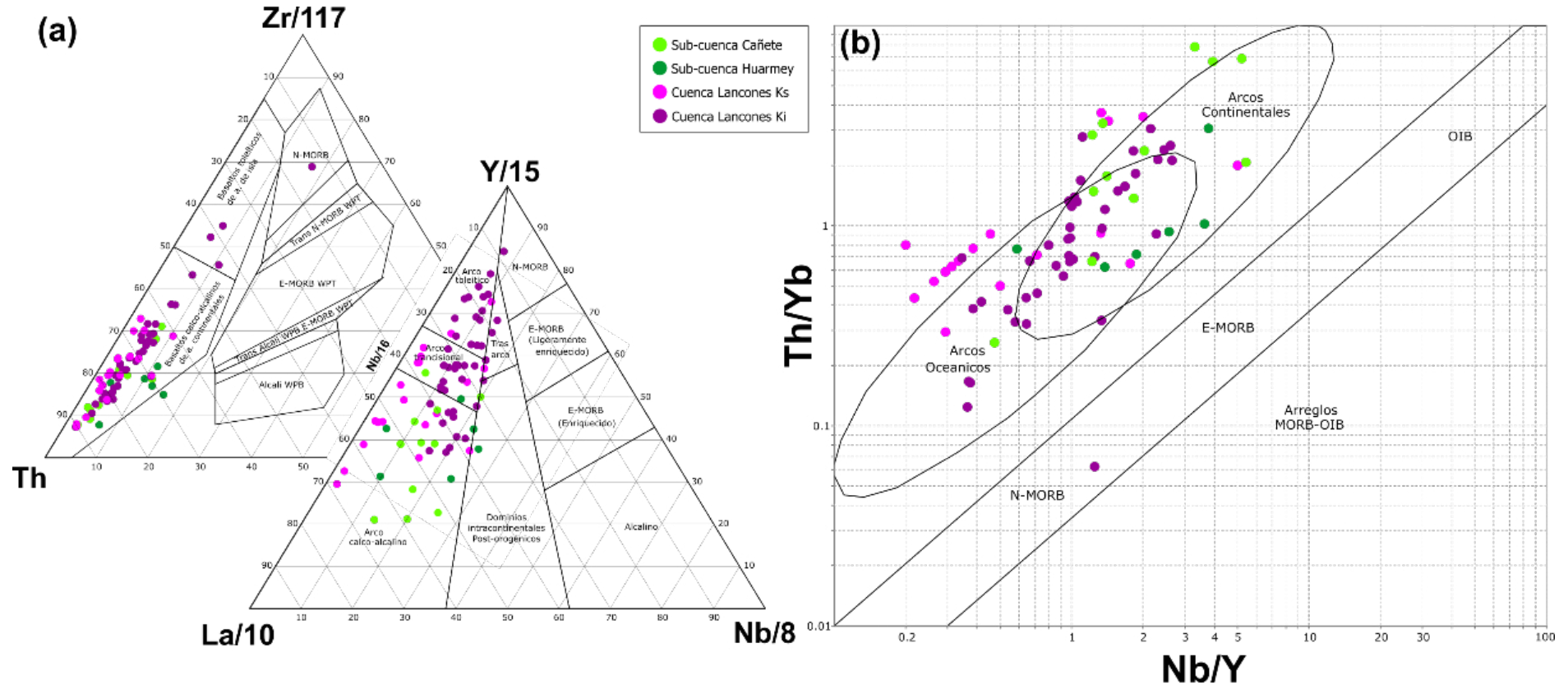
6.2. Litogeoquímica de rocas máficas

El contexto tectónico fue determinado por el uso de diagramas de elementos traza inmóviles en rocas máficas. El diagrama ternario Th, Zr, Nb (Wood, 1980) se marca principalmente una signature de basaltos calco-alcálicos para el caso de los VMS del centro, mientras los VMS del norte muestran transiciones de arcos continentales a arcos de isla, teniendo incluso una muestra que cae en el campo de basaltos normales de dorsales oceánicas, pudiendo indicar la ubicación de estas muestras en cuencas de tras-arco o intrarco, este último asociado a signatures tipo MORB. (Fig.6.a).

El diagrama de clasificación tectónica de Cabanis & Lecolle indica de mejor forma las ligeras diferencias entre las poblaciones de rocas volcánicas. En primer lugar, las rocas asociadas a VMS del norte de edad cretácica inferior tiene una mayor influencia mantélica, indicando principalmente zonas de arco volcánico toleítico a arco transicional que indican un ligero engrosamiento cortical, mientras que en el cretácico superior, ya muestran características más de arco calco-alcálico, característicos de una corteza más engrosada. Las rocas de la cuenca Casma por su parte se encuentran en zonas de arco calco-alcálico, donde sus expresiones más evolucionadas se encuentran en la sub-cuenca Cañete.

Se utilizó el diagrama binario Th/Yb vs Nb/Yb (Pearce 2014) el cual muestra una transición de arco oceánico a arco continental en las rocas del norte, siendo las rocas del centro del Perú en su mayoría de arco continental (Fig.6.b).

Figura 6. Diagramas de clasificación de rocas máficas de Wood y Pearce



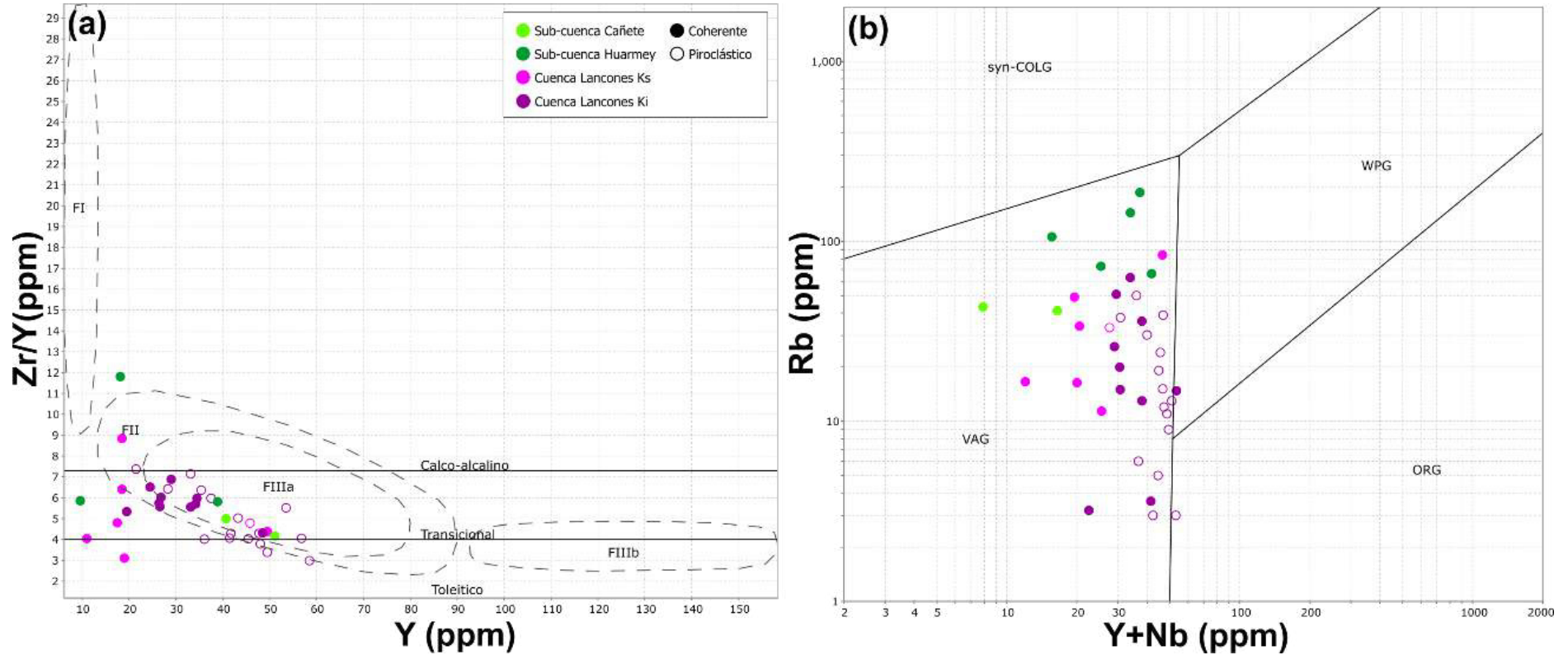
Nota: (a) Clasificación de Basaltos de Wood (1980) y clasificación tectónica de rocas máficas de Cabanis & Lecolle (1989) con base en elementos traza inmóviles, marcando la evolución de las rocas asociadas a VMS del norte de un arco oceánico a un arco continental. (b) Clasificación de Basaltos de Pearce (2014), que muestra que la población de rocas asociadas a VMS en el norte tienen mayor afinidad con arcos oceánicos.

6.3.Litogeoquímica de rocas intermedias-félsicas

El contexto tectónico fue determinado por el uso de diagramas de elementos traza inmóviles en rocas intermedias a félsicas. El diagrama Zr/Y vs Y de Leshner et al (1986) tiene resultados similares a los obtenidos en las rocas máficas. Las rocas asociadas a VMS del norte tienen firmas toleíticas a transicionales, que se vuelven más evolucionadas conforme nos acercamos más al cretácico superior, con firmas tipo FII a FIIIa (Leshner et al., 1996) que indican profundidades entre 30 a 10 km y de acuerdo con Leshner tienen mayores probabilidades de albergar mineralización tipo VMS, debido a su moderada a ligera partición de REE y moderadas a nulas anomalías de Ta y Nb indicando procedencia de fundidos mantélicos hidratados. Por su parte, las rocas del centro tienen firmas asociadas a carácter transicional a calco-alcalino, no teniendo una clasificación de Leshner definida, pero vale mencionar que las únicas dos muestras en la zona de FIIIa (Fig.7a).

Se utilizó el diagrama Yb+Ta vs Rb de Pearce (1984) el cual indica un arreglo tectónico de arco volcánico predominantemente continental; sin embargo, puede desprenderse del gráfico que las muestras del norte del Perú muestran una transición de arco oceánico a continental que se ve incrementado conforme nos acercamos más al cretácico superior; mientras las rocas de la Cuenca Casma muestran una evolución incluso más madura. Es difícil compararlas entre ellas debido a la poca densidad poblacional. (Fig.7b).

Figura 7. Diagramas de clasificación de rocas intermedias -félsicas de Pearce y Leshar



Nota: (a) Clasificación de granitoides de Pearce (1984) mostrando la evolución de arco oceánico a arco continental de las rocas del norte. (b) Clasificación de rocas félsicas-intermedias de Leshar (1986). La asociación de algunas muestras hacia la zona WPG (Vulcanismo de intra-placa) probablemente asociado a el alto grado de fraccionamiento.

6.4.Alteración predominante

Para determinar el grado de alteración se utilizaron dos métodos, el primero descrito por Halley, S. (2020) y Zivkovic, Z. (2024) y el discriminante clásico Box plot de alteración de Large, R. et al. (2001).

6.4.1.Método de Halley & Zivkovic

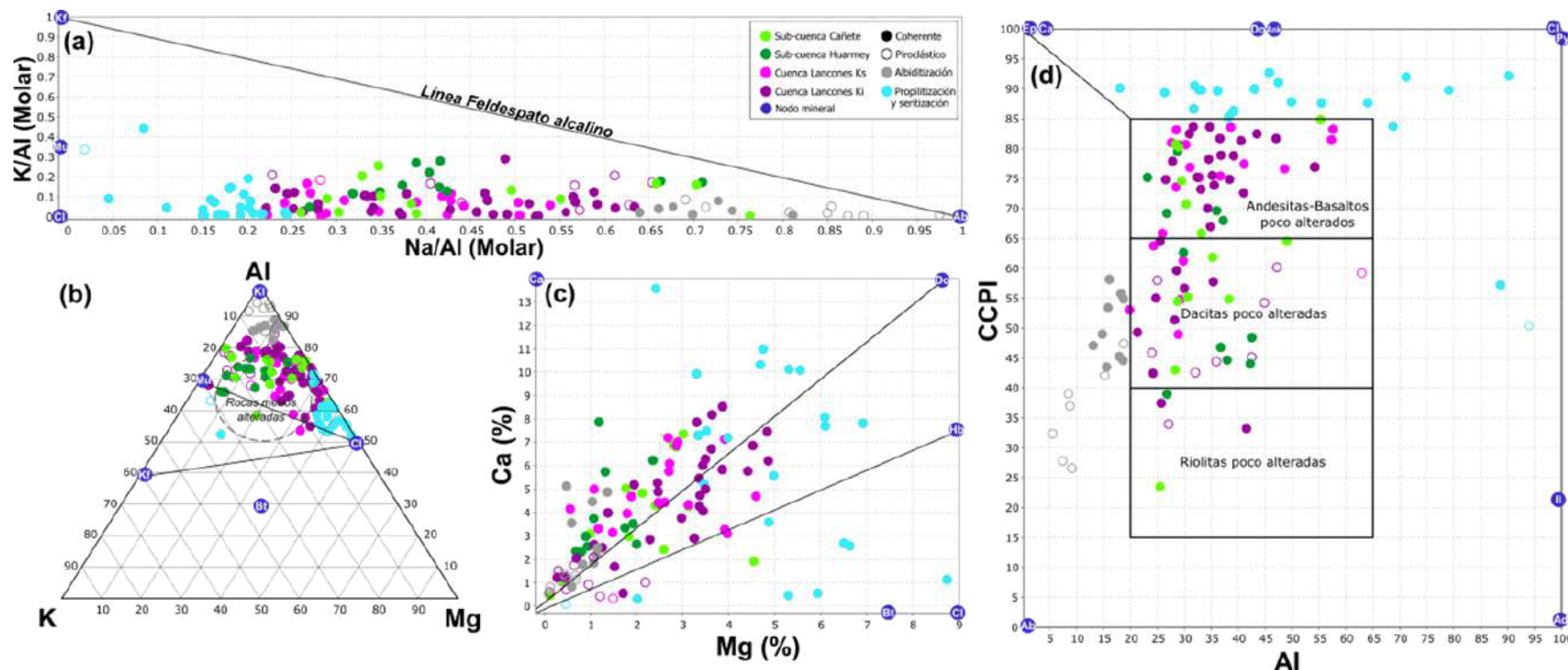
Se elaboraron los diagramas de ratios molares de K/Al vs Na/Al (Davies & Whitehead, 2006), este diagrama identifica minerales formadores de roca donde las rocas menos alteradas se ubican en el rango $Na/Al > 0.2$ y $Na/Al < 0.7$, todas las muestras más allá de este rango son clasificadas con alteración pervasiva ($Na/Al > 0.7$: albitización y $Na/Al < 0.2$: alteración argílica, propilitica o filica) dependiendo del nodo mineral al cual más se acercan o tienden. (Fig.8a).

Se utilizó complementariamente un diagrama ternario de Al-K-Mg (Halley, 2020) para determinar el tipo de alteración predominante, donde se corrobora la población de alteración por albitización cercana al nodo de caolinita, mientras que la población de propilitización más cercana al nodo de clorita y solo dos muestras cercanas al nodo de muscovita que representan la alteración sericitica (Fig.8b). De la misma forma, las poblaciones de las rocas asociadas a VMS en el norte tienen tendencias hacia la cloritización, mientras que las rocas asociadas a VMS en el centro tienen mayor tendencia hacia la sericitización. Por último, se elaboró el diagrama Ca-Mg (Cox et al, 1979) para identificar cual es el carbonato principal asociado a la alteración, en el cual, las rocas del Grupo Casma están asociadas ligeramente a carbonatos más ricos en Ca, mientras que las rocas de la cuenca Lancones están más asociadas a carbonatos más ricos en Mg (Fig.8c).

6.4.2.Método de Large

El diagrama de CCPI vs AI, con $CCPI = 100 * (MgO + FeO) / (MgO + Na_2O + FeO + K_2O)$, $AI = 100 * (MgO + K_2O) / (MgO + Na_2O + CaO + K_2O)$. Permite visualizar rápidamente las tendencias de alteración hidrotermal. Se muestran tendencias en las rocas de la cuenca Lancones tienen mayor asociación a la propilitización, mientras que las rocas de la cuenca Casma tiene mayor tendencia a la sericitización. Con resultados consistentes a lo encontrado por el método de Halley (Fig.8d).

Figura 8. Diagramas de clasificación de alteración hidrotermal basados en el método Halley & Zivkovic y en el método de Large



Nota: (a) Diagrama Na/Al vs K/Al de Davies & Whitehead (2006) utilizado para clasificar la destrucción de la plagioclasa (Alteración sericítica/propilitica) vs albitización. (b) Diagrama ternario Al-K-Mg de Halley (2020), que permite observar de mejor forma la alteración, con tendencias predominantes en sericítica en los VMS del centro vs cloritización en el norte. (c) Diagrama Ca vs Mg de Cox (1979), las líneas punteadas de color verde representan la tendencia de ambas poblaciones, siendo las rocas del norte ligeramente más magnésicas. (d) Caja de alteración de Large, R. (2001) usando CCPI (índice de Clorita-Carbonatos-Py) y el índice de alteración, marca poblaciones claras de alteración hacia donde la data tiende hacia los nodos minerales. Nodos: Ab: albita, Ad: adularia, Ank: ankerita, Bt: biotita, Ca: calcita, Cl: clorita, Do: dolomita, Ep: epidota, Hb: hornblenda, Il: Illita, Kf: feldespato potásico, Mu: muscovita y Py: pirita.

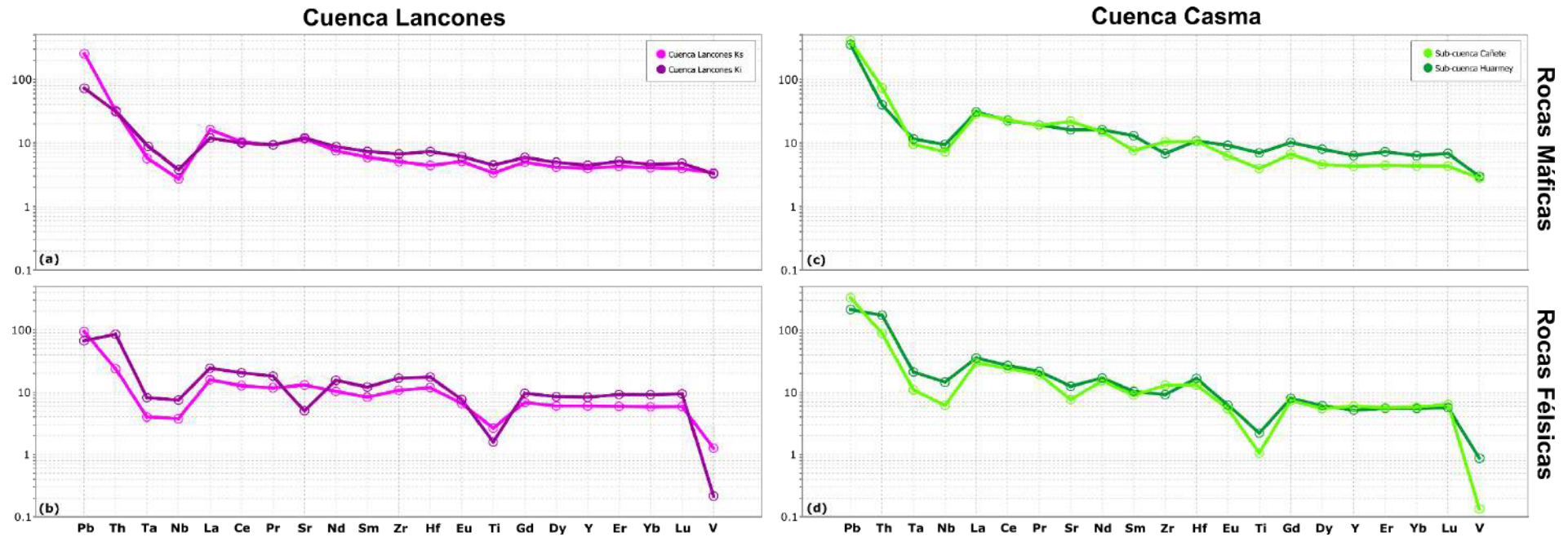
6.5. Diagrama de Tierras raras

Se construyeron diagramas Spider de Tierras raras en base a Pearce (2010), estos elementos fueron normalizados con respecto al manto primitivo de McDonough et al. (1992). Estos diagramas son consistentes con lo expuesto anteriormente y muestran pendientes más planas para las rocas asociadas a los VMS del norte (Fig.9a y 9b), mientras que las rocas asociadas a VMS en el centro muestran un enriquecimiento en LREE, con respecto a HREE, que se ven representados por una pendiente ligera (Fig.9c y 9d). Esto probablemente relacionado a magmas poco diferenciados y bajos espesores corticales, más acentuados en el norte que en el centro.

Así también se repiten tendencias asociadas a las edades de las rocas. En el caso de la cuenca Lancones, Las muestras asociadas a la Formación San Lorenzo y El Ereó (Cretácico inferior) muestran pendientes más planas a comparación de las rocas asociadas a la Formación Bocana (Cretácico superior). Mientras que en la cuenca Casma, las muestras asociadas a los volcánicos de la subcuenca Huarmey muestran pendientes más planas a comparación de las rocas volcánicas de la subcuenca Cañete mostrando el engrosamiento cortical. Además del incremento de Th y Pb; y empobrecimiento de Ta, Nb, Ti, Eu y V conforme nos acercamos más a edades del cretácico superior en ambas cuencas. Además, las muestras de rocas volcánicas félsicas de ambas cuencas muestran pendientes más pronunciadas, moderados empobrecimientos en Sr y Eu y fuertes empobrecimientos en Ti y V.

Estos empobrecimientos de V, Ti, Nb y Ta pueden ser explicados por la afinidad que tienen por minerales como la Ilmenita, rutilo y Titanita; mientras que el empobrecimiento de Eu y Sr son afines para reemplazar el Ca en las plagioclasas, todos estos minerales tienden a formarse en cortezas ligeramente más gruesas. El ratio Th/Nb alto, indica una signatura de arco calcoalcalino, mientras que concentraciones de Zr, Hf bajos indican mayor afinidad a signaturas de arcos oceánicos. Cabe mencionar que estudios (Pearce, J., 2006; Plank, T. 2014) demuestran que el aumento de Pb, Ta, Th, U y otros elementos considerados como expresiones corticales pueden ser producto de la fusión de sedimentos arrastrados por la placa subductante.

Figura 9. Diagramas spider de tierras raras separados en ambas cuencas y por tipo de roca (máfico-félsico)



Nota: (a y b) Diagrama Spider de REE de rocas máficas y félsicas respectivamente normalizadas al manto primitivo Pearce (2010) en la cuenca Lancones. (c y d) Diagrama Spider de REE normalizadas de rocas máficas y félsicas respectivamente al manto primitivo Pearce (2010) de las rocas del grupo Casma, en la subcuenca Huarney y Cañete. Nótese como las rocas de la cuenca Casma muestran pendientes más pronunciadas mostrando características de un arco más maduro como enriquecimiento de LREE con respecto a HREE, enriquecimiento de Pb y Th, y empobrecimiento de Sr, Eu, Ta, Nb, Ti y V.

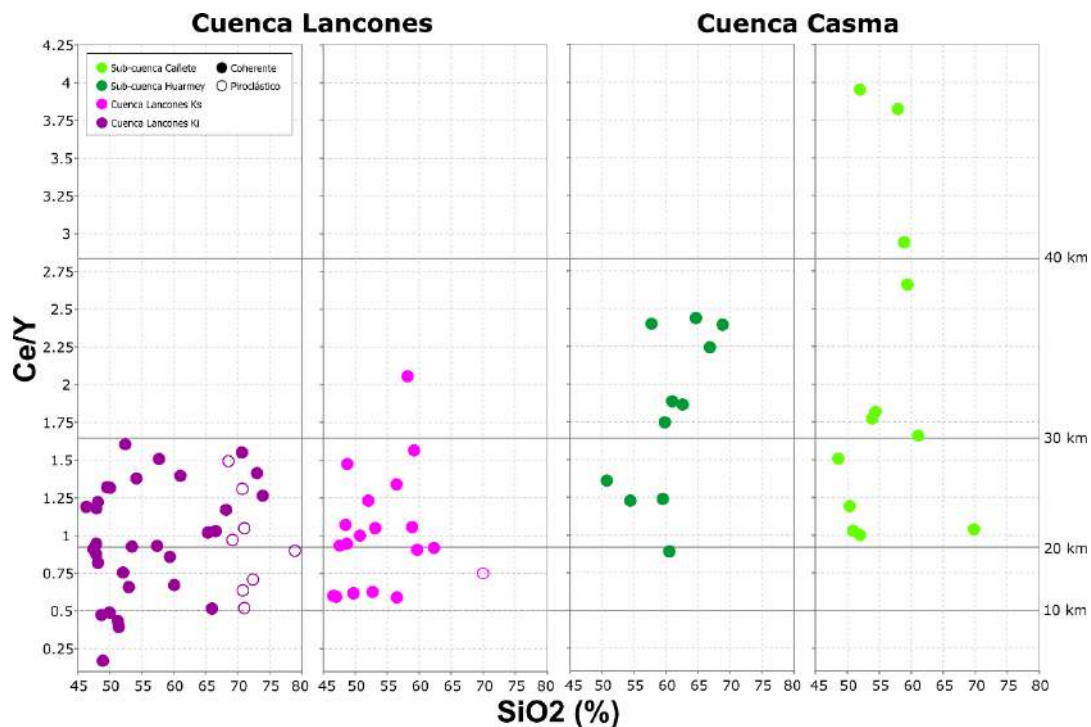
6.6. Espesor cortical

Se utilizó una modificación del diagrama de Ce/Y de Mantle & Collins (2008) comparado vs SiO₂, por poblaciones para resaltar los contrastes (Fig.10). Se puede observar, como conforme nos acercamos al cretácico superior se tienen engrosamientos corticales, ligero en el caso del norte del Perú; mientras que en el centro del Perú es más resaltante. En la cuenca Lancones las secuencias volcánicas muestran profundidades entre 10-30km, mientras que en la cuenca Casma las secuencias volcánicas muestran profundidades entre 20-40km.

Así mismo se comparó con el diagrama de Sr/Y de Profeta et al. (2015) para estimar espesores corticales, igualmente comparado vs SiO₂. Mostrando tendencias similares a Ce/Y vs SiO₂, donde los arcos volcánicos sufren engrosamientos corticales conforme nos acercamos al cretácico superior. En el norte, sobre la cuenca Lancones, las secuencias volcánicas muestran profundidades empezando desde los 10km hacia arriba, mientras que las rocas del centro del Perú muestran profundidades desde los 20km en adelante (Fig. 11).

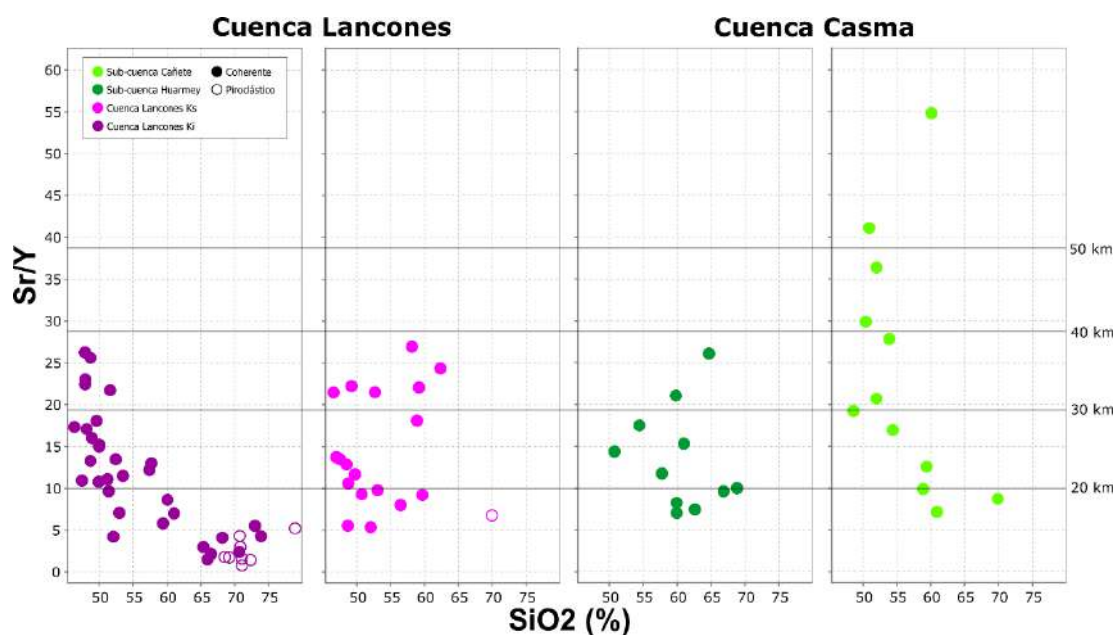
Las limitaciones con las estimaciones de profundidad geoquímica escapan al alcance de este estudio, sin embargo, cabe mencionar que la movilidad geoquímica del Ce es ligeramente menor a la del Sr, por lo cual, el ratio de Ce/Y expresa mayor confiabilidad como barómetro. Y consideraremos esos rangos para la estimación de profundidades de ambas cuencas durante el cretácico inferior y superior.

Figura 10. Diagrama Ce/Y dividido por cuencas y subcuencas



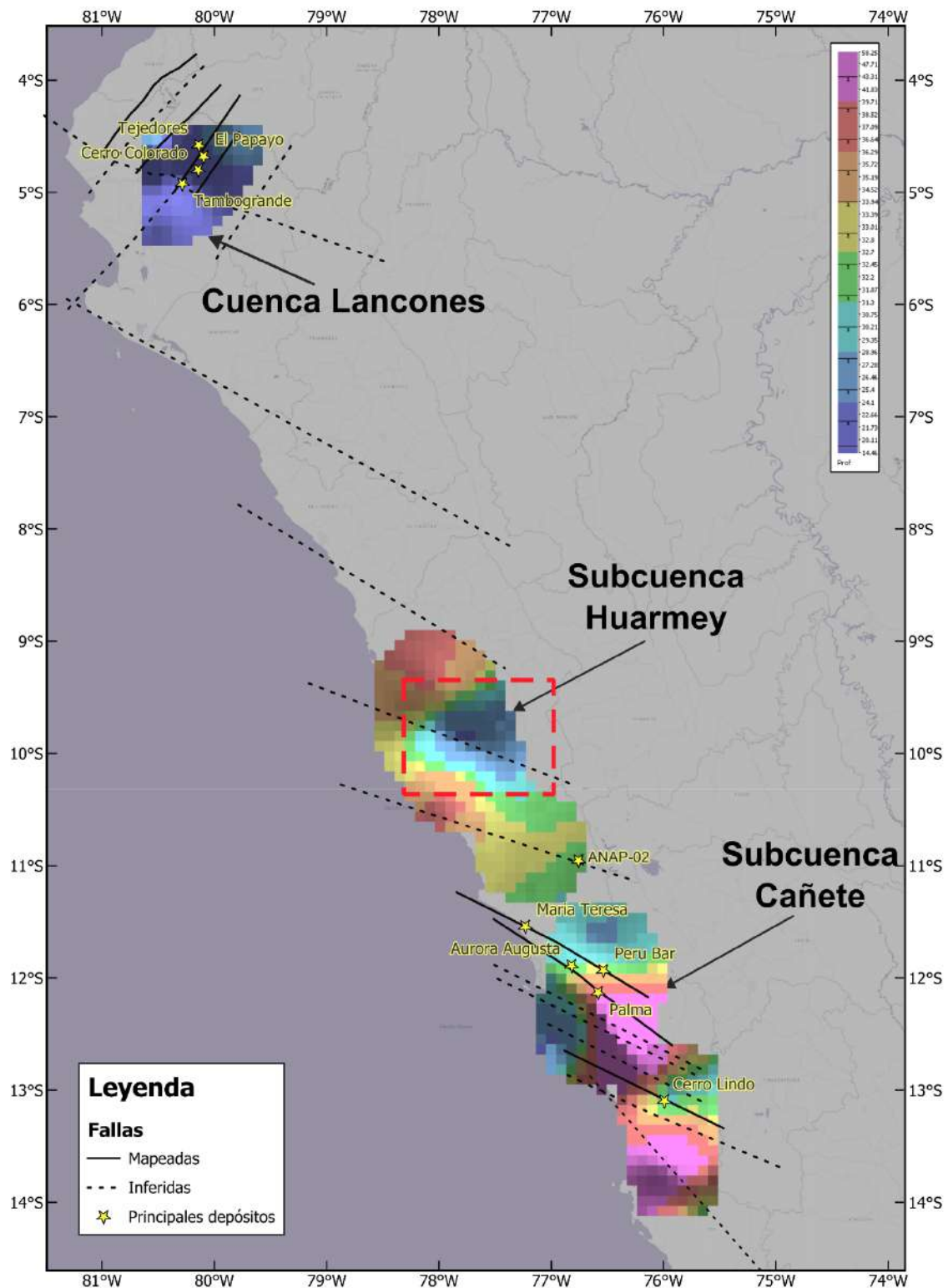
Nota: Diagrama de Ce/Y vs SiO₂ (Mantle & Collins, 2008). Se desprende del gráfico, conforme el tiempo pasa el arco magmático se engrosa y muestra expresiones más profundas y ligeramente más diferenciadas. Así mismo, el arreglo tectónico de la cuenca Lancones parece presentar mayor afinidad a cortezas delgadas, mientras que la cuenca Casma, muestra afinidad por cortezas más gruesas.

Figura 11. Diagrama Sr/Y dividido por cuencas y subcuencas



Nota: Diagrama de Sr/Y vs SiO₂ de Profeta et al., 2015 para estimar el espesor de la corteza. Se desprende del gráfico la evolución cortical conforme la edad de las cuencas aumenta. Así mismo estima profundidades mínimas muy similares a las expuestas en la figura 10.

Mapa 2. Mapa isópaco de profundidad del manto estimado con Ce/Y para el Cretácico en el Perú



Nota: Existe una asociación de los espesores corticales de la cuenca con las estructuras regionales y la aparición de depósitos VMS. En Rojo, una oportunidad de exploración en la cuenca Huarmey que se alinea con una falla regional inferida. (Elaboración Propia)

6.7. Análisis factorial

Se realizó un análisis factorial (Rotación variMAX) de los 43 elementos de la base de datos, resultando en 7 factores que explican el 83.8% de la varianza total (VRF1: 40.7%, VRF2: 20.3%, VRF3: 7.0%, VRF4: 5.8%, VRF5: 4.1%, VRF6: 3.3% y VRF7: 2.7%).

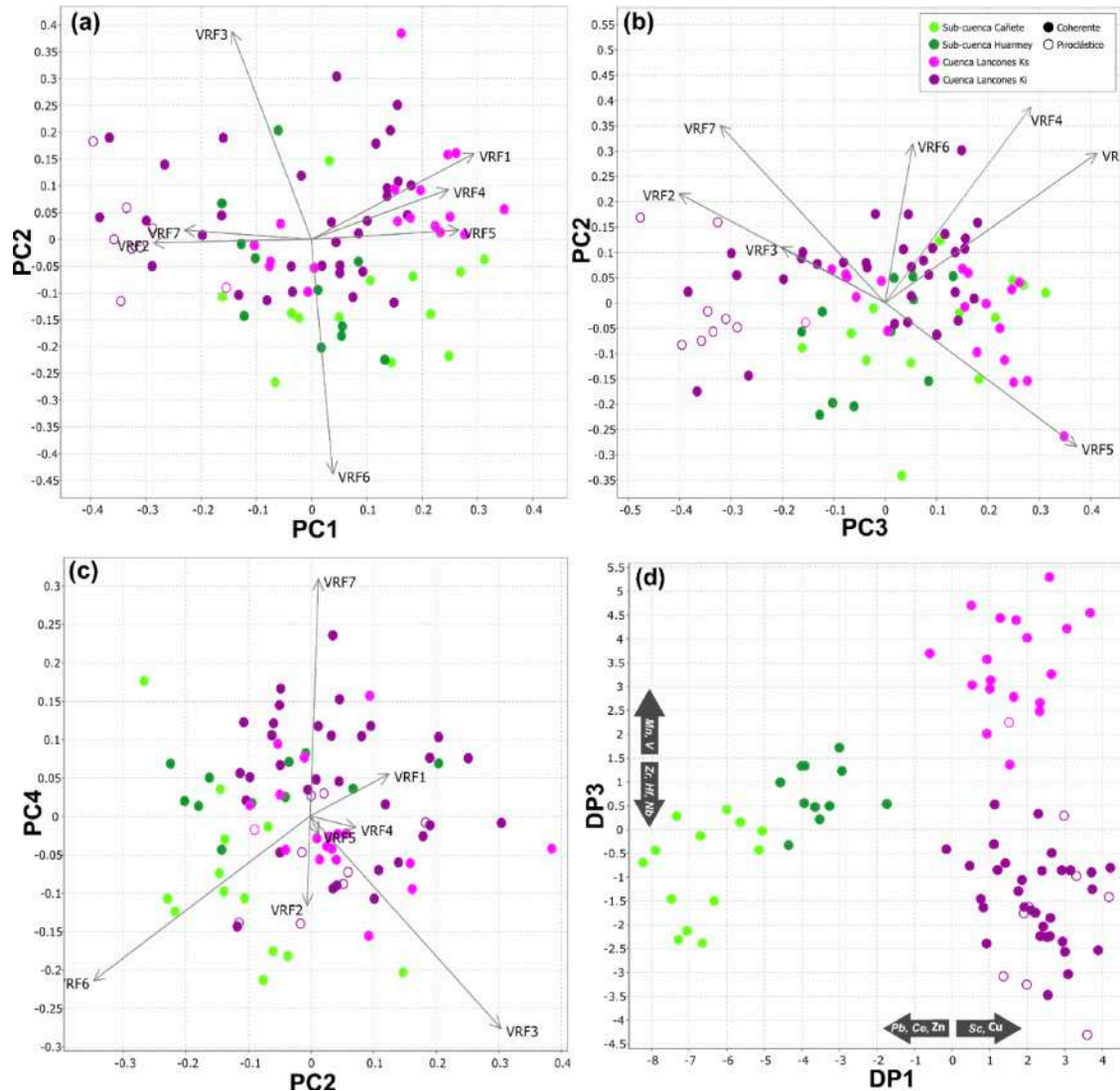
El VRF1 es directamente proporcional a óxidos mayores (Fe_2O_3 , FeO , TiO_2 , MnO , MgO y CaO) que son afines a rocas máficas y silicatos de Fe-Mg-Ti; así como también a V, Sc que pueden ser incorporados en estos silicatos. Mientras que es inversamente proporcional a elementos LREE (Ce, Pr, Nd, Th, U, La, Hf y Zr) que indican aumentos en el espesor cortical. El VRF2 es directamente proporcional a elementos HREE (Ho, Er, Dy, Y, Lu, Yb, Tm, Gb, Sm y Tb) que son particionados en piroxenos y hornblendas, así como también a Eu indicando partición de plagioclasa en cortezas intermedias, mientras que es inversamente proporcional a Co y Ni indicando fuentes máficas y Sr, pudiendo indicar fraccionamiento de plagioclasas en cortezas ligeramente más delgadas. El VRF3 tiene afinidad por óxidos mayores (SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3) indicando afinidad por rocas félsicas ricas e inversamente proporcional a P_2O_5 que tienen mayores concentraciones en rocas mantélicas. El VRF4 es inversamente proporcional K_2O , Rb y Ba que tienen afinidad por las micas, feldespato potásico y hornblendas. El VRF5 es directamente proporcional al Cu que tienen mayores concentraciones en rocas máficas e inversamente proporcional a Ta, Nb. Un aumento de Ta, Nb esta inversamente relacionado a la fusión e hidratación por metasomatismo del manto. El VRF6 es indirectamente proporcional Cr que tiende a concentrarse en clinopiroxenos y espinelas. Mientras que el último factor VRF7 está asociado a una disminución del Pb que es un elemento aportado por la corteza (Tabla 5) (Fig.12).

Tabla 5. Análisis factorial. Relación entre 43 analitos y 7 factores encontrados.

Factores	VRF1	VRF2	VRF3	VRF4	VRF5	VRF6	VRF7
Al2O3-CLR	0.61	-0.17	0.69	0.03	0	-0.04	-0.07
CaO-CLR	0.74	-0.39	-0.07	0.21	-0.01	-0.07	0.13
Fe2O3-CLR	0.91	-0.23	-0.07	0.17	0.13	0.08	-0.01
FeO-CLR	0.87	-0.21	0.05	0.14	0.18	0.06	-0.03
K2O-CLR	-0.31	-0.08	-0.1	-0.9	-0.02	-0.12	-0.03
MgO-CLR	0.76	-0.2	-0.08	0.33	0.04	0	0.05
MnO-CLR	0.83	-0.1	-0.08	-0.07	0.21	0.19	-0.16
Na2O-CLR	-0.11	0.05	0.85	0.29	-0.1	0.09	0.1
P2O5-CLR	0.11	-0.4	-0.46	0.2	-0.06	0.47	0.21
SiO2-CLR	-0.03	0.23	0.87	-0.16	0.05	-0.2	-0.09
TiO2-CLR	0.84	-0.18	-0.26	0.26	-0.02	0.14	0.13
Ba-CLR	-0.15	-0.03	0.17	-0.76	0.24	0.13	0.22
Ce-CLR	-0.92	0.06	-0.15	-0.16	0.1	0.08	-0.08
Co-CLR	0.52	-0.61	-0.01	0.35	0.03	0.11	0.15
Cr-CLR	-0.09	-0.08	0.11	-0.08	-0.05	-0.84	0.19
Cu-CLR	0.08	-0.46	-0.12	0.33	0.57	0.15	-0.22
Dy-CLR	-0.08	0.98	-0.01	0	-0.02	-0.03	0.05
Er-CLR	0.01	0.98	0.03	0.02	0	0.01	0.07
Eu-CLR	0.05	0.76	-0.15	0.11	-0.12	0.23	0.19
Gd-CLR	-0.37	0.88	-0.06	0.01	0.02	0.06	0.08
Hf-CLR	-0.7	0.38	0.2	-0.06	-0.27	0.16	0.21
Ho-CLR	-0.04	0.98	0.07	0.04	-0.01	-0.03	0.05
La-CLR	-0.77	0.02	-0.2	-0.24	0.33	0.04	-0.17
Lu-CLR	-0.08	0.96	0.09	0.04	-0.04	-0.01	0.03
Nb-CLR	-0.81	-0.03	-0.04	0.05	-0.52	0.01	0.06
Nd-CLR	-0.89	0.25	-0.14	-0.09	0	0.09	0.05
Ni-CLR	0.34	-0.57	-0.16	0.35	0.2	-0.35	-0.12
Pb-CLR	-0.04	-0.32	0.05	0.07	0.08	0.15	-0.86
Pr-CLR	-0.91	0.15	-0.15	-0.13	0.08	0.1	-0.05
Rb-CLR	-0.36	-0.15	-0.1	-0.85	-0.15	-0.06	-0.02
Sc-CLR	0.67	0.03	0.04	0.04	-0.07	-0.38	0.2
Sm-CLR	-0.33	0.84	-0.25	0.04	-0.02	0.01	0.18
Sr-CLR	0.38	-0.6	0.11	0.05	-0.19	0.14	0.06
Ta-CLR	-0.71	-0.05	-0.01	0.04	-0.61	0.04	0.01
Tb-CLR	-0.22	0.82	-0.02	-0.02	-0.17	0.05	0.01
Th-CLR	-0.89	-0.01	0.04	-0.08	-0.01	-0.11	0.13
Tm-CLR	-0.1	0.93	0.19	0.01	0.02	-0.02	-0.02
U-CLR	-0.79	0.02	0.17	-0.11	0.24	-0.1	0.16
V-CLR	0.74	-0.49	-0.22	0.24	0.05	0.06	0.06
Y-CLR	-0.11	0.97	0.1	0.02	0.01	-0.01	-0.05
Yb-CLR	-0.1	0.96	0.16	0.02	0	-0.01	-0.01
Zn-CLR	0.47	0.22	0.07	0.28	-0.33	-0.01	-0.34
Zr-CLR	-0.47	0.4	0.35	-0.01	-0.08	0.25	0.2

Nota: Elaboración Propia.

Figura 12. Análisis factorial y proyección de discriminantes



Nota: (a, b y c) Análisis factorial que muestra las relaciones entre los factores resultantes y las poblaciones de rocas volcánicas. Nótese como valores de VRF1, VRF4, VRF5 y VRF6 discriminan a la población de rocas volcánicas de la cuenca Lancones con respecto a la cuenca Casma, estos asociados al espesor de corteza, evolución magmática y afinidad mantélica. (d) Análisis de proyección de discriminantes, aquí se puede observar algunas tendencias de enriquecimiento y empobrecimiento de las poblaciones. Puede desprenderse de aquí ratios como V/Sc de Halley, 2020 y Nb/Ti Zivkovic, 2023.

6.8. Ratios propuestos

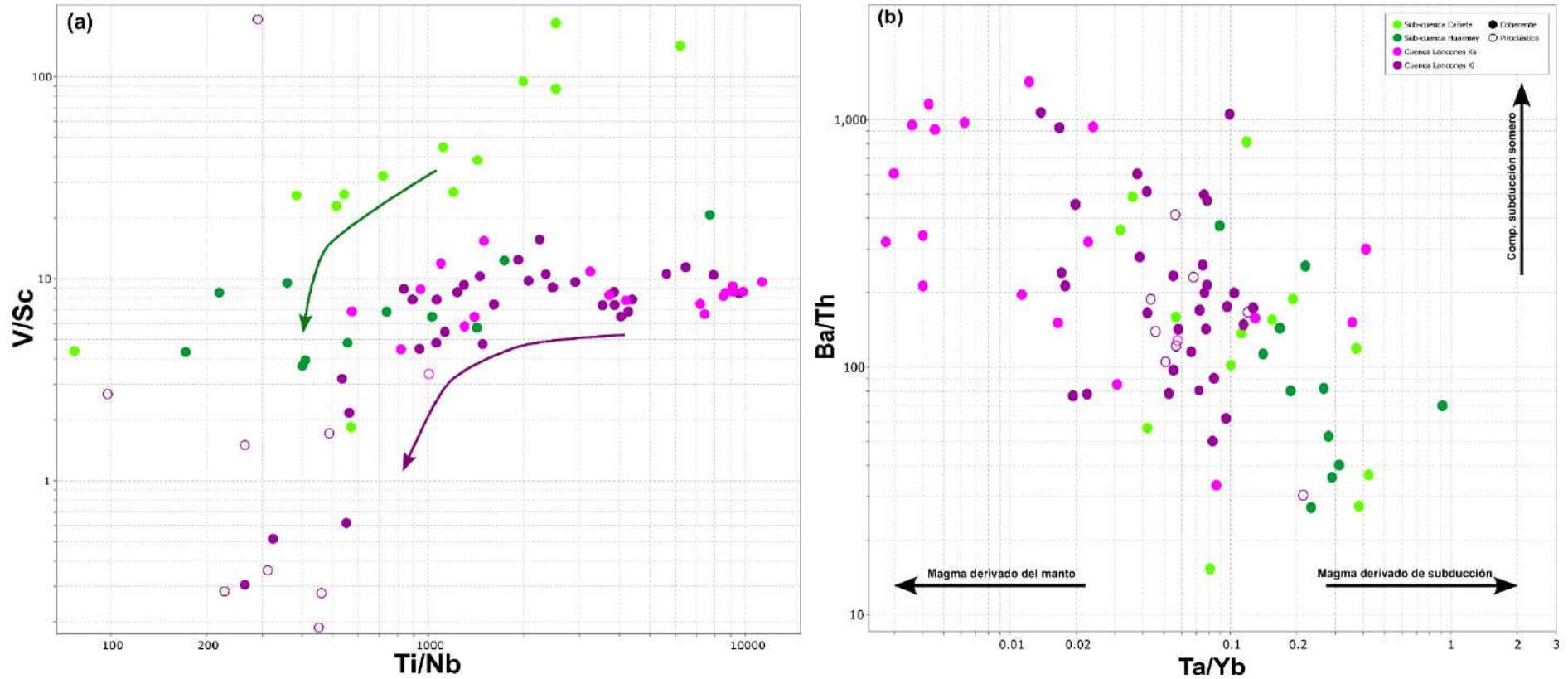
El gráfico de V/Sc vs Ti/Nb ha sido propuesto recientemente por Halley (2020) y Zivkovic (2023), para poder discriminar la cristalización fraccionada de titanomagnetita vs silicatos de Ti. El fraccionamiento de titanomagnetita se da en cortezas ligeramente más gruesas con fundidos hidratados. Se tienen registros a nivel mundial de rocas asociadas a VMS con índices de V/Sc alrededor de 7 y $Ti/Nb > 250$ como las rocas

predilectas para formar VMS. Los ratios de V/Sc altos indican fraccionamiento en condiciones de alta presión, mientras que valores bajos indican fraccionamientos de baja presión (mayor predilección de la cristalización de hornblenda en altas presiones y magmas hidratados y mayor predilección de cristalización de magnetita en condiciones oxidadas) (Halley, 2020). Mientras que valores de Ti/Nb altos indican rocas más máficas, mientras que valores bajo hacen referencia a rocas más félsicas debido a la preferencia de partición Nb en minerales de titanio (ilmenita, magnetita, biotita y hornblenda), siendo más compatible con biotita, es decir, expresiones más félsicas. Mientras que el Ti tiene predilección por minerales más máficos (McDonough and Sun, 1992).

En el caso de los VMS peruanos, se puede observar principalmente dos tendencias, una más acorde con lo documentado por Zivkovic (2023) que corresponde a las rocas asociadas a los VMS del norte del Perú, con valores de V/Sc alrededor de 8 y con una fuerte deflexión de V/Sc cuando los valores de Ti/Nb < 500, asociados al fraccionamiento de titanomagnetita. Los VMS del centro muestran valores anómalos de V/Sc > 20 de cortezas más gruesas y con una probable deflexión en la tendencia para valores de Ti/Nb < 200. Así mismo cabe mencionar que las rocas cretácicas de la subcuenca Huarmey tienen signatures de V/Sc alrededor de 8, pero valores menores de Ti/Nb (Fig. 13a).

Adicionalmente, se propone el gráfico Ta/Yb vs Ba/Th, que permita discriminar cortezas delgadas, a partir de los coeficientes elevados en un VRF o múltiples coeficientes altos-medios en dos o más VRFs. Estos ratios han sido anteriormente propuestos por Pearce (2005). Los altos valores de Ta/Yb representan fundidos asociados subducción, mientras que valores bajos indican fundidos más asociados a fuentes mantélicas; mientras que la ratio Ba/Th es usado para identificar fluidos acuosos (adición de Ba sin Th) liberados de la placa subductante, así valores alto en Ba/Th indican una componente de subducción somera, mientras que valores bajos de Ba/Th indica componentes de subducción más profundas (Pearce, J., 2005) (Fig. 13b).

Figura 13. Diagramas de discriminación de ambientes propuestos



Nota: (a). Diagrama de V/Sc vs Ti/Nb Halley (2020) muestra las principales tendencias de las rocas asociadas a VMS, nótese la diferencia de espesores corticales, representados por el ratio V/Sc en ambas cuencas. (b) Diagrama Ba/Th vs Ta/Yb (Modificado de Pearce, J., 2005) que muestra como las rocas volcánicas del Grupo Casma tienen mayores aportes por subducción y asociados a componentes de subducción más profundas.

7. CAPITULO VII: Discusión

El contexto geotectónico de estas secuencias volcano-sedimentarias han sido ampliamente descrito en la literatura. La depositación en la cuenca Casma ha sido descrito en un contexto de arco volcánico tipo pull-apart (Polliand et al, 2005; Fontboté, 2019; Farfan, 2019; Picardo et al, 2019; Jara, 2019) de intra-arco, mientras que la depositación en la cuenca Lancones ha sido interpretada como el desarrollo de arco volcánico insular tipo extensional (Tegart et al, 2000; Stern, 2002; Winter, 2008; Ríos, 2014) producto de subducción de una corteza oceánica bajo una corteza continental muy delgada.

Los resultados aquí expuestos logran diferenciar ambos ambientes utilizando litogeoquímica de elementos inmóviles a procesos de alteración y/o metamorfismos posteriores, reflejando las condiciones originales de formación de ambos arcos volcánicos. Teniendo así diferencias marcadas en las firmas geoquímicas, tipo de arco volcánico, diferenciación magmática, espesor cortical e incluso régimen tectónico.

Los procesos de alteración fueron diferenciados utilizando elementos móviles (Na, Al, K, Ca, Mg, etc) que permiten observar que las rocas volcánicas de la cuenca Lancones están más asociadas a una alteración de propilítica + carbonatos + pirita, indicando mayor influencia de un fluido magmático que se mezcló con fluidos meteóricos o externos y presencia de carbonatos magnesianos (fluidos calientes). Las rocas volcánicas de la cuenca Casma se encuentran alteradas principalmente por alteración sericitita + cuarzo + pirita, indicando mayor influencia de fluidos derivados de un slab de subducción que atravesaron una corteza relativamente más gruesa y presencia de carbonatos más cálcicos (fluidos fríos). Esta diferencia en las alteraciones hidrotermales ha sido descrita por Fontboté et al. (2025), donde menciona un carácter fuertemente sericitico de las alteraciones de los depósitos de la cuenca Cañete, mientras que en el norte la alteración del depósito de Tambogrande es ligeramente sericitica y fuertemente propilítica (Tabla 6). Adicionalmente, las descripciones petrográficas en análisis de microscopía de Jara (2019) y campañas de campo de INGEMMET (2006, 2007 y 2012) muestran estas asociaciones ya mencionadas, sin hacer una comparación entre ellas.

Tabla 6. Recopilación bibliográfica de las características clave de los depósitos VMS en la faja costera peruana.

Deposits N to S	Resource	Main host rock	Acidic alteration in footwall	Age	References ¹ ^{*Ref concerning dating}
Tambogrande -4.917°S, -80.1867°W	109 Mt 1.6% Cu, 1.0% Zn, 0.5 g/t Au, 22 g/t Ag; 16.7 Mt 3.5 g/t Au and 64 g/t Ag in oxide ore; T63 deposit: 82 Mt 1.0% Cu, 1.4% Zn, 0.8 g/t Au, and 25 g/t Ag	Submarine mafic and felsic volcanic rocks, partly volcanoclastic. Calcalkaline and tholeiitic affinity	Moderate sericitic alteration	104.8 ± 1.3 to 100.2 ± 0.5, zircon U-Pb zircon, felsic volcanoclastic rocks directly underlying the massive sulfides	Winter (2008). Winter et al. (2010)*
Maria Teresa -11.362°S, -77.140°W	>18 Mt including 9.5 Mt with 7.4% Zn, 0.5% Cu, 1.4% Pb, 4.0 oz Ag/t and 8.7 Mt with 6.2% Zn, 1.1% Cu, 0.7% Pb, 23 g/t Ag. Operation started in massive barite	Submarine mafic and subordinated felsic volcanic rocks, partly volcanoclastic. Mafic and felsic sills and dykes. Calcalkaline affinity	Strong sericitic alteration Al>90 affects also some dacitic dykes	101.7±1.6 Ma zircon U-Pb in syn-mineralization dyke affected by intense sericitic alteration	Pichardo et al. (2019) Torro et al. (2022) This paper*
Aurora Augusta -11.842°S, -76.8679°W	150000 t barite were exploited. Zn-Pb-Cu sulfides under exploration	Mainly mafic lavas	Sericite in places	116±18, 106±17 K/Ar in hydroth. sericite (likely reset K/Ar age: 68.3±2, 63±2 Ma)	Vidal (1987)*
Perubar -11.911°S, -76.571°W	>6 Mt 11.8% Zn and 1.4% Pb Operation started in massive barite	Submarine volcano (mainly mafic) - sedimentary sequence. Mafic and felsic sills and dykes. Calcalkaline affinity	Weak sericitic alteration in feeder vicinity	Questionable age: 69.71±0.18 Ma 68.92±0.16, zircon U-Pb. Probable mis-interpretation. Possibly fine-grained post mineralization dykes and not rhyolite flows were dated.	Vidal (1987) Polliand et al. (2005)* Polliand (2006)
Palma -12.072°S, -76.578°W	>14.5 Mt including 9.6 Mt indicated at 5% Zn, 0.7% Pb, and 22 g Ag/t and 4.9 Mt inferred at 6% Zn, 1% Pb, and 21 g/t Ag	Submarine volcano (mainly mafic) - sedimentary sequence. Calcalkaline affinity	Weak sericitic alteration only in parts	>108 ±2.8 Ma and 101±5.3 zircon U-Pb in dykes crosscutting host	Farfán et al. (2019) Choquehuanca (2020)*
Balducho (Cuculi) -12.339°S, -76.479°W	In exploration. Legacy underground workings (Ba, Zn, Cu) in several levels	Submarine volcano-sedimentary sequence. Mafic and felsic sills and dykes.	Strong sericitic alteration Al>90 in mafic rocks	No dating available. Attribution to a mid Cretaceous age based on similarities with the deposits	Fontboté and Pichardo (2024) Mora et al. (this vol)
Cerro Lindo -12.076°S, -75.991°W	>95 Mt. Typical grade: 1.5%Zn, 0.6 Cu, 02% Pb, 0.21 g/t Ag, 0.05 g/t Au.	Submarine, mainly felsic calcalkaline volcanic rocks, partly volcanoclastic.	Strong sericitic alteration Al>90	105.7 Ma 106.9 Ma ± 0.2 zircon U-Pb in host rhyolite	Bueno (2019*), Votorantim (2017), Imaña et al. (2019)

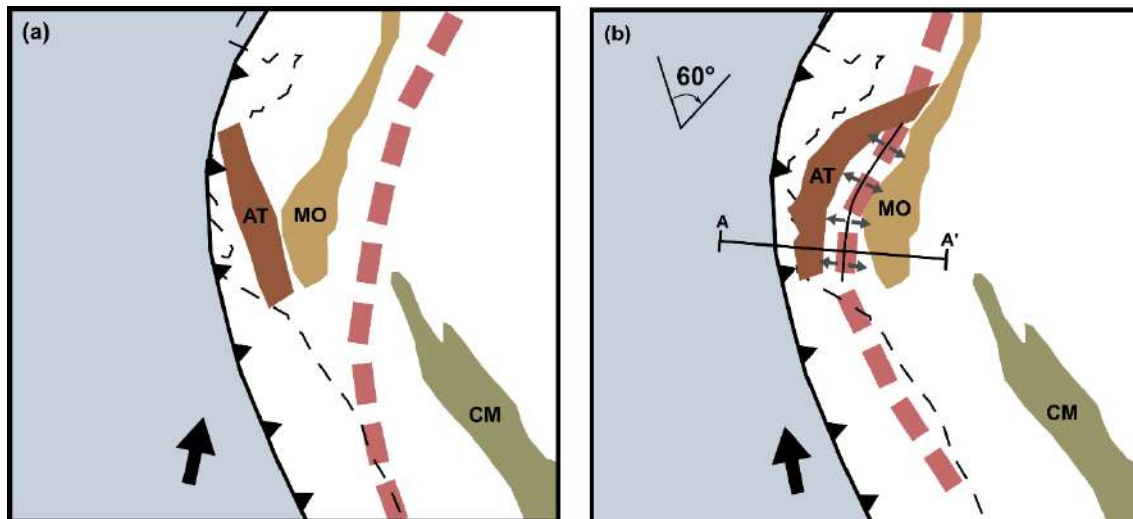
Nota: Recopilación bibliográfica tomada de Fontboté et al. (2025). Cabe resaltar el aporte de la información de Winter (2008, 2010) que fue tomada en cuenta para la elaboración de esta tesis.

Los ratios aquí expuestos brindan herramientas útiles en exploración regional aplicadas a arcos transicionales de cortezas delgadas, baja diferenciación magmática, con presencia principalmente de silicatos de Ti y Fe y ausencia de titanomagnetita. A esto debería sumársele la poca presencia de fraccionamiento de zircones, sin embargo, por sesgos del análisis de 4 ácidos, no es posible demostrarlo. Se deben realizar más estudios con otros métodos de digestión como fusión de peróxido.

Durante el cretácico se tienen registros de alta tasas y ángulos de subducción (Ramos, V., 2022; Ardila, A. et al, 2023), sin embargo, el norte del Perú a comparación del centro muestra vectores de convergencia distintos. En el norte, la apertura del Atlántico sur y el Caribe (130 Ma) inducen un cambio de dirección del movimiento de la Placa pacífica, el cual se dirige ligeramente hacia el noroeste (Muller et al, 2016) este cambio de dirección arrastra el bloque Amotapes-Tahuin haciéndolo girar y abriendo un rift que sirve como una cuenca de intra-arco donde se depositan todas las secuencias volcano-sedimentarias. La apertura de este rift es mayor al suroeste que al noreste. El giro del bloque Amotapes-Tahuin es de aproximadamente 60° está documentado en estudios paleomagnéticos (Mourier, 1988; Reyes, 2009). Los diagramas realizados en este estudio muestran, sin embargo, signatures de arco volcánico oceánicos a continentales, que pueden ser explicado como una contaminación de sedimentos que han sido acrecionados por la placa subductante de alto ángulo y le aportan características “continentales” como Th, Pb, Ta,

etc. (Pearce, 2006; Plank, 2014). Estos diagramas han sido empleados muy ligeramente en el análisis de las rocas volcánicas peruanas y ha traído consigo interpretaciones erróneas. Este aporte mantélico también puede ser relacionado con la característica del depósito de Tambogrande, esta anomalía en Au, a comparación de los otros depósitos más recientes en la cuenca Lancones, puede ser explicada debido a una influencia mantélica y una posible delaminación de la placa subductante durante el cambio de régimen tectónico de subducción a transformante (Pitcairn, 2011; Chiaradia, 2022) (Mapa 3).

Mapa 3. Esquema hipotético para la evolución geodinámica del norte del Perú en el Cretácico

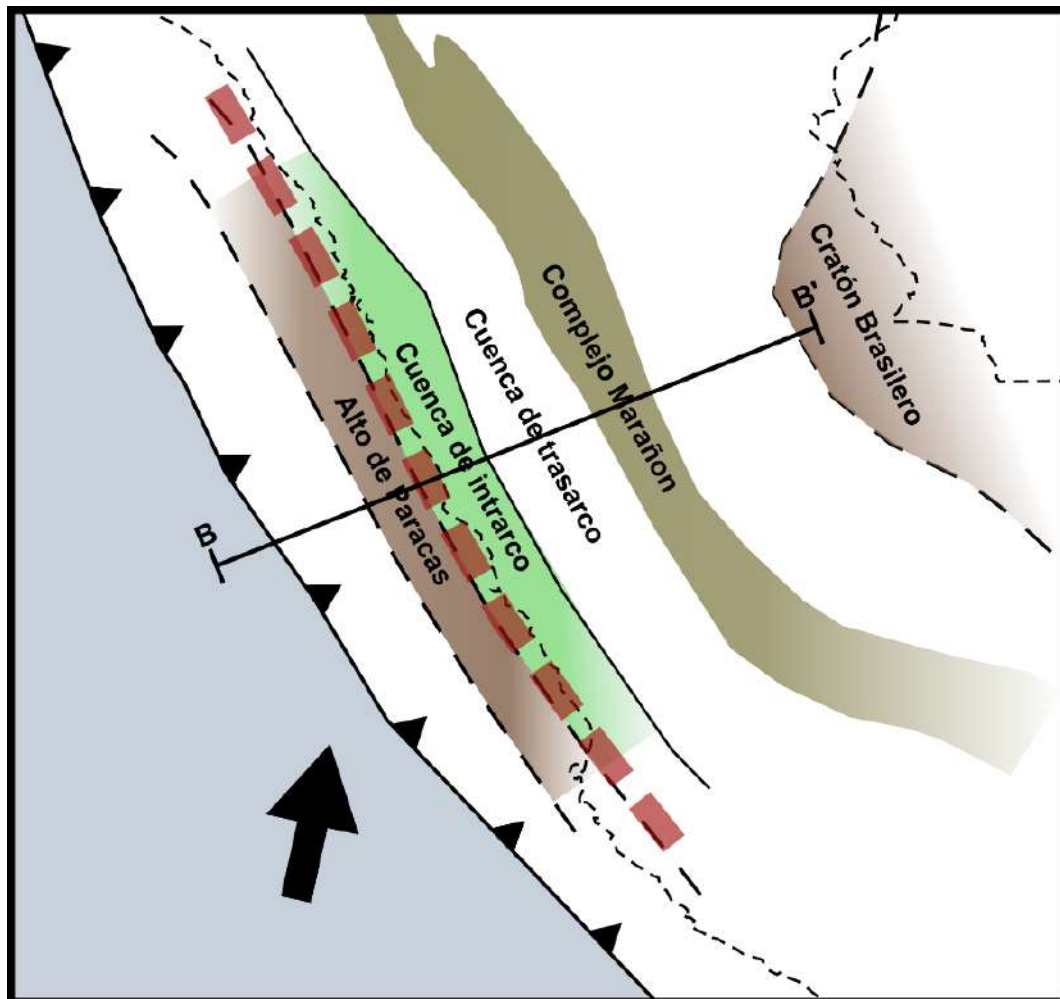


Nota: (a) Colisión del Bloque Amotape-Tahuin con el macizo de Olmos durante el jurásico superior. (b) Apertura del rift entre el bloque Amotapes-Tahuin y el Macizo de Olmos debido a un desgarro de la corteza (similar al golfo de California) durante el cretácico. Las flechas negras indican la dirección de convergencia (Müller et al, 2016), en azul: corteza oceánica, en blanco: corteza continental, la línea roja punteada indica el arco volcánico. (At): Bloque Amotapes-Tahuin, (MO): Macizo de Olmos y (CM) Complejo del marañón. (Modificado de Mourier, 1988).

En el centro del Perú, la dirección de la convergencia era aproximadamente N-S para el cretácico (Ramos, V., 2022; Ardila, A. et al, 2023) esta convergencia de alto ángulo generó el desarrollo de arco en extensión tipo Kermadec, esta corteza, posteriormente fue engrosándose debido a la disminución de la velocidad de convergencia que generó que el ángulo de convergencia se reduzca (Ramos, V., 2022; Ardila, A. et al, 2023). Esto es verificable con los ratios de Ce/Y y los diagramas de tierras raras realizados. La

interpretación de reciclado continental es reafirmada en esta cuenca que tiene menor influencia mantélica y mayor influencia del slab y de los sedimentos acrecionados probablemente debido a que el desgarramiento del antearco no llegó a ser tan profundo como en el norte (Mapa 4).

Mapa 4. Esquema hipotético para la evolución geodinámica del centro del Perú en el Cretácico.

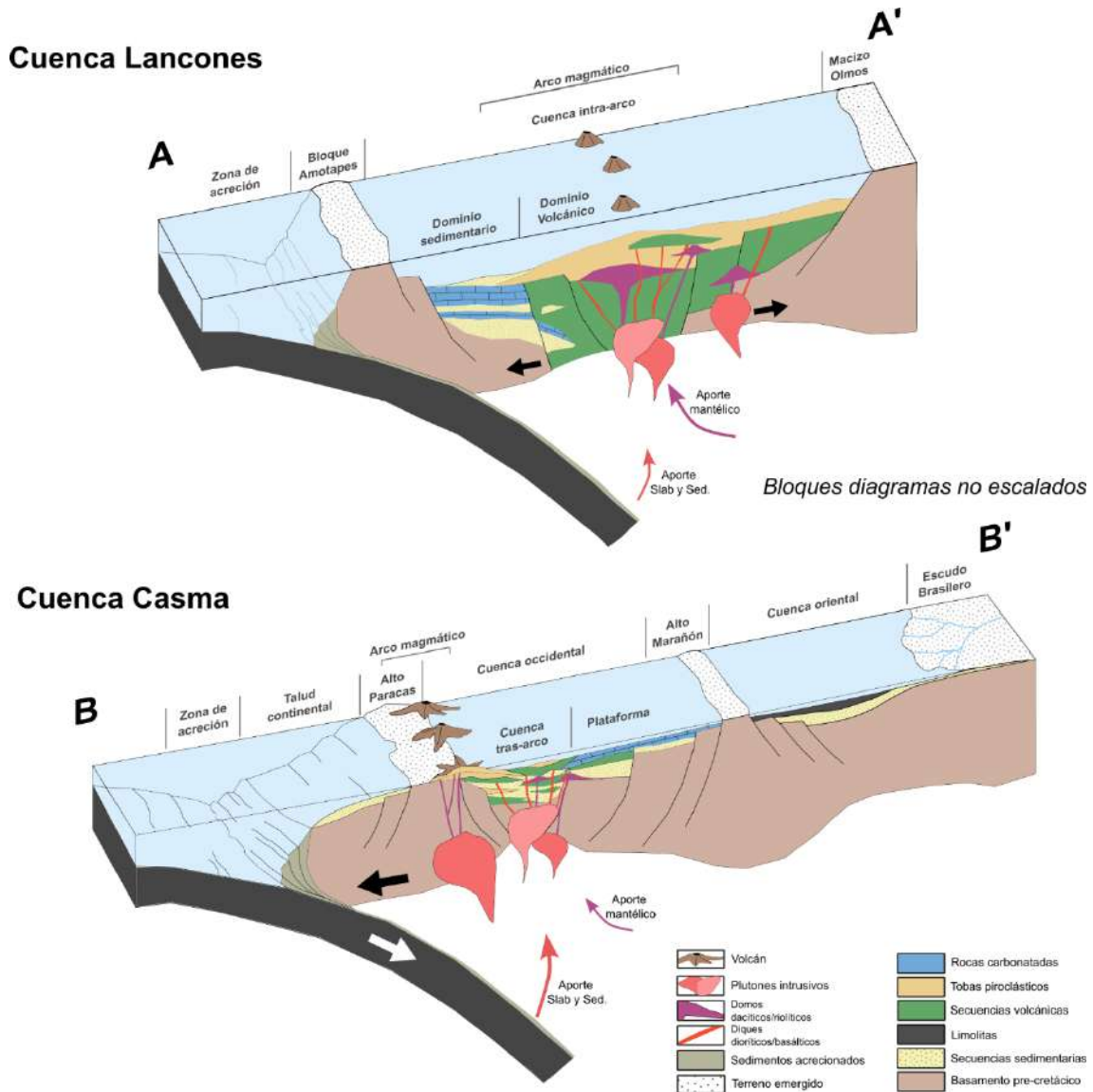


Nota: Modificado de Megard (1987), Jacay (1992) y Scherrenberg (2012). La limitante hacia el este es la falla Tapacocha, mientras que hacia el oeste es el alto de Paracas. Mientras que la plataforma carbonatada de forma en la cuenca de tras-arco entre la falla Tapacocha y el complejo Marañón. En Líneas punteadas la ubicación hipotética del arco.

Probablemente la falta de depósitos económicos sobre la subcuenca Huarney esté debido a la influencia de una corteza gruesa para el cretácico a lo largo de la costa (Alto estructural), sin embargo, se tienen evidencias de anomalías reportadas por INGEMMET en las campañas de muestreo de sedimentos de quebrada, muestras de roca y geofísica

sobre el ANAP-02 (Zuloaga et al, 2018) y sobre la zona propuesta en esta tesis como blanco exploratorio en la Fig. 10, que se ubican sobre la corteza adelgazada, presentada en el mapa de espesores corticales, estas anomalías de Pb, Zn, Cu, Ba, etc. muestran asociaciones típicas de depósitos tipo VMS. (Fig. 14).

Figura 14. Interpretación tectónica de las cuencas de intra-arco Lancones y Casma



Nota: (a) Interpretación tectónica de la cuenca Lancones, modificado de Winter (2010). (b) Interpretación tectónica de la cuenca Casma, modificado de Megard (1987), Jacay (1992) y Scherrenberg (2012). Resaltan las diferencias de con respecto al con respecto a sus principales aportes magmáticos, teniendo aportes mayormente magmáticos en el Norte, mientras que en el centro mayor aporte del slab y sedimentos acrecionados. Así también como a los regímenes tectónicos asociados, en el norte teniendo este rift generado por el giro del bloque Amotapes-Tahuin y en el centro una extensión de tras-arco generada por una subducción rápida y de alto ángulo.

8. CAPITULO VIII: Conclusiones

El análisis litogeoquímico de las rocas cretácicas permitió discriminar dos tipos principales de depósitos VMS. En el norte, las rocas de la cuenca Lancones muestran características bimodal-máficas, de signatura toleítica a calcoalcalina, vinculadas a un rift extensional y fluidos magmáticos de fuerte influencia mantélica. Estas rocas se formaron bajo cortezas de 10-30 km de espesor, en coherencia con los trazadores de profundidad (Sr/Y y Ce/Y). En contraste, las rocas de las cuencas Huarney y Cañete (arco volcánico Casma) en el centro del país presentan características bimodal-félsicas de signatura calcoalcalina, incluso alto potasio, asociadas a un adelgazamiento cortical de tras-arco por el inicio de la convergencia tectónica. En este caso, los estimadores indican un espesor cortical de 20-40 km.

Estas características litológicas, mineralógicas y ensambles de alteración hidrotermal están asociadas a la formación y localización de depósitos de Sulfuros Masivos Volcanogénicos en las costas del norte y centro del Perú. Estas características litogeoquímicas varían según el contexto geotectónico en el que se depositaron, pero presentan relación directa con la mineralización. Dicha asociación se observa tanto en la distribución espacial de los depósitos como en los elementos clave involucrados en su génesis. Esta conexión permite identificar zonas favorables para la exploración, especialmente en cuencas sub-exploradas como Huarney, donde en el capítulo 6 se destacan oportunidades para la prospección regional para depósitos VMS.

Los ensambles mineralógicos observados en el análisis factorial y en las menas de los depósitos más conocidos permiten distinguir entre depósitos ricos en Cu-Zn-Au en el norte, y Pb-Zn-Ag en el centro, en concordancia con sus fuentes magmáticas. Los fluidos mantélicos aportan Cu-Au, mientras que los derivados del slab de subducción contribuyen con Pb-Zn-Ag, en coherencia con el contexto litológico de cada zona.

Así también se observan diferencias en los minerales de alteración hidrotermal. En el norte (cuenca Lancones), predominan asociaciones de clorita, epidota, carbonatos ricos en Mg y pirita, típicos de depósitos bimodal-máficos con mineralizaciones Cu-Zn-Au. Estos carbonatos sugieren mezcla de fluidos mantélicos calientes con aguas meteóricas frías. En el centro (cuenca Casma), predominan asociaciones de sericita, cuarzo y pirita,

con carbonatos cálcicos y baritina, característicos de depósitos bimodal-félsicos Pb-Zn-Ag. Esto sugiere fluidos magmáticos del slab más fríos que atravesaron una corteza ligeramente más gruesa.

9. CAPITULO IX: Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios más profundos en cuando a dataciones radiométricas, para poder realizar interpretaciones de evolución de ambas cuencas. Sin embargo, se infiere que las cuencas fueron engrosándose corticalmente conforme avanzaba el cretácico superior-paleoceno. Así como que los procesos de formación de las sub-cuencas Cañete y Huarmey muy similares, así también recalcar que la edad propicia para la mineralización está alrededor de los 100 Ma (Winter, 2010; Ccallo, 2023) esto combinado a bajos ratios Ce/Y y la conjunción con estructuras corticales, es un excelente instrumento de prospección.

10.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguirre, L., Levi, B. & Nystrom, J (1989) The link between metamorphism, volcanism and geotectonic setting during the evolution of the Andes. In Evolution of metamorphic belts, J S Daly & al. eds., Geological Society special publication N° 43, pp 223-232.
2. Ardila, A.M., Pompe, L.R., Clausen, B.L., Paterson, S.R., Holk, G.J. & Luffi, P. (2023). A synthesis of the Peruvian Coastal Batholith: An exploration of temporal histories, causes of compositional diversity, and tectonomagmatic links in arcs. *Lithos*.
3. Atherton M.P., Warden V. & Sanderson L.M. (1985) The Mesozoic marginal basin of central Peru; a geochemical study of within-plat-edge volcanism in Magmatism at a plate edge; The Peruviam Batholith: glassgow, blackie and Sons, p. 47-58.
4. Atherton, MP. & Webb, S. (1989) Volcanic facies, structure, and geochemistry of the marginal basin rocks of central Peru. *J. South Amer Earth Sci.*, 2, pp. 241-261.
5. Barrett, T. J., & MacLean, W. H. (1997). Volcanic sequences, lithogeochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. En C. T. Barrie & M. D. Hannington (Eds.), *Volcanic-associated massive sulfide deposits: Processes and examples in modern and ancient settings* (Vol. 8).
6. Barrie, C. T., & Hannington, M. D. (1999). Chap. 1. Classification of Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits Based on Host-Rock Composition. In C. T. Barrie, & M. D. Hannington (Eds.), *Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings* (8th ed.). Society of Economic Geologists.
7. Bellido, P., Jaimes, F., Carlotto, V. & Díaz-Martínez, E. (2009). Datación y caracterización geoquímica de los granitoides peraluminicos de los Cerros de Amotape y de los Macizos de Illescas y Paita (Noroeste de Perú): Sociedad Geologica del Perú.
8. Bosc, E. (1963). Geología de la Región comprendida entre la Quebrada Parcca (Chilca) y el Valle de Mala. Tesis de Bachiller. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 84 p.
9. Caldas J., & Farfán C., (1997) Tectonismo, magmatismo y sedimentación en la Cuenca Lancones. Resúmenes extendidos, IX Congreso Peruano de Geología, Vol. esp. Lima. pp. 249-253.y pp. 327 - 330.
10. Canchaya, S. & Aranda, A. 2001. Geología económica y mapa metalogénico del Perú: relación de minas y prospectos mineros. Ingemmet, 32 p.
11. Ccallo, W., Mamani Y., Guo, W., Junan L., Shizhong Ch., D. & Choquehuabaca, S. (2023). Geocronología y geoquímica del Batolito de la Costa entre 9° 30' y 10° 30' S. INGEMMET, Boletín Serie D: Estudios Regionales N° 39.

12. Chiaradia, M. (2014). Copper enrichment in arc magmas controlled by overriding plate thickness. *Nature Geosci* 7, 43–46. <https://doi.org/10.1038/ngeo2028>
13. Claiborne, L., Miller, C., Walker, B., Wooden, J., Mazdab, F. & Bea, F. (2006). Tracking magmatic processes through Zr/Hf ratios in rocks and Hf and Ti zoning in zircons: An example from the Spirit Mountain batholith, Nevada. *Mineralogical Magazine*, 70(5), 517–543.
14. Cobbing, E.J., Pitcher, W.S., Wilson, J., Baldock, J., McCourt, W. & Snelling, N.J. (1981). Estudio geológico de la Cordillera Occidental del norte del Perú. *Boletín INGEMMET*, D-10, 2.
15. Cox, D. & Singer, D. (1986). Mineral deposit models. U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 379 p.
16. Cueva, E., Mamani, M. & Rodríguez, R. (2010). Magmatismo y Geoquímica del Vulcanismo Albiano-Cenomaniano (Grupo Casma) y Maastrichtiano-Daniano entre Pucusana y Chimbote; XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9 (2010), Cusco pp. 921–925.
17. Davidson, J., Hassanzadeh, J., Berzins, R., Stockli, D. F., Bashukoooh, B., Turrin, B., & Pandamouz, A. (2004). The geology of Damavand volcano, Alborz Mountains, northern Iran. *GSA Bulletin*, 116(1-2), 16–29.
18. Davies, J., & Whitehead, R. (2010). Alkali/Alumina Molar Ratio Trends in Altered Granitoid Rocks Hosting Porphyry and Related Deposits. *Exploration and Mining Geology*, 19, 13–22.
19. Doyle, M. G., & Allen, R. L. (2003). Subsea-Floor Replacement in Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits. *Ore Geology Reviews*.
20. Embley, R., Jonasson, I., Perfit, M., Franklin, J., Tivey, M., Malahoff, A., Smith, M., & Francis, T. (1988). Submersible investigation of an extinct hydrothermal system on the Galapagos Ridge - sulfide mounds, stockwork zone, and differentiated lavas. *Canadian Mineralogist*, 26(3), 517–539.
21. Farfán, C., Monge, R. & Fontboté, L. (2019). Palma, yacimiento de Zn-Pb tipo VMS en una Cuenca intra-arco del Cretácico Superior en Perú Central: nuevos avances en exploración para un gran potencial. *ProExplo* 2019.
22. Fontboté, L. (2019). Volcanogenic Zn-Pb±Cu massive sulfide deposits in the upper cretaceous pluto-novolcanic arc in central Peru. *ProExplo* 2019.
23. Fontboté, L., Chiaradia, M., Spangenberg, J.E., Peytcheva, I. (2025). The mid Cretaceous VMS belt in the Peruvian coast. 18th SGA Biennial Meeting, Colorado, Golden. Extended Abstracts (accepted).
24. Francheteau, J., Needham, H., Choukroune, P., Juteau, T., Séguret, M., Ballard, R., Fox, P., Normark, W., Carranza, A., Cordoba, D., Guerrero, J., Rangin, C., Bougault, H., Cambon, P., & Hekinian, R. (1979). Massive deep-sea sulphide ore deposits discovered on the East Pacific Rise. *Nature* 277, 523–528
25. Franklin J., Gibson H., Jonasson I., and Galley A. (2005). Volcanogenic massive sulfide deposits. In: Hedenquist J., Thompson J., Goldfarb R., and Richards J. 100th Anniversary Volume of Economic Geology, pp. 523–560. Littleton, CO: Society of Economic Geologists.

26. Franklin J., Lydon J., and Sangster D. (1981). Volcanic-associated massive sulfide deposits. In: Skinner B. 75th Anniversary Volume of Economic Geology, pp.485-627. Lancaster, PA: The Economic Geology Publishing Company.
27. Franklin, J.F., J.A. MacMahon, F.J. Swanson, and J.R. Sedell. (1985). Ecosystem responses to the eruption of Mount St. Helens. *National Geographic Research* 1: 198–216.
28. Galley, AG, Hannington, MD, Jonasson, IR (2007). Volcanogenic massive sulphide deposits. In Goodfellow WD (ed) *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, St. John's, Newfoundland, Canada, pp 141–161.
29. Gemmell, J., & Herrmann, W. (2001). A special issue on alteration associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits, and its exploration significance. *Economic Geology*, 96(5), 909–912.
30. Geologists, Littleton, CO. Hannington, M. (2014). Volcanogenic massive sulfide deposits. Elsevier Ltd.
31. Guevara, C. (1980). El Grupo Casma del Perú Central Entre Trujillo y Mala. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 67: 73-83.
32. Halley, S. (2020). Mapping magmatic and hydrothermal processes from routine exploration geochemical analyses. *Economic Geology*, 115, 489-503.
33. Hannington M., de Ronde C., and Petersen S. (2005). Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems. In: Hedenquist J., Thompson J., Goldfarb R., and Richards J., (eds) 100th Anniversary Volume of Economic Geology, pp.11-142. Littleton, CO: Society of Economic Geologists.
34. Hannington, MD, Barrie, CT (1999). The giant Kidd Creek volcanogenic massive sulfide deposit: Western Abitibi Subprovince, Canada. *Society of Economic*
35. Hollis, S., Yeats, C., Wyche, S., Barnes, S., Ivanic, T., Belford, S., Davidson, G., Roache, A., & Wingate, M. T. D. (2015). A review of volcanic-hosted massive sulfide (VHMS) mineralization in the Archaean Yilgarn Craton, Western Australia: Tectonic, stratigraphic, and geochemical associations. *Precambrian Research*, 260, 113–135.
36. Huston, D.L., Pehrsson, S., Eglington, B., Zaw, K., (2010). The geology and metallogeny of volcanic-hosted massive sulfide deposits: variations through geologic time and with tectonic setting. *Econ. Geol.* 105, 571–591.
37. Injoque J., (2000) Distribución de Yacimientos de Sulfuros Masivos (VMS) y de Cobre tipo Manto (CuTM) en el Arco Volcánico Cretácico de los Andes Peruanos y Sudamericanos. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, N° 90. pp. 19-34.
38. Jacay, J. (2005). Análisis de la sedimentación del sistema cretáceo de los Andes del Perú Central. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas*,

- metalurgia y ciencias geográficas, ISSN-e 1682-3087, ISSN 1561-0888, Vol. 8, Nº. 15, 2005, págs. 49-59.
39. Jaillard E., Laubacher G., Bengtson P., Dhondt A., Philip J., Bulot L. & Robert E., (1998) Revisión estratigráfica del Cretáceo Superior del Noroeste Peruano y Suroeste Ecuatoriano. Datos Preliminares, Consecuencias Tectónicas. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. Vol.88, pp 101-115.
 40. Jaillard, E.; Bengtson, P.; Dhondt, A.V.; Laubacher, G.; Bulot, L.G. & Robert, E. (1997). Revisión estratigráfica del Cretáceo superior del noroeste peruano. Datos preliminares, consecuencias tectónicas. En: Congreso Peruano de Geología, 9, Lima, 1997. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 327-330.
 41. Jaimes, F. (2023). Geología de la cuenca Lancones, noroeste del Perú. INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Regionales, 42, 174 p, 1 mapa.
 42. Jaimes, F.; Santos, A.; Navarro, J.; Carlotto, V.; Bellido, F. & Rodríguez, I. (2010). Nueva metodología en la exploración de yacimientos tipo VMS basados en datos geológicos, geoquímicos, magnetométricos y radiométricos: ejemplo de la Cuenca Lancones. En: Congreso Peruano de Geología, 15, Cusco 2010. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 551-554.
 43. Jara, R. (2019). Controles metalogenéticos de los depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) en la Cuenca Casma, Subcuenca Cañete, Perú. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
 44. Johnson, B.J., Montante-Martinez, J.A., Canela-Barboza, M., Danielson, T.J., (2000). Geology of the San Nicolás Deposit, Zacatecas, Mexico, in Sherlock, R.L. and Logan, M.A.V., eds., VMS Deposits of Latin America: Geological Association of Canada, Special Publication, 2, 71-85.
 45. Kappel, E., & Franklin, J. (1989). Relationships between geologic development of ridge crests and sulfide deposits in the Northeast Pacific Ocean. *Economic Geology*, 84(3), 485–505.
 46. Kleinrock, M., Tucholke, B., Lin, J., & Tivey, M. A. (1997). Fast rift propagation at a slow-spreading ridge. *Geology*, 25(7), 639–642.
 47. Large, R. (1992). Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits; features, styles, and genetic models. *Economic Geology*, 87 (3): 471–510.
 48. Large, R.R., Gemmell, J.B., Paulick, H., & Huston, D.L. (2001). The Alteration Box Plot: A Simple Approach to Understanding the Relationship between Alteration Mineralogy and Lithogeochemistry Associated with Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits. *Economic Geology*, 96, 957-971.
 49. Leon, W. & De la Cruz, O. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurin (25-j) y Lima (25-I), escala 1:50 000. INGEMMET.
 50. Lesher, C., Gibson H. & Campbell I. (1986). Composition-volume changes during hydrothermal alteration of andesite at Buttercup Hill, Noranda District, Quebec, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 50, Issue 12.

51. Li, L., Xiong, X. L. & Liu, X. C. (2017). Nb/Ta Fractionation by Amphibole in Hydrous Basaltic Systems: Implications for Are Magma Evolution and Continental Crust Formation. *Journal of Petrology*. Vol. 58(1), 3-28.
52. MacLean, W. & Barret T. (1993). Lithogeochemical techniques using immobile elements; *Journal of Geochemical Exploration*, v. 48, p. 109-133.
53. Mantle, G. & Collins, W. (2008). Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens: Correlation between arc basalt composition and Moho depth. *Geological Society of America Bulletin*, v. 36, pp. 87–90.
54. McDonough, W., Sun, S., Ringwood, A., Jagoutz, E. & Hofmann, A. (1992). Potassium, Rubidium and Cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56, pp. 1001-1012.
55. Medina, E. (2013). Minado masivo para una producción de 15k tpd en Unidad Minera Cerro Lindo – Milpo S.A.A. PERUMIN 31 Convención Minera.
56. Müller, R.D., et al., (2016). Ocean Basin Evolution and Global-Scale Plate Reorganization events since Pangea Breakup. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 44, 107–138. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-060115-012211>.
57. Myers, J. (1974). Cretaceous stratigraphy and structure, Western Andes of Peru between latitudes 10°- 10°30'. *A.A.P.G. Bulletin* pp. 474-487.
58. Myers, J. (1980). Geología de los cuadrángulos de Huarmey 21-g y Huayllapampa 21-h. *Boletín 33 Serie A: Carta Geológica Nacional. INGEMMET*.
59. Noble, D., Rios, A., Vidal, C., Spell, T., Zanetti, K., Angeles, C., Ochoa, J. & Cruz, S. (2005). Late cretaceous basalt in the rio Mala Velly, central Perú: Evidence for extension and mafic magmatism prior to latest Cretaceou-Paleocene plutonism and silicic volcanism. *Sociedad Geológica del Perú, volumen Jubilar Alberto Giesecke Matto*, 141-148.
60. Offler, R., Aguirre, L., Levi, B. Y Child, S. (1980). Burial metamorphism in rocks of the Western Andes of Peru. *Lithos*, n. 13, pp. 31-42.
61. Pearce, J. (1996). A user's guide to basalt discrimination diagrams. In *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks; Applications for Massive Sulphide Exploration*. Short Course Notes, Geological Association of Canada, Volume 12, pp. 79-113.
62. Pearce, J. (2010). An overview of petrochemistry in the regional exploration for volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. V 10; pp. 119-136.
63. Pearce, J. (2014). Immobile Element Fingerprinting of Ophiolites. *Elements* 10, pp. 101-108.
64. Pearce, Julian A; Rogers, Nick; Tindle, A. J. & Watson, J. S. (1986). Geochemistry and petrogenesis of basalts from DSDP Leg 92 holes [dataset publication series]. PANGAEA.
65. Perfit, M., & Chadwick, W. (1999). Faulting and magmatism at mid-ocean ridges. In R. W. Buck, P. T. Delaney, J. A. Karson, & Y. Lagabrielle (Eds.), *Faulting and magmatism at mid-ocean ridges* (pp. 59–115). American Geophysical Union.
66. Peter J. and Goodfellow W. (2003). Hydrothermal sedimentary rocks of the Heath Steele belt, Bathurst mining camp, New Brunswick: Part 3: Application of

- mineralogy and mineral bulk compositions to massive sulfide exploration. *Economic Geology Monograph* 11: 417-433.
67. Picardo, E., Fontboté, L., Mena, T., Chirinos, O. & Halter, W. (2019). El yacimiento de Zn-Pb-Cu-Ag tipo VMS María Teresa, Perú: geología y exploración.
 68. Pitcairn I., (2011) Background concentrations of gold in different rock types. *Applied Earth Science*. 2011;120(1):31-38. doi:10.1179/1743275811Y.00000000021
 69. Polliand, M., Schaltegger, U., Frank, M. & Fontboté, L. (2005). Formation of Intra arc volcanosedimentary basins in the western flank of the central Peruvian Andes during Late Cretaceous oblique subduction: field evidence and constraints from U-Pb ages and Hf isotopes. *Int. J. Herat Sci. (Geol. Rundsch)* 94: 231 – 242 p.
 70. Profeta, L., Ducea, M.N., Chapman, J.B., Paterson, S.R., Gonzales, S.M.H., Kirsch, M., Petrescu, L., & Decelles, P.G., (2015). Quantifying crustal thickness over time in magmatic arcs: *Scientific Reports*, v. 5, 17786, <https://doi.org/10.1038/srep17786>.
 71. Prokin, V. A. and Buslaev, F. P. (1999) Massive copper-zinc sulphide deposits in the Urals. *Ore Geol. Rev.*, 14, 1–6.
 72. Ramos, V. & Aleman, A. (2000). Tectonic evolution of Andes. *Tectonic Evolution of South America. International Geological Congress, Rio de Janeiro*.
 73. Reyes, L. & Caldas, J. (1987). Geología de los cuadrángulos de: Las Playas 9-c, La Tina 9-d, Las Lomas 10-c, Ayabaca 10-d, San Antonio 10-e, Chulucanas 11-c, Morropón 11-d, Huancabamba 11-e, Olmos 12-d, Pomahuanca 12-e. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 39, 83 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/159>
 74. Ríos, A. (2004). Estudios del metalotecto Lancones y su potencial por yacimientos de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) - (Piura – Perú). Descripción, interpretación y potencial. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 364 p.
 75. Romero, D. (2007). La cuenca Cretácico superior-Paleoceno del Perú Central: Un Metalotecto para la exploración de SMV, Ejemplo Mina Maria Teresa. INGEMMET.
 76. Romero, D., Quispe, J., Carlotto, V. & Tassinari, C. (2008). Los depósitos de la cuenca Maastrichtiano-Daniano: Relación con los yacimientos tipo SMV; Perú central. INGEMMET.
 77. Salazar, H. & Landa, C. (1993). Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chincha, Tantara y Castrovirreyna. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n.44.
 78. Scott, W. (1980). Geology of the Columbia Basin. *Journal of Forestry*, 78(9), 537–607.
 79. Serrano, M. (2003). Estudio geológico-minero de la hoja de Río Seco (10 C-II) (escala 1:50,000). Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 82 p.

80. Shanks III W. (2001). Stable isotopes in seafloor hydrothermal systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 43:469-526.
81. Shanks III, W., Koski, R., Mosier, D., Schulz, K., Morgan, L., Slack, J., Ridley, W. I., Dusel-Bacon, C., Seal II, R. R., & Piatak, N. M. (2012). Volcanogenic massive sulfide occurrence model. En P. Shanks III & R. Thurston (Eds.)
82. Singer D. (1995). Worl-class base and precious metal deposits: A quantitative analysis. *Economic Geology* 90:88-104.
83. Soler, P. & Bonhomme, M.G. (1990). Relation of magmatic activity to plate dynamics in Central Peru from Late Cretaceous to present. In Kay, S.M. & Rapela, C.W., eds., *Plutonism from Antarctica to Alaska*. Boulder, CO: Geological Society of America, Special Paper 241, pp. 173-192.
84. Soler, P. (1991). El Vulcanismo Casma del Perú Central: Cuenca Marginal Abortada o Simple Arco Volcánico. Volumen de Resúmenes del VII Congreso Peruano de Geología. p: 659- 663. 52p.
85. Spry P., Peter J., and Slack J. (2000). Meta-exhalites as exploration guides to ore. *Reviews in Economic Geology* 11:163-201.
86. Steinmüller, K. (1999). Depósitos metálicos en el Perú: su metalogenia, sus modelos, su exploración y el medio ambiente. Lima. 171 p.
87. Stern, R. (2002). Subduction zones. *Reviews of Geophysics*, 40(4), 1012, 38 p. <https://doi.org/10.1029/2001RG000108>
88. Tegart, P., Allen, G. & Carstensen, A. (2000). Regional setting, stratigraphy, alteration, and mineralization of the Tambogrande VMS district, Piura department, Northern Peru. The Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division Special Publication N° 2, pp. 375-405.
89. Torró, L., Benites, D., Vallance, J., Laurent, O., Ortiz-Benavente, B., Chelle-Michou, C., Proenza, J., & Fontboté, L. (2022). Trace element geochemistry of sphalerite and chalcopyrite in arc-hosted VMS deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 232, 106917.
90. Trottereau, G. y Ortiz, G. (1963). Geología de los Cuadrángulos de Chimbote y Casma. Comisión Carta Geológica Nacional (inédito).
91. Valdivia J. & Torres J. A. (1995). Evolución estratigráfico-estructural en relación con la ocurrencia de mineralización vulcanogénica en la Cuenca Lancones, Piura. Vol. Jubilar A. Benavides. Sociedad Geológica del Perú. Pp. 327-335.
92. Vearncombe S., Barley M., Groves D., McNaughton N., Mikucki E., and Vearncombe J. (1995) 3.26 Ga black smoker-type mineralization in the Strelley Belt, Pilbara Craton, western Australia. *Journal of the Geological Society* 152: 587-590.
93. Vidal, C. (1987). Kuroko-type deposits in the Middle-Cretaceous marginal basin of central Peru. *Economic Geology*, v. 82, pp. 1409-1430.
94. Winter, L.S (2008). The genesis of ‘giant’ copper-zinc-gold silver volcanogenic massive sulfide deposits at Tambogrande, Perú: age, tectonic setting, paleomorphology, lithogeochemistry and radiogenic isotopes. PhD Thesis, University of British Columbia, Vancouver, 274 p.

95. Wood, D. (1980). The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 50, pp. 11-30.
96. Zivkovic, Z., Halley, S., Vicary, M., Baker, M., Cracknell, M. & Barker, S. (2024). Whole rock lithogeochemical analysis of the Mount Read Volcanics: a new tool for geochemical exploration. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 2024; 24 (3): geochem2024–008.
97. Zivkovic, Z.; Danyushevsky, L., Halley, C., Barker S. & Baker, M. (2023) Comparison of lithium borate fusion and four-acid digestions for the determination of whole-rock chemistry – implications for lithogeochemistry and mineral exploration. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 2023; 23 (2): geochem2022–054.
98. Zuloaga, A.; Gómez, E.; Yupa, R. & Calla, D. (2018). Informe de prospección geológica minera del ANAP Zona 2 Bloque 1 (Lima). Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. INGEMMET.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de recopilación bibliográfica de información litgeoquímica de ambas cuencas con su respectivo autor.

ID	Referencia	Año	XX	YY	Al2O3 %	CaO %	Fe2O3 %	FeO %	K2O %	MgO %	MnO %	Na2O %	P2O5 %	SiO2 %	TiO2 %	Ba ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pb ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sc ppm	Sm ppm	Sr ppm	Ta ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	U ppm	V ppm	Y ppm	Yb ppm	Zn ppm	Zr ppm	
AG-001	Rios (2004)	2004	-	80.56	-4.92	18.42	7.64	11.95	11.29	0.65	5.57	0.59	3.13	0.03	48.92	0.99	292.0	2.4	25.0	54.0	1.0	2.5	1.8	0.6	1.7	1.4	0.6	0.9	0.3	0.6	2.5	6.0	2.0	0.4	13.0	47.0	1.2	228.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.1	398.0	14.2	1.7	80.0	40.0
AG-002	Rios (2004)	2004	-	80.56	-4.92	19.89	7.26	10.56	10.11	0.74	3.23	0.16	3.05	0.09	50.01	0.86	206.0	8.0	23.0	58.0	1.0	3.0	2.0	0.9	2.6	1.4	0.6	3.0	0.3	0.7	7.2	3.0	2.0	1.3	15.0	33.0	2.4	245.0	0.0	0.4	0.2	0.3	0.1	345.0	16.3	1.8	45.0	37.6
AG-003	Rios (2004)	2004	-	80.43	-4.83	18.00	13.89	9.47	9.19	0.09	5.47	0.19	1.65	0.06	49.65	0.58	79.5	6.5	33.5	170.0	150.0	2.2	1.4	0.6	1.8	1.0	0.5	2.5	0.2	1.0	4.5	35.0	5.0	1.0	1.4	39.4	1.5	139.5	0.0	0.3	1.0	0.2	0.5	365.0	13.5	1.5	110.0	22.0
AG-004	Rios (2004)	2004	-	80.41	-4.85	17.33	6.84	12.06	11.38	0.19	4.09	0.19	5.01	0.08	51.41	0.94	213.0	9.5	36.0	30.0	110.0	4.0	2.7	0.8	3.1	1.0	0.9	6.0	0.4	1.0	7.5	20.0	5.0	1.5	3.0	34.5	2.4	232.0	0.0	0.6	1.0	0.4	0.5	365.0	24.0	2.6	125.0	51.0
AG-005	Rios (2004)	2004	-	80.37	-4.58	16.16	6.19	9.28	9.03	1.24	4.10	0.31	3.04	0.07	53.09	0.76	641.0	21.0	15.2	39.0	80.0	3.3	2.4	0.8	3.0	1.0	0.7	16.0	0.4	0.5	10.0	20.0	8.9	2.9	19.2	29.6	2.7	196.0	0.0	0.5	2.0	0.4	0.5	255.0	20.0	2.5	77.8	54.5
AG-006	Rios (2004)	2004	-	80.37	-4.58	15.19	6.20	12.84	12.04	0.98	4.33	0.43	2.24	0.09	49.73	0.82	606.0	13.0	16.3	49.0	405.0	3.8	2.7	0.9	3.5	1.0	0.8	8.0	0.3	0.5	8.0	15.0	9.4	1.7	16.2	33.1	2.5	245.0	0.0	0.5	1.0	0.4	0.5	285.0	21.0	2.3	79.1	59.5
AG-007	Rios (2004)	2004	-	80.34	-4.58	16.39	8.06	8.86	8.68	0.27	4.48	0.15	2.88	0.10	50.73	0.70	302.0	23.0	15.0	52.0	70.0	3.6	2.5	0.9	3.1	1.0	0.8	18.0	0.4	1.0	11.0	20.0	9.7	3.1	4.6	32.0	2.6	214.0	0.0	0.6	2.0	0.4	0.5	250.0	23.0	2.6	79.9	50.0
AG-008	Rios (2004)	2004	-	80.37	-4.58	12.11	4.33	10.79	10.31	1.87	6.58	0.61	1.97	0.07	52.05	0.60	973.0	16.0	14.3	89.0	905.0	2.4	1.3	0.6	2.4	0.5	0.5	20.0	0.1	0.5	8.5	30.0	14.1	2.2	25.8	30.7	2.0	69.9	0.0	0.3	1.0	0.2	0.5	230.0	13.0	1.1	91.8	25.0
AG-009	Rios (2004)	2004	-	80.34	-4.58	19.36	9.81	9.20	8.96	0.16	4.80	0.11	2.63	0.07	46.59	0.72	213.0	9.0	17.2	40.0	75.0	2.7	1.7	0.7	2.3	0.5	0.6	6.5	0.2	0.5	5.0	25.0	10.4	1.2	3.0	36.4	2.0	322.0	0.0	0.4	1.0	0.2	0.5	310.0	15.0	1.7	81.7	23.0
AG-010	Rios (2004)	2004	-	80.37	-4.58	15.84	7.79	11.50	10.91	1.08	8.25	0.25	1.58	0.06	46.68	0.68	475.0	12.0	16.7	82.0	65.0	2.5	1.8	0.9	2.6	0.5	0.6	20.0	0.2	0.5	11.0	40.0	17.5	1.6	17.2	36.3	2.2	196.0	0.0	0.4	1.0	0.3	0.5	295.0	15.0	1.6	101.2	37.0
AG-011	Rios (2004)	2004	-	80.37	-4.58	15.10	4.59	12.34	11.61	1.99	6.49	0.67	1.66	0.10	48.68	0.94	952.0	17.0	18.0	54.0	210.0	3.0	2.2	0.7	2.7	1.0	0.7	10.0	0.3	0.5	7.0	25.0	13.9	2.3	31.2	34.2	2.0	100.0	0.0	0.5	1.0	0.3	0.5	330.0	18.0	1.9	91.3	52.0
AG-012	Rios (2004)	2004	-	80.37	-4.58	17.73	6.06	9.47	9.19	2.41	5.18	0.28	1.97	0.13	47.55	0.71	1155	14.0	16.5	46.0	85.0	2.4	1.9	0.6	2.4	0.5	0.5	12.0	0.2	0.5	7.0	20.0	11.2	1.9	40.8	35.4	2.0	202.0	0.0	0.4	1.0	0.3	0.5	290.0	15.0	1.6	83.9	31.0
AG-013	Rios (2004)	2004	-	80.37	-4.58	15.62	10.08	8.74	8.58	1.72	4.45	0.42	2.58	0.12	48.49	0.62	912.0	15.0	14.3	23.0	40.0	2.4	1.7	0.7	2.2	0.5	0.5	14.0	0.2	0.5	8.0	15.0	9.7	2.0	21.6	34.4	1.9	180.0	0.0	0.4	1.0	0.3	1.0	230.0	14.0	1.5	79.7	37.5
AG-014	Rios (2004)	2004	-	80.34	-4.58	16.65	10.47	11.74	11.11	0.14	5.82	0.20	1.78	0.07	49.18	0.83	162.0	14.0	20.4	59.0	85.0	3.0	2.2	0.8	2.6	0.5	0.6	11.0	0.3	1.0	6.0	20.0	12.5	1.9	2.4	33.7	1.9	243.0	0.0	0.5	1.0	0.3	0.5	395.0	18.0	2.0	87.5	30.5
AG-015	Rios (2004)	2004	-	80.34	-4.58	16.90	10.22	11.13	10.59	0.25	5.54	0.18	2.24	0.09	48.71	0.83	227.0	10.0	19.6	71.0	85.0	2.7	2.1	0.7	2.5	0.5	0.6	7.0	0.2	0.5	5.5	20.0	11.9	1.3	3.4	34.2	2.0	263.0	0.0	0.5	1.0	0.3	0.5	375.0	17.0	1.7	85.9	29.5
AG-016	Rios (2004)	2004	-	80.34	-4.58	16.90	10.22	11.13	10.59	0.25	5.54	0.18	2.24	0.09	48.71	0.83	227.0	10.0	19.6	71.0	85.0	2.7	2.1	0.7	2.5	0.5	0.6	7.0	0.2	0.5	5.5	20.0	11.9	1.3	3.4	34.2	2.0	263.0	0.0	0.5	1.0	0.3	0.5	375.0	17.0	1.7	85.9	29.5
AG-017	Rios (2004)	2004	-	80.34	-4.58	18.65	9.60	9.81	9.48	0.13	4.75	0.15	3.21	0.07	47.01	0.76	170.0	9.5	18.0	38.0	80.0	2.4	1.9	0.7	2.1	0.5	0.6	7.0	0.2	0.5	5.0	25.0	10.3	1.2	2.4	35.9	1.8	220.0	0.0	0.4	0.5	0.3	0.5	330.0	16.0	1.7	81.4	27.0
AG-018	INGEMMET GR4	2006	-	77.12	-10.88	17.01	3.70	4.73	5.19	2.82	3.31	0.08	6.85	0.13	62.62	0.52	344.0	72.5	8.8	57.0	129.4	7.4	4.3	2.1	8.6	7.0	1.6	34.9	0.7	18.0	37.3	30.0	28.0	9.2	41.2	18.0	7.8	290.0	1.0	1.3	12.7	0.7	0.6	78.0	38.9	4.3	136.9	226.0
AG-019	INGEMMET GR4	2006	-	77.82	-9.70	17.51	8.72	10.78	10.30	0.78	3.90	0.26	2.88	0.33	50.75	1.31	239.8	40.4	22.6	72.0	23.0	5.7	3.5	1.4	5.6	4.5	1.1	19.2	0.5	10.6	23.9	12.0	34.0	5.5	23.3	34.4	5.2	427.1	0.6	1.0	3.0	0.5	0.4	236.0	29.7	2.9	149.0	75.7
AG-020	INGEMMET GR4	2006	-	78.01	-9.84	17.09	4.17	4.48	4.98	2.74	1.48	0.08	7.37	0.12	60.99	0.48	766.3	34.3	8.5	164.0	10.0	3.5	2.1	0.8	3.5	5.1	0.6	17.4	0.4	7.2	16.2	11.0	8.0	4.3	72.7	20.0	3.5	278.2	0.6	0.6	9.3	0.3	1.7	74.0	18.2	2.2	54.0	214.4
AG-21	INGEMMET GR4	2006	-	77.82	-9.75	16.13	4.93	11.31	10.74	1.92	3.19	0.20	4.16	0.31	54.42	1.50	455.5	38.8	20.1	34.0	55.0	6.2	3.6	1.7	5.9	4.6	1.1	17.4	0.5	8.8	23.1	20.2	16.0	5.4	68.0	35.3	5.7	552.9	0.6	1.0	3.2	0.5	0.7	229.0	31.6	3.4	137.0	89.8
AG-22	INGEMMET GR4	2006	-	77.84	-9.63	16.31	4.68	7.50	7.53	1.75	2.90	0.14	3.16	0.21	59.81	0.83	380.9	38.2	17.8	100.0	38.0	4.3	2.5	1.2	4.4	3.9	0.9	21.6	0.4	8.9	20.5	12.0	32.0	4.9	52.8	26.8	4.6	460.7	0.7	0.7	7.3	0.4	0.9	129.0	21.9	2.4	127.0	78.4
AG-23	INGEMMET GR4	2006	-	78.02	-9.45	14.61	3.57	4.65	5.12	3.65	1.55	0.08	3.46	0.14	66.85	0.52	768.7	56.6	9.4	150.8	31.0	4.9	2.9	0.9	5.0	6.8	1.0	31.9	0.4	8.7	26.7	13.4	15.9	7.2	144.3	8.7	5.2	243.2	0.8	0.8	21.4	0.4	3.6	82.6	25.2	2.8	56.9	11.3
AG-24	INGEMMET GR4	2006	-	78.01	-9.43	14.30	3.24	3.83	4.43	3.69	1.32	0.04	3.62	0.14	68.84	0.44	791.9	60.4	8.1	177.3	57.6	4.7	2.8	0.8	4.7	6.0	0.9	30.1	0.4	12.0	25.2	12.7	15.0	7.2	187.0	7.3	4.											

ID	Referencia	Año	XX	YY	Al2O3 %	CaO %	Fe2O3 %	FeO %	K2O %	MgO %	MnO %	Na2O %	P2O5 %	SiO2 %	TiO2 %	Ba ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pb ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sc ppm	Sm ppm	Sr ppm	Ta ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	U ppm	V ppm	Y ppm	Yb ppm	Zn ppm	Zr ppm		
AG-26	INGEMMET GR12	2007	-	77.72	-	10.19	16.94	8.04	13.55	12.64	2.32	2.18	0.29	4.28	0.39	59.52	1.74	588.5	43.0	28.7	77.7	60.0	5.9	3.5	1.5	6.3	3.0	1.2	15.9	0.5	6.0	21.7	27.0	18.3	5.4	44.7	23.6	6.0	188.0	0.7	1.1	2.3	0.4	1.0	290.5	34.7	3.2	85.0	86.9
AG-27	INGEMMET GR12	2007	-	77.73	-	10.21	17.43	5.24	7.86	7.83	2.03	1.77	0.15	3.70	0.23	57.74	0.95	670.5	58.8	15.8	172.8	27.0	4.4	2.6	1.1	4.4	2.0	0.8	30.7	0.4	4.0	29.0	66.0	40.0	7.5	19.8	26.8	4.4	287.9	0.3	0.7	1.8	0.5	3.8	153.4	24.5	2.9	66.0	55.5
AG-28	INGEMMET GR12	2007	-	77.84	-9.93	17.39	11.01	19.60	17.74	2.55	1.96	0.44	3.96	0.57	60.93	2.58	631.6	28.2	42.4	37.1	194.0	8.8	5.2	2.3	9.6	2.0	1.8	25.3	0.8	2.0	14.8	25.0	11.0	3.5	21.6	21.1	9.0	125.7	0.1	1.2	2.6	0.3	2.3	436.1	31.1	3.4	75.0	69.5	
AG-29	Bellido (2008)	2008	-	80.23	-4.93	16.32	6.56	4.35	1.65	1.11	3.13	0.12	3.87	0.12	59.68	0.85	505.5	23.3	50.1	44.1	28.1	4.6	3.0	1.1	4.6	1.4	1.0	9.9	0.5	3.9	14.5	22.7	2.8	3.2	41.7	28.3	3.8	237.0	4.5	0.7	2.7	0.4	0.6	164.7	25.7	2.9	75.3	106.3	
AG-30	Winter (2008)	2008	-	80.33	-4.94	15.27	9.60	11.55	10.95	1.64	7.50	0.15	2.28	0.20	47.88	0.89	405.0	12.4	48.0	118.0	161.0	2.5	1.7	0.9	2.7	1.4	0.5	5.0	0.2	1.2	9.5	50.0	2.0	1.9	33.0	38.0	2.6	345.0	0.0	0.4	0.9	0.2	0.3	300.0	13.1	1.4	125.0	37.3	
AG-31	Winter (2008)	2008	-	80.33	-4.94	16.84	5.69	9.36	9.10	0.20	5.71	0.15	5.03	0.11	48.70	0.83	190.0	7.6	40.0	53.0	7.0	2.9	2.1	0.6	2.5	1.5	0.6	3.3	0.3	1.2	5.8	36.0	6.0	1.2	5.0	40.0	2.0	214.0	0.0	0.4	0.8	0.3	0.3	275.0	16.1	1.8	123.0	38.6	
AG-32	Winter (2008)	2008	-	80.33	-4.93	17.06	3.60	10.98	10.47	0.72	10.99	0.19	1.15	0.06	45.32	0.87	292.0	3.6	44.0	34.0	114.0	2.1	1.6	0.5	1.7	1.0	0.5	1.3	0.2	0.5	3.3	37.0	2.0	0.6	17.0	44.0	1.2	107.0	0.0	0.3	0.2	0.2	0.1	313.0	11.6	1.5	133.0	25.2	
AG-33	Winter (2008)	2008	-	80.32	-4.97	13.86	14.12	8.08	8.02	1.00	9.21	0.17	1.72	0.11	47.33	0.63	346.0	7.5	42.0	444.0	2.0	1.8	1.2	0.5	1.7	1.3	0.4	3.2	0.2	1.1	5.4	114.0	7.0	1.2	26.0	37.0	1.6	226.0	0.0	0.3	1.7	0.2	0.6	256.0	9.2	1.0	64.0	30.2	
AG-34	Winter (2008)	2008	-	80.32	-4.97	16.63	10.44	8.89	8.70	1.01	8.02	0.12	2.83	0.08	47.90	0.72	310.0	9.2	38.0	179.0	11.0	2.2	1.3	0.6	2.2	1.4	0.4	3.9	0.2	1.1	6.5	70.0	7.0	1.4	29.0	31.0	2.0	237.0	0.0	0.3	1.1	0.2	0.4	230.0	10.6	1.1	61.0	32.3	
AG-35	Winter (2008)	2008	-	80.29	-4.82	14.62	10.94	9.99	9.63	0.15	11.47	0.25	1.93	0.05	48.87	0.64	88.0	12.0	47.5	990.0	315.0	2.4	1.6	0.7	2.3	1.0	0.6	5.0	0.2	1.0	7.5	255.0	5.0	1.7	3.4	37.5	2.1	156.5	0.0	0.4	1.0	0.2	0.5	310.0	15.0	1.5	80.0	33.0	
AG-36	Winter (2008)	2008	-	80.29	-4.82	15.93	11.45	9.75	9.43	0.09	6.03	0.16	3.62	0.06	51.22	1.08	76.5	10.0	34.0	360.0	80.0	3.7	2.3	0.9	3.2	1.0	0.9	3.5	0.4	1.0	9.0	95.0	5.0	1.7	1.4	33.4	2.9	255.0	0.0	0.6	1.0	0.4	0.5	380.0	23.0	2.4	95.0	58.0	
AG-37	Winter (2008)	2008	-	80.23	-4.89	16.71	7.28	12.63	11.86	0.39	5.75	0.22	2.66	0.38	51.55	1.79	175.0	15.5	30.0	60.0	40.0	4.6	2.9	1.3	4.3	1.0	1.1	5.5	0.4	1.0	12.0	15.0	5.0	2.5	13.0	34.6	3.7	192.5	0.0	0.7	2.0	0.4	0.5	530.0	28.0	2.9	160.0	50.5	
AG-38	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.93	17.55	1.59	7.85	7.82	0.23	14.50	0.11	2.31	0.07	46.99	0.70	166.0	5.3	41.0	181.0	87.0	2.3	1.8	0.6	1.8	1.2	0.5	2.2	0.3	0.8	4.2	108.0	13.0	0.8	5.0	42.0	1.4	122.0	0.0	0.3	0.6	0.2	0.2	212.0	13.7	1.5	74.0	34.5	
AG-39	Winter (2008)	2008	-	80.33	-4.94	15.97	5.26	11.10	10.57	0.03	4.93	0.21	5.08	0.30	52.96	1.34	107.0	15.1	25.0	8.0	111.0	4.2	2.9	1.4	4.1	2.1	0.9	6.3	0.4	2.3	11.3	10.0	9.0	2.3	1.0	33.0	3.4	162.0	0.1	0.6	1.4	0.4	0.5	244.0	22.9	2.5	210.0	67.6	
AG-40	Winter (2008)	2008	-	80.33	-4.94	15.82	8.08	10.32	9.91	0.52	7.32	0.13	4.11	0.18	48.17	0.99	172.0	11.8	46.0	130.0	125.0	2.9	1.9	0.9	2.8	1.6	0.6	5.1	0.3	1.5	8.7	47.0	2.0	1.8	11.0	37.0	2.5	464.0	0.1	0.4	1.0	0.2	0.4	318.0	14.3	1.6	87.0	48.2	
AG-41	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.94	16.90	3.76	9.79	9.46	0.35	10.79	0.07	2.50	0.07	48.65	0.96	68.0	7.3	39.0	32.0	84.0	3.2	2.2	0.8	2.7	1.7	0.7	2.6	0.3	1.1	6.0	32.0	3.0	1.2	7.0	38.0	2.1	135.0	0.1	0.5	0.6	0.3	0.2	309.0	17.5	2.0	72.0	47.9	
AG-42	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.93	17.07	5.98	9.88	9.54	0.07	5.58	0.18	5.46	0.10	49.95	0.92	528.0	8.2	36.0	29.0	132.0	3.0	2.2	0.8	2.6	1.5	0.7	3.5	0.3	1.4	6.3	17.0	12.0	1.3	2.0	42.0	2.1	181.0	0.1	0.4	0.9	0.3	0.3	273.0	16.8	1.9	169.0	47.0	
AG-43	Winter (2008)	2008	-	80.37	-5.04	15.71	0.77	11.44	10.85	1.32	9.83	0.19	0.44	0.13	51.90	0.91	416.0	8.3	35.0	155.0	120.0	2.5	1.8	0.7	2.3	1.7	0.6	3.6	0.2	1.6	6.0	32.0	2.0	1.2	33.0	33.0	1.9	13.0	0.1	0.4	1.1	0.2	0.4	205.0	13.9	1.6	99.0	47.6	
AG-44	Winter (2008)	2008	-	80.43	-5.03	15.31	14.17	8.08	8.02	1.22	8.81	0.17	1.49	0.10	46.79	0.89	931.0	12.2	33.0	378.0	1.0	2.6	1.7	0.8	2.4	2.0	0.5	5.3	0.2	1.9	8.6	92.0	3.0	1.8	29.0	36.0	2.3	201.0	0.1	0.4	1.4	0.2	0.5	265.0	13.7	1.4	63.0	51.4	
AG-45	Winter (2008)	2008	-	80.37	-5.04	16.09	5.02	10.94	10.43	0.63	8.08	0.06	1.98	0.10	50.45	1.04	497.0	9.4	36.0	211.0	159.0	2.7	1.9	0.7	2.5	1.9	0.6	3.9	0.3	1.6	6.8	23.0	2.0	1.4	6.0	31.0	2.1	167.0	0.1	0.4	1.2	0.3	0.4	255.0	14.9	1.7	198.0	62.9	
AG-46	Winter (2008)	2008	-	80.29	-4.82	14.75	11.28	10.84	10.35	0.08	10.10	0.20	2.20	0.18	48.86	0.77	70.5	21.0	46.0	1510.0	240.0	2.7	1.8	0.9	3.0	1.0	0.6	9.5	0.3	2.0	12.0	260.0	5.0	2.9	1.2	35.0	2.9	184.0	0.1	0.5	5.0	0.3	1.5	320.0	17.0	1.8	95.0	48.0	
AG-47	Winter (2008)	2008	-	80.21	-4.84	16.35	4.06	9.80	9.47	2.15	5.39	0.21	2.31	0.18	52.09	0.97	1025	18.5	7.0	70.0	5.0	4.2	2.7	1.1	3.5	2.0	0.9	9.5	0.4	2.0	11.5	40.0	10.0	2.6	48.0	30.1	3.0	103.5	0.1	0.6	2.0	0.4	0.5	290.0	24.5	2.5	240.0	77.5	
AG-48	Winter (2008)	2008	-	80.21	-4.84	16.35	4.06	9.80	9.47	2.15	5.39	0.21	2.31	0.18	52.09	0.97	1025	18.5	7.0	70.0	5.0	4.2	2.7	1.1	3.5	2.0	0.9	9.5	0.4	2.0	11.5	40.0	10.0	2.6	48.0	30.1	3.0	103.5	0.1	0.6	2.0	0.4	0.5	290.0	24.5	2.5	240.0	77.5	
AG-49	Winter (2008)	2008	-	80.22	-4.84	15.95	0.64	10.41	9.99	0.20	8.79	0.21	3.45	0.16	53.53	1.06	338.0	15.0	23.5	60.0	30.0	5.0	3.3	1.2	4.2	2.0	1.1	9.0	0.5	2.0	10.5	35.0	5.0	2.3	3.8	30.5	3												

ID	Referencia	Año	XX	YY	Al2O3 %	CaO %	Fe2O3 %	FeO %	K2O %	MgO %	MnO %	Na2O %	P2O5 %	SiO2 %	TiO2 %	Ba ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pb ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sc ppm	Sm ppm	Sr ppm	Ta ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	U ppm	V ppm	Y ppm	Yb ppm	Zn ppm	Zr ppm	
AG-51	Winter (2008)	2008	-	80.37	-5.04	14.32	10.77	8.01	7.96	0.10	10.11	0.14	1.33	0.10	46.74	0.83	688.0	8.5	48.0	476.0	152.0	2.6	1.9	0.8	2.5	1.9	0.6	3.4	0.2	2.1	6.2	209.0	2.0	1.2	3.0	29.0	2.0	170.0	0.1	0.4	0.5	0.2	0.2	191.0	13.3	1.6	74.0	64.8
AG-52	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.95	14.41	8.69	9.38	9.12	1.63	8.06	0.15	2.22	0.20	51.61	0.82	760.0	23.3	41.0	254.0	88.0	2.8	1.7	1.0	3.1	2.0	0.6	11.0	0.2	3.1	13.9	84.0	2.0	3.1	30.0	32.0	3.5	289.0	0.1	0.5	4.3	0.2	1.4	239.0	13.3	1.4	86.0	63.2
AG-53	Winter (2008)	2008	-	80.37	-5.04	15.73	6.62	9.07	8.85	0.32	5.60	0.04	3.55	0.19	53.48	1.01	505.0	21.6	36.0	128.0	166.0	4.2	3.0	1.1	4.2	2.2	0.9	10.3	0.4	2.5	13.9	17.0	2.0	3.0	6.0	34.0	3.6	268.0	0.1	0.6	2.2	0.4	0.7	308.0	23.3	2.5	301.0	71.9
AG-54	Winter (2008)	2008	-	80.37	-5.04	17.04	9.40	10.64	10.18	0.44	6.01	0.16	2.73	0.22	47.93	1.21	749.0	19.9	47.0	54.0	112.0	3.4	2.2	1.2	3.6	2.2	0.7	8.9	0.3	3.1	12.9	22.0	2.0	2.8	7.0	28.0	3.7	387.0	0.1	0.5	2.9	0.3	0.9	295.0	16.8	1.8	94.0	66.8
AG-55	Winter (2008)	2008	-	80.36	-4.99	17.63	11.00	10.81	10.32	0.71	5.48	0.14	2.38	0.23	48.15	1.18	719.0	22.9	41.0	85.0	35.0	3.4	2.3	1.3	3.6	2.5	0.7	10.4	0.3	3.7	14.3	25.0	2.0	3.2	18.0	29.0	3.7	320.0	0.2	0.5	3.6	0.3	1.1	360.0	18.7	2.0	93.0	77.8
AG-56	Winter (2008)	2008	-	80.24	-4.82	15.63	2.57	3.62	4.25	0.12	1.77	0.11	7.70	0.13	66.15	0.46	93.5	26.0	10.5	60.0	50.0	3.2	2.3	0.9	3.3	3.0	0.7	16.0	0.4	3.0	13.0	15.0	5.0	3.4	3.2	25.7	2.9	106.0	0.2	0.5	7.0	0.3	2.5	90.0	19.5	2.3	1455.0	104.0
AG-57	Winter (2008)	2008	-	80.37	-5.04	17.29	8.80	10.16	9.77	0.74	5.79	0.21	3.59	0.24	46.33	1.22	1673	24.0	52.0	38.0	146.0	4.0	2.7	1.3	4.2	2.6	0.9	11.1	0.4	3.5	15.5	36.0	2.0	3.4	17.0	30.0	4.4	349.0	0.2	0.6	3.4	0.4	1.1	293.0	20.1	2.3	99.0	76.0
AG-58	Winter (2008)	2008	-	80.37	-4.97	16.93	8.42	9.79	9.46	1.67	5.70	0.19	3.42	0.24	49.61	0.94	3842	21.1	36.0	43.0	16.0	3.1	2.0	1.0	3.3	2.4	0.7	10.0	0.3	4.6	12.6	36.0	4.0	2.9	30.0	26.0	3.4	289.0	0.2	0.5	3.7	0.3	1.2	223.0	16.0	1.7	108.0	74.8
AG-59	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.94	14.95	3.07	4.65	5.12	0.05	1.86	0.10	5.49	0.19	65.46	0.64	41.0	30.6	15.0	24.0	34.0	5.4	3.9	1.2	5.1	5.2	1.2	14.4	0.6	3.5	17.7	2.0	5.0	4.1	2.0	14.0	4.6	173.0	0.2	0.8	4.7	0.5	1.5	63.0	30.4	3.6	74.0	165.9
AG-60	Winter (2008)	2008	-	80.36	-4.99	17.37	6.99	10.09	9.72	1.85	5.79	0.10	4.00	0.24	50.04	1.24	620.0	23.4	35.0	52.0	5.0	3.3	3.0	1.2	3.8	2.6	0.9	10.9	0.4	3.3	15.1	20.0	2.0	3.2	71.0	24.0	3.8	270.0	0.2	0.5	2.9	0.4	0.9	375.0	17.8	2.4	42.0	74.9
AG-61	Winter (2008)	2008	-	80.37	-4.97	15.25	8.17	7.72	7.71	0.34	6.40	0.13	4.24	0.28	52.43	0.80	207.0	25.8	27.0	142.0	105.0	3.1	2.0	1.0	3.4	2.6	0.6	12.5	0.3	4.5	14.7	59.0	4.0	3.4	6.0	25.0	3.7	217.0	0.2	0.5	4.3	0.3	1.4	197.0	16.1	1.7	66.0	84.8
AG-62	Winter (2008)	2008	-	80.23	-4.89	15.47	3.99	8.00	7.95	0.94	3.79	0.14	4.85	0.33	59.39	0.97	486.0	33.5	20.5	80.0	175.0	6.2	4.0	1.5	6.0	4.0	1.4	14.0	0.7	4.0	22.0	20.0	5.0	5.0	19.6	18.0	5.6	227.0	0.2	1.0	5.0	0.7	1.5	185.0	39.0	4.0	80.0	150.0
AG-63	Winter (2008)	2008	-	80.24	-4.82	17.21	5.58	9.26	9.01	1.31	2.28	0.20	4.91	0.36	57.41	0.99	711.0	34.0	17.0	70.0	15.0	6.3	4.0	1.8	6.1	3.0	1.4	17.0	0.6	4.0	21.0	10.0	5.0	4.8	37.6	26.3	5.5	445.0	0.2	1.1	5.0	0.6	1.5	125.0	36.5	3.8	110.0	100.0
AG-64	Winter (2008)	2008	-	80.33	-4.94	14.13	3.50	4.19	4.74	0.60	2.08	0.06	6.41	0.14	65.35	0.61	537.0	28.6	20.0	92.0	48.0	5.0	3.6	1.1	4.8	5.1	1.1	13.1	0.5	3.5	16.6	14.0	2.0	3.8	9.0	16.0	4.3	84.0	0.2	0.8	4.7	0.5	1.5	77.0	28.1	3.4	52.0	162.5
AG-65	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.93	12.78	1.67	2.56	3.36	1.18	0.75	0.06	4.39	0.05	73.89	0.24	1404	33.4	3.0	37.0	1.0	4.3	3.3	0.8	3.8	4.8	1.0	16.5	0.5	2.6	16.9	0.5	2.0	4.2	26.0	6.0	4.0	113.0	0.2	0.6	8.3	0.5	2.5	13.0	26.4	3.3	75.0	151.5
AG-66	Winter (2008)	2008	-	80.33	-4.94	13.19	3.67	4.40	4.91	0.92	1.78	0.05	4.55	0.13	66.54	0.58	1940	27.6	12.0	75.0	35.0	4.9	3.3	1.1	4.5	4.7	1.0	12.9	0.5	3.7	16.1	6.0	2.0	3.7	20.0	14.0	4.3	58.0	0.2	0.7	4.1	0.5	1.3	63.0	26.8	3.0	61.0	161.3
AG-67	Winter (2008)	2008	-	80.36	-4.99	15.95	7.36	7.11	7.20	1.51	4.07	0.14	3.32	0.22	57.70	0.79	1100	31.0	25.0	108.0	40.0	3.7	2.6	1.1	4.0	3.7	0.8	15.1	0.4	5.7	17.1	24.0	13.0	4.0	37.0	20.0	4.0	268.0	0.2	0.6	5.5	0.4	1.7	178.0	20.6	2.3	103.0	136.9
AG-68	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.94	13.25	1.49	2.84	3.60	0.24	0.56	0.02	6.84	0.06	72.81	0.24	176.0	27.7	2.0	33.0	1.0	8.7	6.1	1.7	7.1	5.2	1.9	12.0	0.8	3.6	18.7	3.0	2.0	4.0	3.0	16.0	5.8	53.0	0.3	1.2	3.2	0.8	1.0	1.0	49.5	5.3	98.0	167.5
AG-69	Winter (2008)	2008	-	80.33	-4.94	12.97	1.61	2.93	3.67	0.28	1.15	0.03	6.36	0.04	71.99	0.33	288.0	23.9	3.0	68.0	2.0	7.5	5.6	1.3	6.3	5.6	1.7	10.1	0.8	2.8	16.3	3.0	2.0	3.5	5.0	14.0	4.9	55.0	0.3	1.1	3.7	0.8	1.2	6.0	41.7	5.0	127.0	179.0
AG-70	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.93	12.90	2.92	2.15	3.01	0.71	1.76	0.05	4.92	0.06	71.04	0.25	649.0	24.8	2.0	39.0	1.0	8.1	6.3	1.5	6.4	6.6	1.9	10.3	0.9	3.3	17.2	0.5	2.0	3.6	13.0	16.0	5.2	77.0	0.3	1.2	3.5	0.9	1.1	3.0	47.7	6.0	104.0	204.8
AG-71	Winter (2008)	2008	-	80.33	-4.93	13.51	1.30	5.09	5.50	0.42	1.58	0.12	4.70	0.07	70.80	0.31	342.0	29.0	4.0	44.0	8.0	7.8	5.8	1.8	6.7	5.5	1.8	12.5	0.9	4.0	19.7	0.5	4.0	4.2	9.0	18.0	5.8	136.0	0.3	1.1	3.3	0.8	1.0	5.0	45.5	5.5	276.0	183.1
AG-72	Winter (2008)	2008	-	80.24	-4.82	13.29	1.71	2.46	3.28	3.56	0.46	0.03	3.95	0.01	73.01	0.27	1995	41.0	3.5	130.0	5.0	4.6	3.2	1.0	4.4	5.0	1.1	21.5	0.5	5.0	17.0	10.0	5.0	4.9	81.8	9.7	3.8	160.5	0.3	0.8	14.0	0.5	4.5	5.0	29.0	3.6	30.0	199.5
AG-73	Winter (2008)	2008	-	80.23	-4.89	13.90	1.74	2.39	3.22	1.60	0.72	0.04	4.97	0.05	70.64	0.22	285.0	38.0	0.5	110.0	165.0	3.6	2.6	0.7	4.0	4.0	0.9	17.5	0.5	5.0	18.5	5.0	5.0	4.9	50.8	16.4	3.9	59.0	0.3	0.6	12.0	0.5	3.5	5.0	24.5	3.1	30.0	159.5
AG-74	Winter (2008)	2008	-	80.21	-4.84	14.59	0.77	5.42	5.77	0.67	2.83	0.08	5.62	0.12	65.99	0.46	469.0	25.0	2.5	60.0	5.0	7.1	4.9	1.2	5.5	6.0	1.7	10.0	0.8	5.0	16.0	5.0	5.0	3.7	14.8	8.1	4.4	73.8	0.3	1.0	6.0	0.8	2.0	5.0	48.5	5.3	65.0	209.0
AG-75	Winter (2008)	2008	-	80																																												

ID	Referencia	Año	XX	YY	Al2O 3 %	CaO %	Fe2O 3 %	FeO %	K2O %	MgO %	MnO %	Na2O %	P2O5 %	SiO2 %	TiO2 %	Ba ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pb ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sc ppm	Sm ppm	Sr ppm	Ta ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	U ppm	V ppm	Y ppm	Yb ppm	Zn ppm	Zr ppm	
AG-76	Winter (2008)	2008	-	80.37	-4.87	12.94	0.99	4.55	5.04	2.47	0.78	0.09	4.81	0.05	72.35	0.26	696.0	41.5	1.5	120.0	5.0	9.3	6.5	1.7	7.6	6.0	2.0	19.0	1.0	5.0	26.0	15.0	10.0	5.4	37.2	13.9	6.7	84.9	0.3	1.4	5.0	1.0	1.5	5.0	58.5	6.1	90.0	174.5
AG-77	Winter (2008)	2008	-	80.24	-4.82	15.96	11.93	11.62	11.01	0.41	6.41	0.29	3.29	0.21	47.44	1.08	347.0	20.5	41.5	340.0	5.0	3.8	2.4	1.0	3.5	1.0	0.9	10.0	0.4	5.0	12.5	115.0	15.0	2.7	5.2	32.2	3.1	246.0	0.3	0.6	2.0	0.4	0.5	300.0	22.5	2.2	175.0	65.0
AG-78	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.96	11.37	2.44	2.62	3.41	2.20	1.07	0.04	1.58	0.04	71.04	0.22	561.0	50.4	5.0	150.0	4.0	9.1	5.7	1.7	8.6	6.3	1.8	24.3	0.8	2.7	28.8	5.0	5.0	6.7	45.0	7.0	8.0	38.0	0.3	1.4	4.6	0.8	1.4	12.0	48.0	5.0	78.0	181.6
AG-79	Winter (2008)	2008	-	80.43	-5.03	15.97	6.25	4.03	4.60	0.41	1.72	0.04	5.10	0.15	64.84	0.72	467.0	14.7	18.0	144.0	9.0	5.4	5.5	1.3	5.2	6.4	1.7	5.5	0.7	4.4	12.5	10.0	2.0	2.4	5.0	15.0	4.2	270.0	0.3	0.8	3.9	0.7	1.2	71.0	32.1	4.6	29.0	190.4
AG-80	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.95	12.62	1.81	3.71	4.33	0.57	1.11	0.03	5.47	0.06	71.99	0.30	483.0	36.7	5.0	38.0	3.0	7.4	5.5	1.2	6.7	7.1	1.7	16.6	0.8	4.0	21.8	0.5	3.0	5.0	12.0	8.0	5.8	59.0	0.3	1.1	5.8	0.8	1.8	15.0	43.3	5.2	95.0	217.4
AG-81	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.93	12.90	1.15	2.83	3.59	0.48	0.97	0.08	5.18	0.04	73.31	0.27	470.0	40.4	4.0	45.0	33.0	5.6	4.1	1.4	5.0	5.7	1.3	19.7	0.6	3.8	21.4	0.5	2.0	5.2	13.0	8.0	5.3	132.0	0.3	0.8	9.0	0.6	2.7	11.0	34.2	4.0	90.0	195.3
AG-82	Winter (2008)	2008	-	80.32	-4.97	15.51	6.15	4.88	5.32	0.63	4.14	0.06	5.77	0.07	60.07	0.65	186.0	13.0	17.0	59.0	2.0	3.7	2.5	0.5	3.2	4.4	0.7	5.3	0.4	4.4	9.0	29.0	2.0	1.9	22.0	18.0	2.9	167.0	0.3	0.5	5.7	0.4	1.8	142.0	19.3	2.4	26.0	125.8
AG-83	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.93	13.83	2.86	4.01	4.58	1.51	1.15	0.10	3.92	0.08	68.18	0.43	418.0	38.8	8.0	25.0	1.0	5.5	4.2	1.3	5.0	5.7	1.3	18.8	0.6	4.8	20.9	3.0	4.0	5.0	36.0	10.0	5.1	136.0	0.3	0.8	8.3	0.6	2.6	32.0	33.2	4.0	84.0	184.2
AG-84	Winter (2008)	2008	-	80.37	-5.04	11.56	1.13	2.41	3.23	0.27	0.20	0.02	6.91	0.05	75.43	0.25	137.0	38.5	5.0	332.0	97.0	5.9	4.2	1.0	5.8	6.4	1.3	17.2	0.5	3.6	22.2	11.0	2.0	5.2	6.0	7.0	5.5	86.0	0.3	0.9	6.6	0.6	2.0	6.0	33.1	3.7	26.0	236.6
AG-85	Winter (2008)	2008	-	80.35	-4.87	14.28	1.92	1.25	2.25	0.07	0.69	0.01	7.57	0.08	73.37	0.39	60.5	35.5	2.5	120.0	5.0	8.6	5.7	1.4	7.3	7.0	2.0	13.5	1.0	6.0	26.0	10.0	5.0	5.6	1.0	0.2	7.3	74.9	0.3	1.4	5.0	1.0	1.5	5.0	57.5	6.3	20.0	256.0
AG-86	Winter (2008)	2008	-	80.21	-4.84	14.31	0.59	3.05	3.77	2.08	2.00	0.13	4.93	0.10	69.19	0.29	4130	52.0	3.5	80.0	5.0	8.0	5.5	1.1	7.7	8.0	1.9	20.5	1.0	6.0	30.5	5.0	5.0	7.4	28.2	0.1	7.5	94.0	0.3	1.3	10.0	0.9	3.0	25.0	53.5	6.0	100.0	295.0
AG-87	Winter (2008)	2008	-	80.37	-4.97	15.53	2.36	5.63	5.95	0.89	2.52	0.12	5.59	0.26	61.05	0.77	1089	37.1	10.0	57.0	51.0	4.9	3.3	1.6	5.1	4.6	1.0	18.0	0.5	4.1	20.9	8.0	3.0	4.9	15.0	11.0	5.3	186.0	0.3	0.8	7.3	0.5	2.3	60.0	26.6	3.0	80.0	148.2
AG-88	Winter (2008)	2008	-	80.29	-4.82	15.05	2.49	4.42	4.93	0.17	1.37	0.05	6.39	0.10	67.19	0.45	328.0	50.0	14.0	140.0	375.0	5.3	3.5	1.4	5.7	5.0	1.2	22.5	0.6	7.0	26.0	15.0	5.0	6.5	3.6	8.6	5.7	231.0	0.4	0.9	15.0	0.6	4.5	40.0	34.5	3.8	30.0	206.0
AG-89	Winter (2008)	2008	-	80.34	-4.95	12.93	0.76	1.57	2.52	0.62	0.13	0.02	6.71	0.04	75.86	0.29	150.0	34.7	2.0	65.0	3.0	7.9	5.5	1.6	7.2	4.5	1.7	15.4	0.8	7.3	22.9	0.5	2.0	4.9	11.0	13.0	6.7	52.0	0.4	1.2	4.2	0.8	1.3	8.0	41.5	5.0	151.0	168.4
AG-90	Winter (2008)	2008	-	80.37	-5.04	13.34	2.12	2.70	3.48	2.06	0.49	0.04	3.29	0.10	70.71	0.34	769.0	37.0	6.0	195.0	54.0	5.3	3.8	1.2	5.1	4.6	1.2	17.2	0.6	7.7	21.3	6.0	4.0	4.9	50.0	8.0	5.6	122.0	0.4	0.8	4.6	0.5	1.4	12.0	28.3	3.5	51.0	181.7
AG-91	Winter (2008)	2008	-	80.37	-5.04	13.85	1.77	3.38	4.05	0.07	0.79	0.08	7.49	0.08	68.97	0.35	146.0	36.3	8.0	215.0	119.0	6.1	4.6	1.1	5.5	6.2	1.4	16.2	0.6	7.0	21.2	6.0	4.0	5.0	3.0	7.0	5.2	112.0	0.4	0.9	7.0	0.6	2.2	15.0	35.4	4.3	76.0	225.3
AG-92	Winter (2008)	2008	-	80.19	-4.88	9.44	0.13	1.35	2.34	2.94	0.76	0.01	0.11	0.01	82.90	0.11	1020	42.5	0.5	180.0	155.0	3.1	2.2	0.5	3.5	4.0	0.7	21.5	0.4	8.0	19.5	15.0	20.0	5.2	85.8	16.5	4.0	17.3	0.5	0.5	11.0	0.4	3.5	90.0	21.5	2.7	295.0	158.5
AG-93	Winter (2008)	2008	-	80.33	-5.05	18.24	6.82	6.10	6.35	0.77	2.26	0.12	6.31	0.32	57.52	0.99	438.0	50.9	36.0	67.0	144.0	6.5	4.5	2.0	6.5	6.2	1.4	23.7	0.6	9.5	28.7	4.0	2.0	6.8	20.0	15.0	6.8	326.0	0.5	1.0	8.8	0.6	2.7	140.0	36.7	4.1	60.0	191.8
AG-94	Winter (2008)	2008	-	80.19	-4.87	13.64	1.42	2.42	3.24	0.90	3.63	0.07	3.65	0.09	68.53	0.26	334.0	56.0	1.5	110.0	5.0	5.8	4.0	1.4	6.1	5.0	1.4	25.5	0.7	16.0	27.0	5.0	10.0	7.2	21.8	5.6	5.7	68.0	0.9	1.0	11.0	0.7	5.5	15.0	37.5	4.3	85.0	224.0
AG-95	Winter (2008)	2008	-	80.45	-4.67	14.14	7.17	3.20	3.90	0.94	0.79	0.22	4.33	0.10	63.93	0.36	669.0	16.0	5.5	140.0	160.0	1.7	1.0	0.6	1.8	1.0	0.4	7.0	0.1	1.0	9.0	10.0	5.0	2.1	16.6	18.2	2.0	366.0	0.0	0.3	4.0	0.1	0.5	90.0	11.0	1.0	35.0	44.5
AG-96	Winter (2008)	2008	-	80.15	-5.02	17.94	3.49	3.51	4.16	0.37	1.91	0.04	6.97	0.21	63.21	0.59	126.0	38.0	10.0	90.0	5.0	3.2	2.2	1.0	3.9	4.0	0.7	20.5	0.3	7.0	17.0	25.0	5.0	4.6	11.4	18.9	3.8	360.0	0.5	0.6	6.0	0.3	1.5	105.0	18.5	2.0	50.0	163.5
AG-97	Winter (2008)	2008	-	80.41	-4.60	16.46	5.81	5.17	5.56	1.55	0.92	0.08	4.19	0.15	62.32	0.62	934.0	17.0	5.5	60.0	35.0	3.1	1.9	1.0	2.9	3.0	0.7	10.0	0.3	1.0	10.0	5.0	5.0	2.2	49.0	19.9	2.7	450.0	0.0	0.5	1.0	0.3	1.0	165.0	18.5	1.8	55.0	118.5
AG-98	Winter (2008)	2008	-	80.45	-4.63	14.71	4.97	5.17	5.56	0.74	0.97	0.05	3.96	0.16	65.30	0.55	458.0	18.5	10.5	90.0	15.0	3.2	2.1	0.8	3.0	2.0	0.7	10.5	0.3	1.0	11.0	10.0	5.0	2.4	16.4	16.7	2.7	338.0	0.0	0.5	3.0	0.3	0.5	140.0	19.0	2.0	65.0	59.0
AG-99	Winter (2008)	2008	-	80.45	-4.67	16.82	6.99	6.87	7.00	1.56	1.78	0.13	3.43	0.20	58.15	0.63	1105	37.0	15.5	100.0	120.0	3.2	1.9	1.2	3.8	3.0	0.7	16.5	0.3	4.0	19.0.																	

ID	Referencia	Año	XX	YY	Al2O 3 %	CaO %	Fe2O 3 %	FeO %	K2O %	MgO %	MnO %	Na2O %	P2O5 %	SiO2 %	TiO2 %	Ba ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pb ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sc ppm	Sm ppm	Sr ppm	Ta ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	U ppm	V ppm	Y ppm	Yb ppm	Zn ppm	Zr ppm
AG-101	Winter (2008)	2008	- 80.17	-4.78	17.82	6.57	8.92	8.73	0.17	7.62	0.13	4.60	0.01	49.22	0.54	85.0	5.0	44.5	60.0	25.0	2.1	1.4	0.5	1.7	1.0	0.5	2.0	0.2	1.0	4.0	50.0	5.0	0.8	3.2	33.6	1.4	289.0	0.0	0.3	1.0	0.2	0.5	365.0	13.0	1.4	80.0	20.0
AG-102	Winter (2008)	2008	- 80.16	-4.81	17.01	4.64	5.24	5.62	1.81	1.94	0.15	4.43	0.22	58.90	0.41	2300	18.5	10.0	30.0	15.0	2.8	1.8	1.0	2.9	3.0	0.7	7.5	0.3	3.0	11.5	5.0	5.0	2.7	33.8	23.5	2.8	317.0	0.2	0.5	1.0	0.3	0.5	105.0	17.5	2.1	85.0	84.0
AG-103	Winter (2008)	2008	- 80.05	-4.62	14.98	9.99	9.32	9.07	0.08	6.49	0.13	4.60	0.25	48.76	0.75	64.0	29.5	55.0	500.0	150.0	3.3	2.1	1.1	3.9	2.0	0.8	13.5	0.3	3.0	16.5	100.0	5.0	4.0	1.6	34.1	3.8	212.0	0.2	0.6	7.0	0.3	2.0	525.0	20.0	2.1	95.0	68.0
AG-104	Winter (2008)	2008	- 80.17	-4.78	17.34	10.08	10.20	9.81	0.12	6.59	0.16	1.77	0.18	48.93	0.92	125.0	13.5	19.5	80.0	45.0	3.3	2.0	0.9	3.2	1.0	0.8	5.5	0.3	1.0	10.0	40.0	5.0	2.1	2.0	33.9	2.9	226.0	0.0	0.5	1.0	0.3	0.5	430.0	19.0	2.0	100.0	39.5
AG-105	Winter (2008)	2008	- 80.05	-4.62	14.98	4.40	8.73	8.57	0.81	2.45	0.13	4.91	0.18	56.44	0.73	366.0	35.5	33.0	20.0	55.0	4.4	2.9	1.1	4.7	4.0	1.0	15.5	0.5	4.0	19.5	20.0	5.0	4.9	28.6	26.0	4.7	212.0	0.3	0.7	11.0	0.5	3.0	310.0	26.5	3.0	115.0	116.5
AG-106	Winter (2008)	2008	- 80.20	-4.84	14.43	0.43	5.13	5.53	5.89	3.34	0.27	0.75	0.15	65.00	0.54	3200	43.0	6.0	70.0	15.0	7.8	5.3	1.4	7.1	6.0	1.8	21.0	0.8	5.0	25.5	20.0	10.0	6.1	90.0	17.1	6.3	42.8	0.3	1.3	5.0	0.8	2.5	10.0	49.5	5.5	260.0	217.0
AG-107	GR9 (2012)	2012	- 80.31	-4.83	14.06	15.38	9.00	8.80	0.10	7.87	0.31	1.65	0.09	49.80	0.79	204.7	5.6	29.9	459.0	11.0	2.4	1.5	1.5	2.0	2.0	0.6	2.1	0.3	2.0	5.7	131.0	7.0	1.0	2.0	47.6	1.6	212.2	0.5	0.1	0.1	0.2	0.5	260.0	15.6	1.6	121.0	58.5
AG-108	GR9 (2012)	2012	- 80.09	-4.80	16.87	5.54	5.60	5.93	1.24	2.97	0.11	4.39	0.17	59.20	0.67	424.8	26.6	11.7	83.0	23.0	3.1	1.7	1.7	3.0	3.0	0.6	11.2	0.2	7.0	15.1	10.0	7.0	3.7	34.6	21.2	2.8	375.3	0.5	2.8	2.8	0.3	0.9	146.0	17.0	1.4	82.0	92.2
AG-109	GR9 (2012)	2012	- 80.07	-4.73	18.61	8.52	7.76	7.75	0.46	4.50	0.17	3.94	0.12	52.70	0.70	329.7	10.6	22.3	64.0	52.0	2.5	1.7	0.6	2.4	1.0	0.6	4.1	0.2	3.0	5.6	13.0	161.0	1.5	9.2	31.0	2.0	363.3	0.7	0.5	1.1	0.3	0.3	201.0	16.9	1.7	215.0	61.3
AG-110	Jara (2019)	2019	- 75.90	-13.10	13.25	19.00	11.75	11.12	0.44	4.01	0.38	1.22	0.20	48.30	0.67	268.7	42.9	31.3	41.1	526.8	3.9	2.6	1.4	4.3	3.8	0.8	20.3	0.4	3.1	21.6	35.0	36.9	5.6	27.3	5.2	3.9	945.0	0.1	0.7	7.4	0.4	2.3	142.0	23.2	2.3	152.8	123.0
AG-111	Jara (2019)	2019	- 75.85	-13.12	17.70	10.30	10.80	10.31	0.39	4.99	0.26	3.26	0.22	48.60	1.22	89.6	37.2	31.7	20.5	526.8	4.1	2.5	1.5	4.5	2.4	0.8	17.0	0.4	2.9	20.9	35.4	37.3	5.0	13.2	4.9	4.1	475.0	0.1	0.7	1.6	0.4	0.7	423.0	24.7	2.4	190.9	81.0
AG-112	Jara (2019)	2019	- 75.87	-13.11	17.30	6.03	7.96	7.92	2.13	4.00	0.15	5.22	0.21	54.40	0.81	3851	46.9	30.4	61.6	526.8	4.5	2.8	0.9	4.6	4.1	0.9	22.5	0.4	3.4	23.7	24.4	23.6	6.0	70.3	5.6	4.5	437.0	0.1	0.7	7.9	0.5	2.7	216.0	25.8	2.8	1.0	130.0
AG-113	Jara (2019)	2019	- 75.53	-13.56	17.50	6.76	6.74	6.89	1.68	3.52	0.11	3.72	0.20	57.90	0.65	806.1	39.0	42.3	150.5	526.8	2.0	1.0	0.9	2.7	2.7	0.4	21.0	0.1	3.5	17.8	27.2	27.1	4.7	37.3	3.3	1.9	718.0	0.1	0.4	5.9	0.2	1.4	147.0	10.2	0.9	38.6	91.0
AG-114	Jara (2019)	2019	- 76.48	-11.89	16.35	9.65	9.88	9.54	1.00	4.63	0.22	3.82	0.18	50.40	0.93	358.3	22.9	34.7	20.5	455.8	3.4	2.0	0.9	3.5	2.0	0.8	10.9	0.3	2.8	12.9	31.5	32.5	3.2	41.9	3.5	3.3	574.0	0.2	0.6	3.5	0.3	1.3	331.0	19.2	2.0	133.8	62.0
AG-115	Jara (2019)	2019	- 75.62	-14.12	15.90	3.40	4.03	4.60	0.06	4.29	0.05	7.37	0.23	61.10	0.60	89.6	37.3	31.3	20.5	455.8	3.6	2.5	0.9	3.9	5.1	0.8	17.1	0.4	5.0	17.2	37.4	39.8	4.5	0.8	3.8	3.6	111.5	0.2	0.6	5.9	0.4	1.7	123.0	22.5	2.5	190.9	182.0
AG-116	Jara (2019)	2019	- 76.60	-12.48	19.80	9.52	10.15	9.77	0.42	4.74	0.19	3.14	0.10	50.90	0.83	358.3	14.1	37.6	27.4	455.8	2.4	1.5	0.9	2.6	0.8	0.5	6.2	0.2	0.8	7.9	35.2	37.0	1.9	4.4	2.3	2.3	563.0	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	320.0	13.7	1.7	133.8	26.0
AG-117	Jara (2019)	2019	- 76.49	-11.89	15.15	2.69	15.00	13.86	0.23	7.54	0.34	3.59	0.15	52.00	1.01	447.9	11.5	34.2	20.5	384.8	1.9	1.5	0.7	1.9	2.8	0.4	4.6	0.3	2.4	7.0	36.4	38.5	1.6	10.5	1.7	1.8	238.0	0.3	0.4	2.9	0.3	1.3	317.0	11.5	1.9	114.7	94.0
AG-118	Jara (2019)	2019	- 75.54	-13.55	14.15	1.51	4.81	5.26	2.17	0.66	0.11	5.66	0.08	69.80	0.39	1343	53.1	8.8	34.2	384.8	7.5	5.2	1.6	7.7	6.0	1.8	24.5	0.9	4.1	29.1	24.1	23.3	6.9	44.0	6.5	7.6	145.0	0.3	1.2	8.4	0.8	2.9	12.0	51.1	5.3	10.0	213.0
AG-119	Jara (2019)	2019	- 76.40	-12.05	18.95	7.05	9.23	8.99	1.59	2.93	0.17	3.34	0.28	53.90	0.76	537.4	36.7	33.4	13.7	313.8	3.5	2.5	1.2	4.2	2.4	0.7	16.5	0.3	3.8	20.5	27.8	27.8	4.8	53.7	5.0	3.5	576.0	0.4	0.7	2.9	0.3	0.9	135.0	20.7	2.1	95.7	88.0
AG-120	Jara (2019)	2019	- 76.50	-12.50	14.35	0.63	1.37	2.36	2.13	0.18	0.02	6.13	0.09	75.40	0.06	1343	35.4	46.1	61.6	171.8	0.5	0.2	0.2	1.1	2.1	0.1	17.8	0.0	4.7	12.8	24.4	23.6	3.9	43.2	2.3	0.4	176.5	0.6	0.1	6.4	0.1	2.1	10.0	3.2	0.3	11.0	76.0
AG-121	Jara (2019)	2019	- 76.50	-11.90	15.85	4.32	5.49	5.83	2.99	1.65	0.08	3.17	0.12	59.40	0.59	447.9	55.9	33.4	27.4	29.8	3.6	2.1	0.9	4.3	4.6	0.7	26.8	0.3	6.9	23.3	18.9	16.8	6.7	160.5	5.1	3.6	264.0	0.8	0.7	16.4	0.3	4.2	116.0	21.0	2.1	114.7	170.0
AG-122	Jara (2019)	2019	- 75.75	-13.66	17.50	5.97	9.28	9.03	4.12	5.18	0.18	3.70	0.45	52.00	1.14	1970	100.0	32.5	143.7	30.0	4.9	2.7	1.7	7.0	5.1	0.9	46.6	0.4	12.6	47.3	11.8	7.9	12.6	99.4	9.5	4.9	920.0	0.9	1.0	16.6	0.4	3.8	248.0	25.3	2.4	6.0	207.0
AG-123	Jara (2019)	2019	- 76.50	-12.10	17.95	4.17	5.88	6.16	1.47	3.03	0.05	6.01	0.26	58.90	0.82	179.1	64.1	30.4	34.2	10.0	3.7	2.6	1.1	4.4	4.0	0.8	33.2	0.4	12.8	29.1	28.5	28.8	7.5	63.5	5.9	3.6	216.0	1.0	0.7	4.9	0.4	1.5	152.0	21.8	2.4	171.8	153.0