



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,
Metalúrgica y Geográfica
Unidad de Posgrado

Comportamiento geoquímico de Ga, Ge, In, Ag y su relación con la paragénesis de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco – región Amazonas

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con
mención en Recursos Mineros

AUTOR

Alonso Arturo MARCHENA CAMPOS

ASESOR

Dr. Jorge Eduardo CHIRA FERNÁNDEZ

Lima, Perú

2024



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

Marchena, A. (2024). *Comportamiento geoquímico de Ga, Ge, In, Ag y su relación con la paragénesis de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco – región Amazonas*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Alonso Arturo Marchena Campos
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72381823
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5968-5225
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jorge Eduardo Chira Fernández
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07342254
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5194-9940
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Jaime César Mayorga Rojas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10369482
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Enrique Guadalupe Gómez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191995
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jesús Alberto Torres Guerra
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07219691
Datos de investigación	

Línea de investigación	C.0.1.11. Recursos Mineros
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Borja Urbanización: - Avenida: Canadá 1470 Latitud: -12.085065 Longitud: -77.009172
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021 - 2023
URL de disciplinas OCDE	Mineralogía https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.02 Geoquímica, Geofísica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.04 Geociencias, Multidisciplinar https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los trece días del mes de febrero del año dos mil veinticuatro, siendo las once horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000066-2024-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 07 de febrero del 2024, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO DE Ga, Ge, In, Ag Y SU RELACIÓN CON LA PARAGÉNESIS DE LOS YACIMIENTOS MISSISSIPPI VALLEY TYPE CAÑÓN FLORIDA, FLORCITA Y SOLOCO - REGIÓN AMAZONAS»

Presentado por el Bach. **ALONSO ARTURO MARCHENA CAMPOS**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER** en **GEOLOGÍA** con mención en **RECURSOS MINEROS**.


El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° UNMSM-20210073621, de fecha 12 de octubre del 2021, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

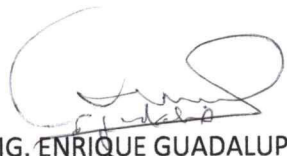
Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:


BUENO (16)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER** en **GEOLOGÍA** con mención en **RECURSOS MINEROS** al Bach. **ALONSO ARTURO MARCHENA CAMPOS**.

Siendo las 12:00 horas, se dio por concluido al acto académico.


DR. JAIME CÉSAR MAYORGA ROJAS
Presidente


MG. ENRIQUE GUADALUPE GÓMEZ
Secretario


DR. JESÚS ALBERTO TORRES GUERRA
Miembro


DR. JORGE EDUARDO CHIRA FERNÁNDEZ
Asesor



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Dr. Chira Fernández Jorge Eduardo en mi condición de asesor acreditado con el Número de Dictamen N°000489-2021-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es «COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO DE Ga, Ge, In, Ag Y SU RELACIÓN CON LA PARAGÉNESIS DE LOS YACIMIENTOS MISSISSIPPI VALLEY TYPE CAÑÓN FLORIDA, FLORCITA Y SOLOCO-REGIÓN AMAZONAS» presentado por el Bachiller Alonso Arturo Marchena Campos para optar el Grado Académico de Magister en Geología con mención en Recursos Mineros 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 el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 13% 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 grado correspondiente.

Firma del Asesor:

DNI: 07342251

Nombres y apellidos del asesor:
JORGE EDUARDO CHIRA FERNÁNDEZ



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	4
1.1 Situación Problemática	4
1.2 Formulación del Problema	6
1.2.1 Problema General	6
1.2.2 Problemas Específicos	6
1.3 Justificación	6
1.4 Objetivos de la Investigación	7
1.4.1 Objetivo General	8
1.4.2 Objetivos Específicos	8
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes del Problema	9
2.2 Bases Teóricas	13
2.2.1 Asociación geoquímica de Ge, Ga, In, Ag en los yacimientos tipo Mississippi Valley	13
a. Definición de Asociación geoquímica	13
b. Estadística univariable	13
Histograma	13
Pruebas de normalidad	14
Técnicas de normalización	15
Pruebas de valores atípicos	16
Estandarización de variables	16
Estadística univariable de datos censurados	17
Estimador de Máxima Verosimilitud	17
c. Estadística multivariable	18
Indice de Jaccard	19
d. Asociaciones geoquímicas características de los yacimientos Mississippi Valley Type	21

Composición geoquímica de la pirita (FeS ₂)	23
Composición geoquímica de la esfalerita (ZnS)	24
Composición geoquímica de la galena (PbS)	25
2.2.2 Yacimientos tipo Mississippi Valley	26
a. Definición de yacimiento Mississippi Valley Type.	27
b. Modelos genéticos	27
c. Características petromineralógicas	27
Estilos de mineralización	27
Reemplazamiento (Masivo, semi-masivo, diseminado)	28
Relleno (venillas, vetas, cemento de brechas, botroidal)	28
d. Paragénesis y secuencia paragenética.	28
Definición de paragénesis y secuencia paragenética	28
Secuencias paragenéticas de yacimientos Mississippi Valley Type representativos	28
2.2.3 Inclusiones fluidas y microtermometría	29
a. Tipos de inclusiones fluidas.	30
Según su morfología	30
Según la naturaleza de la inclusión	30
Según su origen	32
b. Familias de Inclusiones Fluidas (FIAS).	33
Requisitos para la validez de un estudio de Familias de Inclusiones Fluidas	33
c. Microtermometría	34
Estimación de la salinidad	34
Estimación de la presión y la profundidad.	36
2.3 Marcos conceptuales	37
CAPITULO III METODOLOGÍA	40
3.1 Tipo y Diseño de Investigación	40
3.2 Unidad de análisis	41
3.3 Población de estudio	41
3.4 Tamaño de muestra	41

3.5 Selección de muestra	42
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	42
3.7 Análisis e interpretación de la información	43
CAPÍTULO IV MARCO GEOLÓGICO	46
4.1 Ubicación	46
4.2 Geología Regional	47
4.2.1 Estratigrafía	47
4.2.2 Rocas intrusivas	52
4.2.3 Evolución tectónica y geológica	52
4.2.4 Geología Regional-Unidades Tectonoestratigráficas	62
4.2.5 Marco estructural	67
4.3 Geología Local	68
4.3.1 Proyecto Cañón Florida	68
a. Ubicación	68
b. Estratigrafía	69
c. Alteración y mineralización	70
4.3.2 Proyecto Florcita	70
a. Ubicación	70
b. Estratigrafía	71
c. Alteración y mineralización	73
4.3.3 Prospecto Soloco	74
a. Ubicación	74
b. Estratigrafía	75
c. Alteración y mineralización	75
CAPÍTULO V RESULTADOS	76
5.1. Resultados petrográficos y minerográficos	76
5.1.1 Proyecto Cañón Florida	76
a. Sector Karen Milagros	76
b. Sector San Jorge	88
c. Secuencia paragenética del proyecto Cañón Florida	99

5.1.2 Proyecto Florcita	101
a. Secuencia paragenética del proyecto Florcita	107
5.1.3 Prospecto Soloco	108
a. Secuencia paragenética del prospecto Soloco	120
5.2 Resultados geoquímicos	121
5.3 Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas	124
5.3.1 Proyecto Cañón Florida	124
5.3.2 Proyecto Florcita	127
5.3.3 Prospecto Soloco	130
5.4 Resultados de microsonda electrónica (Electron Probe Micro Analysis-EPMA)	134
5.4.1 Proyecto Cañón Florida	134
a. Sector Karen Milagros	140
Porcentaje de datos censurados	140
Pruebas de valores atípicos de Grubbs	141
Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk	143
Histogramas	145
a. Mineral: Esfalerita II	145
b. Mineral: Galena II	147
c. Mineral: Pirita II	147
Estimador de Máxima Verosimilitud y cálculo de media y desviación estándar	148
b. Sector San Jorge	154
Porcentaje de datos censurados	154
Pruebas de valores atípicos de Grubbs	155
Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk	157
Histogramas	158
a. Mineral: Esfalerita II	158
b. Mineral: Galena II	160
c. Mineral: Pirita II	160

	Estimador de Máxima Verosimilitud y cálculo de media y desviación estándar	161
5.4.2	Proyecto Florcita	162
a.	Porcentaje de datos censurados	163
b.	Pruebas de valores atípicos de Grubbs	165
c.	Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk	166
d.	Histogramas	167
	Mineral: Esfalerita I	167
	Mineral: Pirita	167
e.	Estimador de Máxima Verosimilitud y cálculo de media y desviación estándar	168
5.4.3	Prospecto Soloco	169
a.	Porcentaje de datos censurados	169
b.	Pruebas de valores atípicos de Grubbs	171
c.	Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk	173
d.	Histogramas	173
	Mineral: Pirita II	173
	Mineral: Esfalerita	174
e.	Estimador de Máxima Verosimilitud y cálculo de media y desviación estándar	175
5.4.	Interpretación de resultados	176
5.4.1	Asociaciones geoquímicas y su relación con las características petromineralógicas de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco	176
a.	Cañón Florida	176
b.	Florcita	179
c.	Soloco	180
5.4.2	Asociaciones geoquímicas y su relación con la secuencia paragenética de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco	181
a.	Cañón Florida	182
	Karen Milagros	182

	Esfalerita II	182
	Correlaciones bivariadas	182
	Asociaciones multivariadas	183
	Galena II	185
	Correlaciones bivariadas	185
	Asociaciones multivariadas	186
	Pirita II	187
	Correlaciones bivariadas	187
	Asociaciones multivariadas	188
	San Jorge	189
	Esfalerita II	189
	Correlaciones bivariadas	189
	Asociaciones multivariadas	190
	Galena II	191
	Correlaciones bivariadas	191
	Asociaciones multivariadas	191
	Pirita II	192
	Correlaciones bivariadas	192
	Asociaciones multivariadas	193
b.	Florcita	194
	Esfalerita I	195
	Correlaciones bivariadas	195
	Asociaciones multivariadas	195
	Pirita	196
	Correlaciones bivariadas	196
	Asociaciones multivariadas	197
c.	Soloco	197
	Esfalerita	197
	Correlaciones bivariadas	197
	Asociaciones multivariadas	198

Pirita II	199
Correlaciones bivariadas	199
Asociaciones multivariadas	200
5.4.3 Características microtermométricas de los fluidos portadores de Ga, Ge, In, Ag y su relación con las características petromineralógicas de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco	200
a. Cañón Florida	201
b. Florcita	202
c. Soloco	204
5.4.4 Características microtermométricas de los fluidos portadores de Ga, Ge, In, Ag y su relación con la secuencia paragenética de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco.	205
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN	213
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES	219
CAPÍTULO VIII RECOMENDACIONES	222
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	223
LISTA DE CUADROS	
Tabla 2. 1 Potencia empírica obtenida a $A=0.10$ de las pruebas Shapiro – Wilk, Anderson – Darling, Kolmogorov – Smirnov, Shapiro – Francia, Ryan – Joiner y Gel – Miao - Gastwirth	15
Tabla 2. 2 Criterios para la elección de métodos estadísticos en función del tamaño de muestra y la proporción de datos censurados	17
Tabla 4. 1 Ruta, distancia y tiempo hacia la zona de estudio	47
Tabla 5. 1 Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-01	77
Tabla 5. 2 Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-01	77
Tabla 5. 3 Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-02	78
Tabla 5. 4 Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-02	79
Tabla 5. 5 Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-03	80
Tabla 5. 6 Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-03	81
Tabla 5. 7 Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-04	82
Tabla 5. 8 Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-04	82
Tabla 5. 9 Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-05	83

Tabla 5. 10	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-05	84
Tabla 5. 11	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-06	85
Tabla 5. 12	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-06	85
Tabla 5. 13	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-01	88
Tabla 5. 14	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-01	89
Tabla 5. 15	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-02	90
Tabla 5. 16	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-02	90
Tabla 5. 17	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-03	91
Tabla 5. 18	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-03	92
Tabla 5. 19	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-04	93
Tabla 5. 20	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-04	93
Tabla 5. 21	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-05	94
Tabla 5. 22	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-05	95
Tabla 5. 23	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-06	96
Tabla 5. 24	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-06	96
Tabla 5. 25	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra F-01	101
Tabla 5. 26	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra F-01	102
Tabla 5. 27	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra F-02	103
Tabla 5. 28	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra F-02	104
Tabla 5. 29	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra F-03	105
Tabla 5. 30	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra F-03	105
Tabla 5. 31	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-02	109
Tabla 5. 32	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-02	109
Tabla 5. 33	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-03	110
Tabla 5. 34	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-03	111
Tabla 5. 35	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-04	112
Tabla 5. 36	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-04	112
Tabla 5. 37	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-05	113
Tabla 5. 38	Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-05	114
Tabla 5. 39	Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-06	115

Tabla 5. 40 Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra F-06	116
Tabla 5. 41 Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-07	117
Tabla 5. 42 Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-07	117
Tabla 5. 43 Resultados geoquímicos de roca total	123
Tabla 5. 44 Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas de las muestras del proyecto Cañón Florida	125
Tabla 5. 45 Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas de las muestras del proyecto Florcita	129
Tabla 5. 46 Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas de las muestras del prospecto Soloco	132
Tabla 5. 47 Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la esfalerita II del proyecto Cañón Florida	135
Tabla 5. 48 Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la galena II del proyecto Cañón Florida	137
Tabla 5. 49 Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la pirita II del proyecto Cañón Florida	137
Tabla 5. 50 Número y porcentaje de datos censurados para los 18 elementos que se han medido en wt% para los minerales presentes en el Sector Karen Milagros	140
Tabla 5. 51 Prueba de Grubbs para Ln(S+1), Ln(Fe+1), Ln(Cu+1), Ln(Zn+1), Ln(Ga+1), Ln(Ge+1), Ln(As+1), Ln(Se+1), Ln(Ag+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Te+1), Ln(Sb+1), Ln(Sn+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en Cañón Florida-Karen Milagros	141
Tabla 5. 52 Resultados de pruebas de normalidad para distribución de la paragénesis de Cañón Florida-Karen Milagros	144
Tabla 5. 53 Resultados de media y desviación estándar obtenidos mediante fórmula tradicional y mediante estimador de máxima verosimilitud	149
Tabla 5. 54 Número y porcentaje de datos censurados para los 18 elementos que se han medido en wt% para los minerales presentes en el Sector San Jorge	154
Tabla 5. 55 Prueba de Grubbs para Ln(S+1), Ln(Fe+1), Ln(Cu+1), Ln(Zn+1), Ln(Ga+1), Ln(Ge+1), Ln(As+1), Ln(Se+1), Ln(Ag+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Te+1), Ln(Sb+1), Ln(Sn+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en Cañón Florida-San Jorge	155
Tabla 5. 56 Resultados de pruebas de normalidad para distribución de la paragénesis de Cañón Florida-San Jorge	157
Tabla 5. 57 Resultados de media y desviación estándar obtenidos mediante fórmula tradicional y mediante estimador de máxima verosimilitud	162
Tabla 5. 58 Número y porcentaje de datos censurados para los 18 elementos que se han medido en wt% para los minerales presentes en el proyecto Florcita	163

Tabla 5. 59 Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la pirita II del proyecto Florcita	164
Tabla 5. 60 Prueba de Grubbs para Ln(S+1), Ln(Fe+1), Ln(Cu+1), Ln(Zn+1), Ln(Ga+1), Ln(Ge+1), Ln(Se+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en el proyecto Florcita	165
Tabla 5. 61 Resultados de pruebas de normalidad para distribución de la paragénesis del proyecto Florcita	166
Tabla 5. 62 Resultados de media y desviación estándar obtenidos mediante fórmula tradicional y mediante estimador de máxima verosimilitud	169
Tabla 5. 63 Número y porcentaje de datos censurados para los 18 elementos que se han medido en wt% para los minerales presentes en el prospecto Soloco	169
Tabla 5. 64 Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la esfalerita y pirita II del prospecto Soloco	170
Tabla 5. 65 Prueba de Grubbs para Ln(S+1), Ln(Fe+1), Ln(Cu+1), Ln(Zn+1), Ln(Ga+1), Ln(Ge+1), Ln(Se+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en el prospecto Soloco	172
Tabla 5. 66 Resultados de pruebas de normalidad para distribución de la paragénesis del prospecto Soloco	173
Tabla 5. 67 Resultados de media y desviación estándar obtenidos mediante fórmula tradicional y mediante estimador de máxima verosimilitud	175
Tabla 5. 68 Síntesis de características petromineralógicas y composición geoquímica mineral por microsonda electrónica para la esfalerita II del proyecto Cañón Florida – Sector Karen Milagros	177
Tabla 5. 69 Síntesis de características petromineralógicas y composición geoquímica mineral por microsonda electrónica para la esfalerita II del proyecto Cañón Florida – Sector San Jorge	178
Tabla 5. 70 Síntesis de características petromineralógicas y composición geoquímica mineral por microsonda electrónica para la esfalerita I del proyecto Florcita	180
Tabla 5. 71 Síntesis de características petromineralógicas y composición geoquímica mineral por microsonda electrónica para la esfalerita y pirita II del prospecto Soloco	181
Tabla 5. 72 Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de esfalerita II, sector Karen Milagros	183
Tabla 5. 73 Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de pirita II, sector Karen Milagros	187
Tabla 5. 74 Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de esfalerita II, sector San Jorge	189
Tabla 5. 75 Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de pirita II, sector San Jorge	193
Tabla 5. 76 Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de esfalerita I, Florcita	195

Tabla 5. 77 Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de pirita, Florcita	196
Tabla 5. 78 Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de esfalerita, Soloco	198
Tabla 5. 79 Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de pirita II, Soloco	199
Tabla 5. 80 Características microtermométricas de inclusiones fluidas y características petromineralógicas de minerales en el proyecto Cañón Florida	201
Tabla 5. 81 Características microtermométricas de inclusiones fluidas y características petromineralógicas de minerales en el proyecto Florcita.	203
Tabla 5. 82 Características microtermométricas de inclusiones fluidas y características petromineralógicas de minerales en el prospecto Soloco	204
Tabla 5. 83 Comparación entre temperaturas de homogenización obtenidas a partir de la microtermometría de inclusiones fluidas y del geotermómetro de Frenzel	205
Tabla 5. 84 Etiquetas correlativas y códigos de muestras para las secciones esquemáticas de los sectores Karen Milagros y San Jorge.	209
Tabla 6. 1 Contenido de germanio en esfalerita (ef), menas de zinc (mz) y concentrados de menas de zinc (cmz) en yacimientos hidrotermales	215

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 Comparación de potencia de diferentes pruebas de normalidad versus gamma (4,5) (Alpha=0.05)	15
Figura 2. 2 Diagrama de flujo que identifica los supuestos que deben cumplirse para seleccionar apropiadamente una técnica de interdependencia (Avendaño et al., 2013)	19
Figura 2. 3 Tipos de Inclusiones fluidas. L= liquido, V= vapor.	31
Figura 2. 4 Inclusiones secundarias y pseudosecundarias	33
Figura 2. 5 Rangos de temperatura y salinidad para tipos de depósitos minerales. Adaptado de Wilkinson (2001).	34
Figura 2. 6 Gráfico de Shepperd et al. (1985) indicando las curvas de solubilidad para NaCl y KCl; en el eje X temperatura de disolución de halita o silvita y en el eje Y salinidad del fluido en la inclusión.	36
Figura 2. 7 Isotermas del sistema H ₂ O-NaCl, mostrando la relación existente entre la temperatura de ebullición, la presión en bares y el contenido salino de la solución (X = indica la saturación de la halita a temperatura ambiente).	37
Figura 4. 1 Mapa de ubicación y accesibilidad a las diferentes zonas de estudio en la región Amazonas	47
Figura 4. 2 Mapa Tectono-estratigráfico con los yacimientos Cañón Florida, Florcita, Soloco	66

Figura 4. 3 Información estratigráfica regional de los principales yacimientos de tipo MVT en la región Amazonas	66
Figura 4. 4 Geología local y ubicación de muestras del proyecto Cañón Florida	68
Figura 4. 5 Geología local y ubicación de muestras del proyecto Florcita	71
Figura 4. 6 Geología local y ubicación de muestras del prospecto Soloco	74
Figura 5. 1 Fotomicrografías del proyecto Cañón Florida-sector Karen Milagros	87
Figura 5. 2 Fotomicrografías del proyecto Cañón Florida-sector San Jorge	98
Figura 5. 3 Secuencia paragenética del proyecto Cañón Florida	101
Figura 5. 4 Fotomicrografías del proyecto Florcita	107
Figura 5. 5 Secuencia paragenética del proyecto Florcita	108
Figura 5. 6 Fotomicrografías del prospecto Soloco	119
Figura 5. 7. Secuencia paragenética del prospecto Soloco	121
Figura 5. 8. Diagrama de Wilkinson (2008) para los resultados microtermométricos del proyecto Cañón Florida	126
Figura 5. 9 Diagrama de Wilkinson (2008) para los resultados microtermométricos del proyecto Florcita	130
Figura 5. 10 Diagrama de Wilkinson (2008) para los resultados microtermométricos del prospecto Soloco	133
Figura 5. 11 Diagrama de Wilkinson (2008) para todas las muestras de los yacimientos Cañón Florida, Florcita y Soloco	134
Figura 5. 12 Medianas de las abundancias de los elementos de la esfalerita II, galena II y piritita II para el proyecto Cañón Florida	139
Figura 5. 13 Gráfica de prueba de valores atípicos de Grubbs (1950)	142
Figura 5. 14 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Esfalerita II, Cañón Florida-Sector Karen Milagros	146
Figura 5. 15 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Galena II, Cañón Florida-Sector Karen Milagros	147
Figura 5. 16 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Galena II, Cañón Florida-Sector Karen Milagros	148
Figura 5. 17 Box plots de composición de esfaleritas de los proyectos Cañón Florida, Florcita y Prospecto Soloco	151
Figura 5. 18 Box plots de composición de pirititas de los proyectos Cañón Florida, Florcita y Prospecto Soloco	152

Figura 5. 19 Box plots de composición de galenas de los proyectos Cañón Florida, Florcita y Prospecto Soloco	153
Figura 5. 20 Representación gráfica de prueba de valores atípicos de Grubbs	157
Figura 5. 21 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Esfalerita II, Cañón Florida-Sector San Jorge	159
Figura 5. 22 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Galena II, Cañón Florida-Sector San Jorge	160
Figura 5. 23 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Pirita II, Cañón Florida-Sector San Jorge	161
Figura 5. 24 Medianas de las abundancias de los elementos de la pirita y esfalerita I para el proyecto Florcita	165
Figura 5. 25 Representación gráfica de prueba de valores atípicos de Grubbs	166
Figura 5. 26 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Esfalerita I, Florcita	167
Figura 5. 27 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Pirita, Florcita	168
Figura 5. 28 Medianas de las abundancias de los elementos de pirita II y esfalerita para el prospecto Soloco	171
Figura 5. 29 Representación gráfica de prueba de valores atípicos de Grubbs	173
Figura 5. 30 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Pirita II, Soloco	174
Figura 5. 31 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de esfalerita, Soloco	175
Figura 5. 32 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita II de Karen Milagros	182
Figura 5. 33 Análisis clúster jerárquico para la esfalerita II de Karen Milagros	184
Figura 5. 34 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la galena II de Karen Milagros	185
Figura 5. 35 Análisis clúster jerárquico para la galena II de Karen Milagros	186
Figura 5. 36 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita II de Karen Milagros	187
Figura 5. 37 Análisis clúster jerárquico para la pirita II de Karen Milagros	188
Figura 5. 38 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita II de San Jorge	189
Figura 5. 39 Análisis clúster jerárquico para la esfalerita II de San Jorge	190
Figura 5. 40 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la galena II de San Jorge	191
Figura 5. 41 Análisis clúster jerárquico para la galena II de San Jorge	192
Figura 5. 42 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita II de San Jorge	193

Figura 5. 43 Análisis clúster jerárquico para la pirita II de San Jorge	194
Figura 5. 44 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita I de Florcita	195
Figura 5. 45 Análisis clúster jerárquico para la esfalerita I de Florcita	196
Figura 5. 46 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita de Florcita	196
Figura 5. 47 Análisis clúster jerárquico para la pirita de Florcita	197
Figura 5. 48 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita de Soloco	198
Figura 5. 49 Análisis clúster jerárquico para la esfalerita de Soloco	199
Figura 5. 50 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita II de Soloco	199
Figura 5. 51 Análisis clúster jerárquico para la pirita II de Soloco	200
Figura 5. 52 Variación de Ge (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas	206
Figura 5. 53 Variación de Ga (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas	207
Figura 5. 54 Variación de In (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas	207
Figura 5. 55 Variación de Ag (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas	208
Figura 5. 56 Variación de Cd (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas	208
Figura 5. 57 Variación de Fe (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas	209
Figura 5. 58 Sección esquemática del sector Karen Milagros, representando puntos de muestreo de EPMA e inclusiones fluidas, variación espacial de composición de esfaleritas II, temperaturas de homogenización y sondajes	210
Figura 5. 59 Sección esquemática del sector San Jorge, representando puntos de muestreo de EPMA e inclusiones fluidas, variación espacial de composición de esfaleritas II, temperaturas de homogenización y sondajes	211

RESUMEN

Los yacimientos de Zn-Pb de tipo MVT contienen esfalerita que puede permitir obtener Ge y Ga como subproductos, ya que usualmente son explotados como subproductos en estos depósitos de Zn – Pb. El Grupo Pucará, en el norte y centro del Perú alberga, en sus niveles dolomíticos y oolíticos permeables, mineralización de Zn-Pb en yacimientos tales como Cañón Florida, Florcita, Soloco, Río Cristal, San Vicente, Shalipayco y Tarmatambo. Por la presencia de este potencial subproducto en los yacimientos peruanos, esta investigación tuvo como objetivo conocer, para los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco, la relación entre el comportamiento geoquímico de Ga, Ge, In, Ag y su paragénesis. Para ello se tuvo como objetivos el determinar la relación entre las asociaciones geoquímicas, características microtermométricas de los fluidos portadores de Ga, Ge, In, Ag y las características petromineralógicas – paragenéticas. De los resultados se tiene que, para Cañón Florida, el mayor contenido de Ge (1484 ppm) se encuentra en la esfalerita de estilo de mineralización semimasivo. El contenido de Fe es menor en las esfaleritas de color zonado naranja – amarillento. La asociación entre Ge – Ga – Ag en esfaleritas se observa tanto para Cañón Florida como para Soloco. La asociación geoquímica Ga-Hg-Zn se da en todas las piritas. Las inclusiones fluidas muestran que las texturas masivas de mineralización son causadas en condiciones de ebullición de los fluidos mineralizantes. La microtermometría de inclusiones fluidas para Cañón Florida muestra continuidad entre las esfaleritas de Karen Milagros, San Jorge y los carbonatos, lo que sugiere que los fluidos, desde Karen Milagros hacia San Jorge han ido diluyéndose (posiblemente por mezcla con reservorios de aguas meteóricas). El contenido de Zn no guarda correlación con la temperatura, lo que evidencia la necesidad de realizar estudios tales como las inclusiones fluidas y la microsonda electrónica para poder vectorizar a escala de depósito los elementos estratégicos de interés a manera de posibles subproductos.

PALABRAS CLAVE: Mississippi Valley Type, germanio, microsonda electrónica, elementos críticos.

ABSTRACT

The MVT type Zn-Pb deposits contain sphalerite that can allow obtaining Ge and Ga as by-products, since they are usually exploited as by-products in these Zn-Pb deposits. The Pucará Group in northern and central Peru hosts, in its permeable dolomitic and oolitic levels, Zn-Pb mineralization in deposits such as Cañón Florida, Florcita, Soloco, Río Cristal, San Vicente, Shalipayco and Tarmatambo. Due to the presence of this potential by-product in Peruvian deposits, the objective of this research was to know, for the Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita and Soloco deposits, the relationship between the geochemical behavior of Ga, Ge, In, Ag and their paragenesis. The objectives were to determine the relationship between the geochemical associations, microthermometric characteristics of the Ga, Ge, In, Ag bearing fluids and the petromineralogical - paragenetic characteristics. From the results it can be seen that, for Cañón Florida, the highest Ge content (1484 ppm) is found in the sphalerite of semi-massive mineralization style. The Fe content is lower in the orange-yellowish zoned sphalerites. The association between Ge - Ga - Ag in sphalerites is observed for both Cañón Florida and Soloco. The Ga-Hg-Zn geochemical association occurs in all pyrites. The fluid inclusions show that the massive textures of mineralization are caused under boiling conditions of the mineralizing fluids. Microthermometry of fluid inclusions for Cañón Florida shows continuity between the Karen Milagros sphalerites, San Jorge and carbonates, suggesting that the fluids from Karen Milagros to San Jorge have been diluting (possibly by mixing with meteoric water reservoirs). The Zn content does not correlate with temperature, which evidences the need to carry out studies such as fluid inclusions and electron microprobe to be able to vector at deposit scale the strategic elements of interest as possible by-products.

KEY WORDS: Mississippi Valley Type, germanium, electron probe microanalyzer, critical elements.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática

Los yacimientos de tipo Mississippi Valley en el Perú no se encuentran profundamente estudiados, en comparación con otros tipos de yacimientos, tal como el sistema pórfido-epitermal. Además, los elementos de interés en estos yacimientos, son el Pb y Zn principalmente; sin embargo, presentan también elementos como Ag, Ge, Ga e In y, la presencia de estos elementos en determinada fase hidrotermal de la paragénesis de los yacimientos no está claramente establecida, y, delimitándonos a la zona de estudio, no existe información sobre la distribución de Ge, Ga, In, Ag y su relación con la paragénesis de los MVT en la región Amazonas.

En el mundo, algunos estudios han intentado abordar parcialmente la distribución geoquímica en los MVT, por ejemplo, Foltyn *et al.* (2019) se propusieron obtener las composiciones LA-ICP-MS de las esfaleritas del distrito MVT Cracow-Silesia en Polonia, en las principales texturas y reconocer la presencia de elementos estratégicos tales como In, Ga, Ge; sin embargo, los valores de In y Ga que obtuvo están casi siempre bajo el límite de detección del LA-ICP-MS, mientras que la media de Ge es de 67 ppm. Sin embargo, indica valores de hasta 3063 ppm de Talio, siendo que este elemento no ha sido determinado en la región Amazonas, en Perú.

A su vez, otros trabajos, tales como el de Bonet *et al.* (2014) “Germanium Distribution in Sphalerite from North-East America MVT Deposits: A multiscale Study” se propusieron estudiar la distribución de Ge en la esfalerita de los MVTs de Tennessee (USA) usando una aproximación a distintas escalas (desde la escala mineralógica a la escala distrital) y generalizar los resultados a la escala de Norte América. Sin embargo, no empleó una cantidad apropiada de muestras (10) para su objetivo de aproximar a escala de Norte América, así como tampoco determinó si la presencia en determinada etapa de la paragénesis del yacimiento, era relevante. Cook *et al.* (2009) menciona que las esfaleritas con Ga, Ge, Hg y Sn se encuentran a menor temperatura. Ofstedhal (1940) señala que el contenido de In es menor en las esfaleritas enriquecidas en Ga y Ge.

En lo que respecta al Perú, los estudios de distribución de estos elementos críticos en yacimientos tipo MVT han sido abordados en yacimientos tales como Río Cristal, en la región Amazonas por Mondillo (2018), quien ha establecido la dispersión secundaria de Ge, sin embargo, no esclarece los mecanismos mediante los cuales se ha dado la dispersión primaria de este elemento, ni su relación en la paragénesis del yacimiento.

Un trabajo que realiza un mayor detalle, aunque no como objetivo principal, sobre la distribución geoquímica primaria en los MVT de la región Amazonas, particularmente para el proyecto Cañón Florida, es Robles (2018) quien realiza un trabajo orientado a reconocer los niveles favorables, dentro del Grupo Pucará, en Cañón Florida y presenta resultados de microscopía electrónica de barrido en los que detecta presencia de Ga, Cd e In. Sin embargo, no realiza un detalle sobre la secuencia paragenética, y aún menos con la relación que presenta esta con las composiciones de elementos críticos, específicamente. Presenta un mapeo de microscopio electrónico centrándose en los elementos mayores y menores, mas no figuran los elementos críticos. Además, los trabajos más recientes sobre yacimientos MVT en la región Amazonas (De Oliveira, 2019, 2020) no realizan un enfoque en lo que respecta a las texturas ni a la secuencia paragenética, así como tampoco estudia la distribución de estos elementos críticos, sino que realizan su enfoque en estudios de isótopos estables y geocronológicos.

Por esta carencia de estudios detallados entre la distribución geoquímica primaria y la paragénesis de los MVT en la región Amazonas, es necesario realizar el presente estudio, que establecerá una relación entre la distribución de elementos críticos en determinada fase de la paragénesis, y aunado al conocimiento de las relaciones texturales, será de especial interés en los procesamientos geometalúrgicos.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

- ¿Existe relación entre el comportamiento geoquímico del Ga, Ge, In, Ag y la paragénesis de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Existe relación entre las asociaciones geoquímicas y las características petromineralógicas de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco?
- ¿Existe relación entre las asociaciones geoquímicas y la secuencia paragenética de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco?
- ¿Existe relación entre las características microtermométricas de los fluidos portadores de Ga, Ge, In, Ag y las características petromineralógicas de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco?
- ¿Existe relación entre las características microtermométricas de los fluidos portadores de Ga, Ge, In, Ag y la secuencia paragenética de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco?

1.3 Justificación

Este estudio establecerá la relación entre la distribución geoquímica de Ga, Ge, In, Ag y la paragénesis de los MVT en la región Amazonas, porque los estudios que se han realizado a nivel mundial y local en casos no resuelven aspectos como el límite de detección para elementos como el Ge, Ga o In, cantidad de muestras necesarias para extrapolar una posible interpretación a una mayor escala, interpretación de la dispersión primaria de los elementos Ga, Ge, In y Ag, las variaciones espaciales de sus concentraciones y su distribución, la variación de las características microtermométricas de los fluidos hidrotermales y un detalle de las secuencias paragenéticas.

Los elementos críticos tales como el germanio (Ge), galio (Ga) e indio (In) se encuentran usualmente en la estructura cristalina de la esfalerita (Cook et al. 2009, Bonnet et al., 2016). El Ge puede concentrarse en la esfalerita hasta en valores de 3000 ppm (Bernstein, 1985) y el Ge se concentra preferentemente en la esfalerita con bajo contenido de Fe (Johan, 1988). Estos elementos están cobrando gran relevancia en su importancia económica debido a su identificación como materias primas críticas (Erdmann y Graedel, 2011). El Ge es empleado para fabricación de fibra óptica y como semiconductor, el Ga es empleado como semiconductor y circuitos integrados, mientras que la aleación de Cu, In, Ga, Se/S (CIGS) sirve para la fabricación de paneles solares (Wang et al., 2019).

Este resultado será de utilidad para los procesos metalúrgicos que puedan darse posteriormente en etapas más avanzadas del desarrollo de estos yacimientos, tras su minado, para focalizar los procesos en la recuperación de estos elementos estratégicos.

Además, los resultados de investigación permitirán a los investigadores geocientíficos tener un antecedente sobre la relación entre la distribución geoquímica de estos elementos estratégicos y la paragénesis de los yacimientos tipo Mississippi Valley en la región Amazonas.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

- Conocer la relación entre el comportamiento geoquímico de Ga, Ge, In, Ag y la paragénesis de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la relación entre las asociaciones geoquímicas y las características petromineralógicas de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco.
- Determinar la relación entre las asociaciones geoquímicas y la secuencia paragenética de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco.
- Determinar la relación entre las características microtermométricas de los fluidos portadores de Ga, Ge, In, Ag y las características petromineralógicas de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco.
- Determinar la relación entre las características microtermométricas de los fluidos portadores de Ga, Ge, In, Ag y la secuencia paragenética de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

De Oliveira *et al.* (2019) se propusieron distinguir las secuencias de mineralización de sulfuros y carbonatos en base a estudios de isótopos estables de muestras seleccionadas de las áreas representativas de Cañón Florida. Para ello, realizó muestreos de taladros para estudios específicos, 2 de la falla Sam, 3 del área San Jorge, 2 del área Central, 4 del área Karen Milagros. Se realizaron 51 secciones delgadas, 36 secciones pulidas. Se realizaron estudios isotópicos de C y O en carbonatos por el método de flujo continuo, con un espectrómetro de masas. Se realizaron análisis de isótopos de Sr y S en sulfuros.

Obtuvieron que los isótopos de C, O y Sr permiten distinguir entre estadios de carbonatos pre y synminerales. Las composiciones isotópicas de sulfuros en el depósito sugieren que precipitaron como resultado de la mezcla de un fluido rico en metales con el sulfuro de hidrógeno que existía en el domo. Señaló que la reducción termoquímica de sulfato local pudo haber contribuido a contenido de azufre reducido durante la mineralización.

Foltyn *et al.* (2019) se propuso obtener las composiciones LA-ICP-MS de las esfaleritas del distrito MVT Cracow-Silesia en Polonia en las principales texturas y reconocer la presencia de elementos estratégicos tales como In, Ga, Ge. Se empleó para ello el material de referencia MUL-ZnS 1 de esfalerita emparejada con matriz, lo que mejora la precisión

y exactitud del análisis. Se tomaron muestras selectivas de 63 esfaleritas de las minas Orzel Bialy (38), Trzebionka (12), Pomorzany (13). Los valores de In y Ga que obtuvo están casi siempre bajo el límite de detección, mientras que la media de Ge es de 67 ppm. Se observan diferencias en el contenido de Ge y Ga entre las bandas claras y oscuras de las esfaleritas. Las muestras de la mina Orzel Bialy tienen contenidos muy altos en Talio, y se ha sustentado con la presencia de sulfosales raras de Pb-As tales como gratonita y jordanita. Este estudio indica valores de hasta 3063 ppm de Talio, y son los más altos reportados en la literatura.

Bonet *et al.* (2014) en su trabajo “Germanium Distribution in Sphalerite from North-East America MVT Deposits: A multiscale Study” se propuso estudiar la distribución de Ge en la esfalerita de los MVTs de Tennessee (USA) usando una aproximación a distintas escalas (desde la escala mineralógica a la escala distrital) y generalizar los resultados a la escala de Norte América. Para ello, analizó la composición de la esfalerita de los 2 distritos (Middle Tennessee Mine) y East Tennessee Mine (ETM) por electron microprobe (EPMA) y Laser Ablation ICP-MS. En la esfalerita del MTM se encontraron 2 grupos de elementos traza que compiten por ser sustituidos en esfalerita: 1er grupo con correlación entre Cu y (Ga+Ge) cercana a 1. 2do grupo con correlación de Fe y Cd cercana a 1. En la esfalerita de ETM, los contenidos de elementos traza son menores al límite de detección en el EPMA. Los resultados del LA-ICP-MS muestran que, aún en bajo contenido, hay presencia de Cu-Ga-Ge (con contenidos promedio de 145, 140 y 15 ppm respectivamente). No hay correlación entre Cu y (Ga+Ge), pero hay correlación entre el Fe y Cd similar a MTM. El mapeo con EPMA de un corte perpendicular a (111) de un cristal de esfalerita revela incorporación preferencial del Ga, Ge y Cu en la dirección (011) e incorporación de Fe, Cd en la dirección (010) en bandas de crecimiento, revelando un control cristalográfico. El control cristalográfico no se limita a los MVTs de Tennessee, sino que puede extenderse a los MVTs del NE de Norte América. Se reconocen 2 provincias metalogénicas: La intracontinental, donde los MVTs están enriquecidos en Ge y la Apalachiana, donde los MVTs tienen menos Ge. Esto parece indicar que están vinculados a dos fuentes distintas de fluidos.

Field *et al.* (2020) en su estudio “Geochemical characteristics of trace occurrences of Mississippi Valley-type mineralization in the U.S. mid-continent: Implications for Deposit growth” se propuso probar la hipótesis que diferencias sistemáticas en la composición del fluido llevan a diferencias en la escala de mineralización (es decir, que influyen en el tamaño del depósito). Para ello, analizó IF en esfaleritas de las 37 ocurrencias a lo largo de los MVTs intracontinentales de EEUU empleando microtermometría, espectroscopia Raman, y LA-ICP-MS. Muchas de las muestras fueron recolectadas de afloramientos. Comparadas con las IF de los yacimientos MVT más grandes, las IF de las ocurrencias de MVTs tienen menor temperatura de homogenización. Sin embargo, estas diferencias, así como las diferencias en concentraciones de elementos, son insuficientes para explicar las diferencias en el tamaño del depósito. Esto sugiere que las diferencias en la disponibilidad local de sulfuros, puede no ser medible en este estudio, pero puede corresponder a las grandes diferencias observadas en el contenido de metano, que rige a los yacimientos MVT más grandes.

Mondillo *et al.* (2018) en su trabajo “Germanium enrichment in supergene settings: evidence from the Cristal nonsulfide Zn prospect, Bongará district, northern Peru” se propuso determinar si el Ge se enriquecía en los minerales producto de intemperismo (hidrosilicatos de Fe e hidróxidos de Fe) respecto de la mena primaria (esfalerita). Para ello realizó una selección de dos de los taladros más representativos (CR13 y CR18) que interceptan mineralización de Zn de 5-45 %, en cuerpos oxidados. 12 muestras y 20 muestras, respectivamente, intervalos de 1 m. Estudios petrográficos, mineragráficos y geoquímicos (roca total, XRD-%wt y análisis mineralógicos, complementados por (LA) ICP-MS de minerales seleccionados) de testigos de perforación. También estudios de SEM y EPMA. El Ge no mostraba un enriquecimiento en los minerales producto de alteración intempérica, en comparación con la mena (muestran concentraciones similares 100-229 ppm en goethita, 39 a 137 ppm en hemomorfitita). Sin embargo, se previene la dispersión de Ge ya que este es captado por los minerales producto de alteración intempérica. Usando el Geotermómetro GGIMFis (geotermómetro de Ga, Ge, In, Mn y Fe en Esfalerita) de Frenzel *et al.* (2016) determinaron una T de formación para la

esfalerita de 225 ± 50 °C, proponiendo un posible origen polimetálico a la mineralización, sustentado también por el reconocimiento de hidróxidos de Mn y micas con Zn.

Robles (2018) en su tesis “Geología y mineralización del depósito Mississippi Valley Type de Zn-Pb: Proyecto Cañón Florida, Norte de Perú” se propuso determinar el control litológico, estructural, estratigráfico y su relación con la mineralización de Zn-Pb y conocer sus características. La metodología que realizó es exploratoria. Los trabajos consistieron en la compilación y elaboración de secciones geológicas interpretativas, columnas estratigráficas, esquemas, tablas, figuras, análisis de sondajes diamantinos, registros de sondajes ddh (logueo), descripción macroscópica, microscópica de rocas y minerales; para conocer la litología, alteración, ensambles y caracterización petrominerográfica, estudios de microscopía electrónica de barrido, análisis e interpretación de datos metalogenéticos, geológicos, estratigráficos, sedimentológicos, estructurales, litológicos, texturales y mineralógicos. Sus muestras corresponden a fragmentos de rocas y minerales de superficie y cores: 02 muestras del Sector Karen Milagros, 02 muestras del sector San Jorge y 01 muestra del sector Falla Sam. En sus resultados, se identificaron las fases minerales: esfalerita, galena, pirita, marcasita, calcita, dolomita y sulfosales, de texturas variadas. La mineralización se presenta a manera de diseminados, semi-masivos, masivos, bandeados y *patch* con granulometría fina a gruesa; presentan geometría en mantos estratoligados, cuerpos irregulares y vetiformes. En el sector San Jorge la mineralización de sulfuros de Zn y Pb se presenta masiva, semi-masiva y diseminadas y está asociada a inyecciones de evaporita (brechas evaporíticas tectónicas) a lo largo de fallas, configurando un control del depósito mineral en cuerpos estructurados; mientras que en el sector Karen Milagros la mineralización es de tipo manto o estratoligado (*strata-bound*) y está asociada a dolomitas ricas en materia orgánica (bituminosa), porosa y pseudobrechas evaporíticas. La mineralización de Zn-Pb se circunscribe en la unidad Chambará 2 relacionados a los niveles dolomitizados con texturas favorables. Se encontraron valores de In 1.37 % wt en la esfalerita y 3.3 %wt en la pirita, así como 3.63 % wt en la pirita del Sector San Jorge, mediante el microscopio electrónico de barrido.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Asociación geoquímica de Ge, Ga, In, Ag en los yacimientos tipo Mississippi Valley

a. Definición de Asociación geoquímica

Una asociación geoquímica, corresponde a un agrupamiento de elementos químicos que refleja un ambiente específico y procesos formadores de minerales. El concepto de *pathfinder* se relaciona estrechamente con el de asociaciones geoquímicas en la prospección geoquímica – minera, ya que, en la búsqueda de un elemento principal, se suele analizar las muestras también con respecto a los elementos *pathfinder* (o acompañantes, elementos asociados). En muchos casos, todos los elementos muestran una asociación particular que ocurre en un mismo depósito, aunque su abundancia relativa puede variar de un depósito a otro. En otro caso, la asociación es tan amplia que define provincias metalogénicas dentro de la cual depósitos particulares muestran solo algunos de los elementos de la asociación global (Rivera, 2007).

Por tanto, es la relación entre dos o más elementos químicos en un determinado ambiente geológico, condicionada a su vez por los factores físicos, químicos y físico-químicos que influyen en el comportamiento geoquímico de los elementos. Esta asociación y la intensidad de la misma pueden medirse mediante la correlación estadística que presenten entre sí los pares de elementos químicos. (Rivera, 2007).

b. Estadística univariable

Histograma

Un histograma es semejante a una gráfica de barras, pero se usa para graficar cantidades en lugar de datos cualitativos.

Un histograma de frecuencias, para un conjunto de datos cuantitativo es una gráfica de barras en la que la altura de la barra muestra el número de mediciones que caen en una clase o subintervalo particular. Las clases o subintervalos se grafican a lo largo del eje horizontal. (Mendengall *et al.* 2006)

Pruebas de normalidad

Los análisis de normalidad, también llamados contrastes de normalidad, tienen como objetivo analizar cuánto difiere la distribución de los datos observados respecto a lo esperado si procediesen de una distribución normal con la misma media y desviación típica.

Los tres procedimientos comunes para conocer si una muestra aleatoria de tamaño n tomada de observaciones independientes viene de una población con una distribución normal son: métodos gráficos (histogramas, boxplots, Q-Q plots), métodos numéricos (oblicuidad y curtosis) y pruebas formales de normalidad (Mohd Razali y Bee Wah, 2011). El trabajo de Mohd Razali y Bee Wah (2011) evalúa la potencia (probabilidad de que una prueba identifique correctamente un efecto genuino, real o lo que es lo mismo, es la capacidad de distinguir la señal del ruido) de cuatro pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors y Anderson-Darling), encontrando que la prueba de Shapiro-Wilk es la que mejor potencia muestra.

**Plot of Power for Different Normality Tests:
Gamma (4, 5) (sk = 1.00, ku = 4,50)**

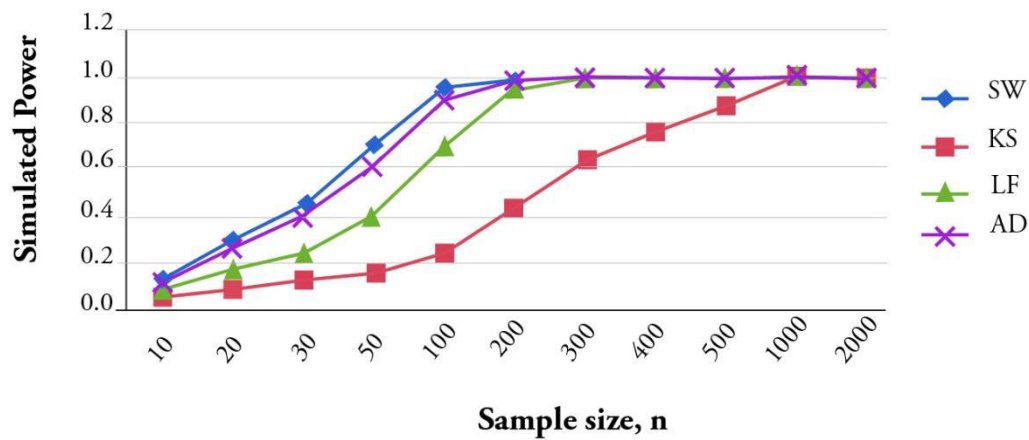


Figura 2. 1 Comparación de potencia de diferentes pruebas de normalidad versus gamma (4,5) (Alpha=0.05)

Modificado de Mohd Razali y Bee Wah, (2011)

Para un escaso número de muestras ($n=10$; $n=15$), Cabrera *et al.* (2017) hace un estudio en el que hace una comparación de los test Kolmogorov (1933)-Smirnov (1936), Anderson-Darling (1954), Fillibien (1975), entre otros, y concluye que dentro de las aproximaciones que estudia, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (1968), modificada por Rahman y Govindarajulu (1997), alcanza los mejores niveles de potencia.

Tabla 2. 1

Potencia empírica obtenida a $A=0.10$ de las pruebas Shapiro – Wilk, Anderson – Darling, Kolmogorov – Smirnov, Shapiro – Francia, Ryan – Joiner y Gel – Miao - Gastwirth

Pruebas de Normalidad	Potencia empírica		Software
	n = 15	n = 10	
Shapiro-Wilk modificado por Rahman y Govindarajulu	45%	25%	Infostat
Shapiro-Wilk	29%	18%	Spss
Anderson-Darling (AD*)	26%	16%	Minitab
D' Agostino-Pearson (según D' Agostino et al. 1990)	15%	15%	Stata
Kolmogorov-Smirnov modificado por Lilliefors	17%	13%	Infostat
Shapiro-Francia	18%	11%	Stata
Ryan-Joiner	17%	11%	Minitab
Gel-Miao-Gastwirth	14%	10%	No disponible

En el presente estudio se empleará la prueba de Kolmogorov – Smirnov y Shapiro-Wilk por las razones expuestas, en el software SPSS® en el cual se encuentra disponible.

Técnicas de normalización

Muchos conjuntos de datos tienen una distribución que no es normal, pero podemos transformar los datos para que los valores modificados tengan una distribución normal. Una transformación común consiste en reemplazar cada valor de x por $\ln(x+1)$. [En vez de utilizar $\ln(x+1)$, podríamos emplear una transformación más directa al reemplazar

cada valor de x por $\ln x$, pero el uso de $\ln (x + 1)$ tiene algunas ventajas, incluyendo la propiedad de que si $x = 0$, entonces $\ln (x + 1)$ se puede evaluar, en tanto que $\ln x$ es indefinido]. Si la distribución de los valores $\ln (x + 1)$ es normal, la distribución de los valores x se denomina distribución log normal (Triola, 2009).

Pruebas de valores atípicos

El concepto de valor atípico es bastante subjetivo (Collet y Lewis, 1976), ya que este suele reconocerse por el impacto visual que causa en el observador, siendo que algunos tienen a aceptarlo y otros no. Evidentemente la inclusión o no de un valor atípico (excepcionalmente alto o bajo) puede influir mucho en la magnitud de algunos estadísticos tales como la media, sesgándola hacia el valor considerado atípico. Por este motivo, se recurrirá a pruebas de valores atípicos para su reconocimiento y exclusión en el cálculo de determinados estadísticos tales como la media y la varianza, pero serán incluidos como observaciones. Se empleará el test de Grubbs (1950) a un nivel de significancia de 5% para el reconocimiento de valores atípicos. El procedimiento para su cálculo puede ser encontrado en Grubbs (1950), siendo que para el presente trabajo se recurrirá al software Minitab® para su obtención.

Estandarización de variables

Cuando las variables cuenten con una distribución normal (obtenida en este trabajo a través de la conversión $\ln (x + 1)$), se estandarizará mediante la definición de la variable aleatoria normal estándar, la cual consiste en:

$$z = \frac{Y - \mu}{\sigma}$$

Donde

Y : variable aleatoria que se va a estandarizar

μ : media aritmética de la variable Y

σ : desviación estándar de la variable Y

Para este trabajo, $Y = \ln (x + 1)$

Esta nueva variable z tendrá una distribución normal estándar con media 0 y desviación estándar 1. (Mendengall *et al.* 2006)

Una vez que las variables se encuentren normalizadas y estandarizadas, podrán ser comparadas variables pertenecientes a distintas poblaciones de datos, y así obtener correlaciones robustas.

Estadística univariable de datos censurados

Tabla 2. 2

Criterios para la elección de métodos estadísticos en función del tamaño de muestra y la proporción de datos censurados

		Tamaño de muestra			
		<50		>50	
Proporción de datos censurados	<50%	Múltiples LD	$\frac{KM}{Turnbull}$	Múltiples LD	$\frac{KM}{Turnbull}$
		Único LD	$\frac{rRos}{rMLE}$	Único LD	$\frac{rRos}{rMLE}$
	50-80%	$\frac{rRos}{rMLE}$		MLE	
	>80%	Reportar solo % sobre un threshold significativo disponible		Reportar solo los percentiles superiores (90, 95)	

*Adaptado de Helsel (2012)

KM: Estimador no paramétrico de Kaplan-Meier

rRos: Regresión de orden estadística

rMLE: Estimador de Máxima Verosimilitud

Turnbull: Estimador no paramétrico de Turnbull

LD: Límite de detección

Estimador de Máxima Verosimilitud

Esta estimación requiere asumir la distribución de los datos (normal, lognormal u otra), por lo que debe ser precedida de alguna prueba de normalidad, para los datos sin censura. Se calculan la media y la desviación estándar para la distribución atribuida de los datos no censurados.

Para su uso se empleará el software Minitab ®, el cual cuenta con los algoritmos de supervivencia para datos censurados por la derecha (mayor que), razón por la cual se realizará un cambio de variable al multiplicar por (-1) a todos los datos, y sumarles una cantidad muy grande (1000). Luego de obtenidos la media y la desviación estándar, se calculará la media y desviación estándar de la variable original a partir de estos.

Representación gráfica de datos censurados

Diagramas de cajas y bigotes (boxplots)

Las cajas son graficadas empleando medidas de posición tales como los percentiles 25, 50 y 75, nunca deben ser graficados borrando las observaciones censuradas (Helsel, 2012). Borrarlas destruye todo significado de los percentiles, ya que estas son medidas de posición, y la eliminación de información las desplaza directamente.

La manera de representarlos gráficamente es mediante asignarles un valor constante por debajo del límite de detección, y censurar gráficamente su visibilidad. De esta manera no se afecta el significado de las medidas de posición.

Histogramas

Para este caso, Helsel (2012) sugiere, al igual que para los boxplots, asignar un valor constante por debajo del límite de detección, y marcar el mismo en el histograma.

c. Estadística multivariable

Existe gran diversidad de técnicas estadísticas para reconocer relaciones entre variables o predecir variables en base a relaciones ya conocidas. En base a estos dos fundamentos, estas técnicas estadísticas analíticas se pueden clasificar en dos grupos (Kerlinger, 2002): Análisis de dependencia, en los cuales algunas variables son independientes y otras son variables dependientes, función de las variables independientes o explicativas.

Ejemplos de análisis en esta clase son:

- el Análisis Discriminante (*Discriminant Function Analysis-DFA*),
- correlación canónica,
- Análisis Multivariable de la Varianza (*Multivariate Analysis of Variance-MANOVA*), mínimos cuadrados parciales,
- Análisis de Similitud (*Analysis of Similarity-ANOSIM*) y
- pruebas para seriación (test de tendencia no paramétrico).

Análisis de interdependencia, los cuales tratan a todas las variables como iguales en función, y disciernen patrones de variación conjunta o covarianza. Ejemplos de análisis en esta clase son

- el Análisis de Componentes Principales (*Principal Component Analysis-PCA*,
- Análisis Factorial Exploratorio,
- Análisis de Conglomerados (*Cluster Analysis*),
- Análisis de Correspondencia, y
- Escalamiento Multidimensional (*Multidimensional Scaling-MDS*).

Dependiendo de qué tipo de patrones queremos reconocer, se llama análisis de tipo R si es entre variables, y análisis de tipo Q si es entre muestras (casos).

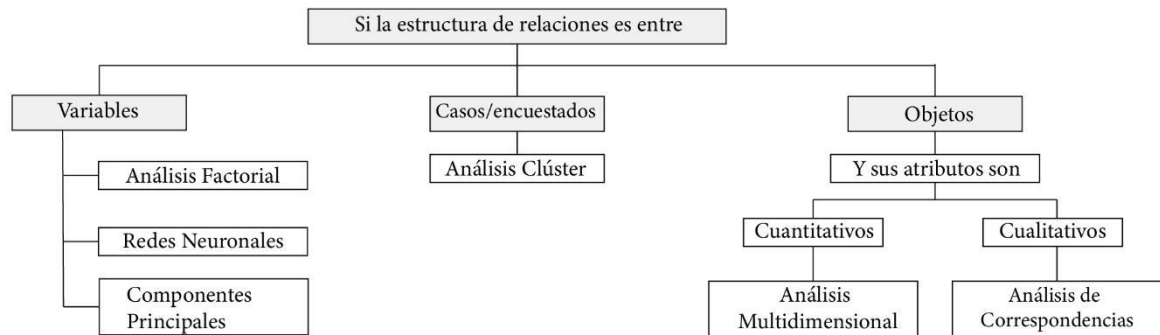


Figura 2. 2 Diagrama de flujo que identifica los supuestos que deben cumplirse para seleccionar apropiadamente una técnica de interdependencia (Avendaño et al., 2013)

Dada la naturaleza exploratoria del presente trabajo, se emplearán Análisis de interdependencia.

Índice de Jaccard

Los datos censurados son tradicionalmente reemplazados por el 60% del límite de detección, o se imputan datos aleatorios; sin embargo, estas prácticas pueden conducir a correlaciones espurias, ya que los valores imputados, como reemplazo de los datos censurados, no necesariamente tienen la misma distribución que los datos no censurados. Para el tratamiento estadístico multivariado con datos censurados, Helsel (2012) recomienda, el empleo de índices que categoricen a los datos en censurados/no censurados, tales como el índice de Jaccard (2001). Este índice no contabilizará a los pares de datos que se encuentren ambos censurados (censurado/censurado), y esto permite que las correlaciones basadas en datos censurados en ambos casos no tengan mucho peso. Este índice se calcula de la siguiente manera:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Donde A y B: Conjuntos de observaciones dispuestas en 02 categorías distintas.

Para nuestro caso, el conjunto A será el conjunto de datos censurados, y el conjunto B el conjunto de datos no censurados.

Para el caso particular de 02 observaciones (puntos) de muestreo, el índice puede ser calculado de la siguiente manera:

$$I_J = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a: Es el número de datos no censurados en la muestra A

b: Es el número de datos no censurados en la muestra B

c: Es el número de coincidencias de parejas no censurado/no censurado de ambas muestras (no se considera coincidencias a las parejas censurado/censurado).

Un índice de Jaccard de 0 significaría que no existe ninguna coincidencia de parejas no censurado/no censurado; es decir, si para 02 puntos de muestreo un dato fue detectado entonces en el otro punto de muestreo no fue detectado y viceversa.

Un índice de Jaccard de 1 significaría que para los 02 puntos de muestreo cada dato fue detectado en ambos puntos de muestreo, dando un 100% de coincidencias y a su vez indicando que no hay ningún dato censurado.

d. *Asociaciones geoquímicas características de los yacimientos Mississippi Valley Type*

En los yacimientos tipo MVT, un zoneamiento geoquímico generalmente no se encuentra fuertemente desarrollado, y solo ha sido descrito en pocas áreas (Leach *et al.*, 2010). El depósito Navan por ejemplo, tiene un zoneamiento vertical, mostrando un incremento en Fe en el centro del depósito, además de un incremento lateral del ratio Zn/Pb hacia afuera, mientras que otros depósitos tipo Irish muestran enriquecimiento en Pb cerca de las zonas de *feeder*, con un incremento del ratio Zn/Pb al alejarse de los *feeders* (Hitzman y Large, 1986).

En síntesis, el Pb se encuentra predominantemente hacia el centro del sistema alimentador, mientras que el Zn incrementa su concentración al alejarnos del centro del sistema alimentador.

En cuanto a los fluidos, las fuentes principales fueron salmueras sedimentarias de cuencas, derivadas principalmente de evaporación de agua de mar.

La evaporación puede haber ocurrido de manera coetánea con la migración de los fluidos mineralizantes en áreas costeras de evaporitas o dentro de cuencas marinas cerradas o desde salmueras residuales almacenadas en secuencias sedimentarias del basamento cristalino. La mayoría de los yacimientos se forman por la mezcla de salmueras metalíferas con otros fluidos en el lugar de precipitación. Se conoce poco sobre estos “otros fluidos” (Leach *et al.*, 2010); sin embargo, son probablemente fluidos de diversos orígenes en la secuencia sedimentaria de la cuenca (por ejemplo, aguas meteóricas o de deshidratación producto de diagénesis y metamorfismo).

Respecto a los ligandos implicados en el transporte de los metales, aunque los complejos bisulfurados y organometálicos han sido propuestos, solo los complejos clorurados han sido considerados como los más probables transportadores de metales base para los fluidos mineralizantes de los MVT.

Yardley (2005) establece un *threshold* mayor o igual a 10% wt para las salmueras de cuencas sedimentarias para presencia de Zn y Pb en fluidos sedimentarios en condiciones formadoras de MVTs.

Además, hay abundantes cálculos termodinámicos que muestran complejos clorurados como los principales ligandos metálicos para los fluidos mineralizantes de MVTs.

El contenido de Cl y otros solutos mayores en las Inclusiones Fluidas de las mineralizaciones están derivados principalmente de la evaporación subaérea de agua de mar, y en menor proporción, de la disolución de minerales evaporíticos (principalmente halita) en la subsuperficie (Leach *et al.*, 2010).

El Ge se encuentra enriquecido usualmente en sulfuros hospedados en rocas sedimentarias (Bernstein, 1985). Su comportamiento geoquímico es muy variable, ya que, por ejemplo, en silicatos y en presencia de Fe-Ni es siderófilo, de otra manera, es altamente litófilo. Además, entre los silicatos, se concentra en los menos polimerizados, tales como el olivino, es decir, tiende a ser compatible.

En yacimientos hidrotermales, el Ge tiende a enriquecerse principalmente tanto en los sulfuros como en los minerales con F.

Las concentraciones más altas de Ge ocurren en sulfuros de Zn, Cu y en lignito, carbón. En lo que respecta a rocas ígneas, no hay diferencia significativa en el Ge de rocas máficas o félsicas.

Los carbonatos sedimentarios están empobrecidos en Ge, con abundancias promedio de 0.09 ppm. (Burton *et al.*, 1959)

Respecto a los yacimientos de sulfuros hidrotermales de bajas a moderadas actividades de S, el Ge se concentra en las esfaleritas en concentraciones alrededor de 3000 ppm (Bernstein, 1985).

En yacimientos de sulfuros con actividades de S más altas, el Ge puede formar sus propios sulfuros, particularmente con el Cu, o en sustitución con As, Sn u otros metales en sulfosales.

Respecto a su procedencia, el Ge de los fluidos hidrotermales probablemente provenga de enriquecimiento durante la cristalización fraccionada de fluidos magmáticos, o también debido a incorporación de Ge a partir de las rocas caja, particularmente aquellas que contienen materia orgánica. Esta segunda hipótesis es la más probable para los yacimientos como los MVT (Bernstein, 1985). También se enriquece particularmente en óxidos e hidróxidos de Fe y Mn.

Debido a sus propiedades químicas, se sustituye isomórficamente con el Si en silicatos.

El Ga no ocurre como un metal nativo y forma muy pocos minerales, como la gallita (CuGaS_2), pero el Ga ocurre en la naturaleza principalmente como un constituyente traza sustituido por el Al (White, 2018). Es obtenido como subproducto de procesamiento de bauxitas y menas de Zn (tales como la esfalerita).

El In^{3+} forma complejos clorurados más estables que los demás elementos de su grupo en la tabla periódica (tales como Al^{3+} y Ga^{3+}), pero sus complejos hidroxilados tienen una estabilidad intermedia comparado con los demás elementos de su grupo (Baes y Mesmer, 1986).

c. Geoquímica mineral

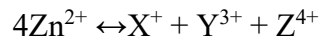
Composición geoquímica de la pirita (FeS_2)

Baya *et al.* (2021) encontró que, en presencia de Ni y As, la pirita precipita más rápidamente con el Ni, ya que el Ni se incorporaría a la estructura de los FeS precursores de pirita, mientras que el As interactúa con polisulfuros y forma tio-As, precipitando sobre las superficies de FeS e impidiendo su nucleación.

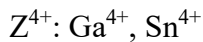
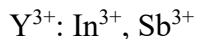
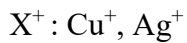
Composición geoquímica de la esfalerita (ZnS)

La esfalerita puede albergar Fe, Cd, Ga, Ge, Mn en solución sólida. También puede albergar Ni (Cook *et al.*, 2009), Hg y Se (Sokol *et al.*, 2021), Co, Pb, Sn (Ye *et al.*, 2011; Radosavljević *et al.*, 2016), Tl, As (Stoiber, 1940), especialmente en yacimientos de baja temperatura), Te (Maslennikov *et al.*, 2013), Cu, In, Sb, Sn, Ag (Schirmer *et al.* 2020), quien a su vez explica, mediante el mecanismo de sustitución acoplada $2\text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{Cu}^+ + \text{In}^{3+}$ la incorporación conjunta de Cu e In, a la vez que menciona que estos dos elementos muestran una correlación positiva. La proporción de incorporación por sustitución de Cu por Sb no está totalmente definida. El contenido de Ag en esfalerita en depósitos volcanogénicos de metales base varía de <1 a 100 ppm (en promedio alrededor de 25 ppm), mientras que las esfaleritas de MVTs contienen hasta 500 ppm de Ag (Petruk, 2000).

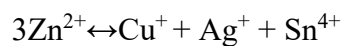
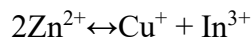
Debido al mecanismo de sustitución acoplada explicado por Schirmer *et al.* (2020), se pueden correlacionar las concentraciones de algunos cationes monovalentes (Cu, Ag) y trivalentes (In, Sb) e incluso tetravalentes (Ga, Sn) mediante la ecuación:



Donde



Otros modelos de sustitución acoplada son los explicados por Murakami y Ishihara (2013):

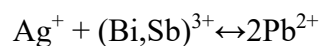


La esfalerita pobre en Fe es el mineral más importante de los que contienen Ge (Holl *et al.*, 2007).

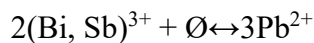
Resultados de SEM muestran que los colores más oscuros se correlacionan con un incremento del contenido de Fe (2-6% wt), encontrándose este en estado ferroso (Hinzer, 1996; L'Heureux, 2000). De esto se puede deducir que las esfaleritas oscuras son pobres en Ge. Sin embargo, Cook *et al.* (2015) encuentra que el Ge se enriquece conjuntamente con el Fe, y que además contiene cantidades medibles de As, Pb y Tl. También encuentra que el Ge es preferentemente incorporado en la esfalerita rica en Fe con complejidad textural y grano muy fino. Además, Cook *et al.* (2015), ante la ausencia de evidencia de sustitución acoplada con algún elemento monovalente, propone que el Ge^{+4} se sustituye por Zn^{+2} , Fe^{+2} con vacancias en la estructura para compensar el balance de cargas. Establece además que no está claro el mecanismo de sustitución necesario para esta hipótesis. Es importante destacar que estas esfaleritas son aciculares y considera que se han formado inicialmente como wurtzita (variedad de alta temperatura) y posteriormente se han transformado en esfalerita.

Composición geoquímica de la galena (PbS)

George *et al.* (2015) reconoce la presencia de Ag, Bi y Sb en galena mediante el mecanismo de sustitución acoplada:



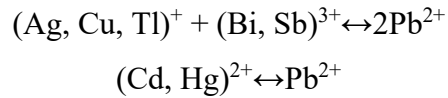
Sin embargo, dado que existe una pobre correlación entre Ag y (Bi + Sb) cuando estos últimos están presentes a grandes concentraciones (superiores a 2000 ppm), sugiere que las vacantes en la celda cristalina de la galena también se encuentran implicadas, según la ecuación:



Donde:

Ø: Sitio vacante en la celda cristalina

También explica los mecanismos de incorporación de Cu y Tl, así como de Cd y Hg, mediante la sustitución acoplada y la sustitución isovalente, respectivamente:



Además, George *et al.* (2015) menciona la presencia de Sn en galena y, las galenas en las que realiza sus estudios composicionales, pertenecen a yacimientos epitermales.

Zendelovska *et al.* (2000) reporta presencia de Co, Ni y Cr en galena, mientras que Baele *et al.* (2021) reporta la presencia de As. Boyle (1979) reporta presencia de Te (hasta 1000 ppm) en las galenas del distrito minero Yellowknife en Canadá.

Zonación composicional

La zonación composicional, tal como el bandeamiento en esfaleritas es un fenómeno común entre los yacimientos MVT (L'Heureux y Fowler, 1999). Se muestra a manera de bandas alternadas blancas, amarillas, marrones, naranjas y negras, de aproximadamente 100 μm de espesor. Se ha interpretado en ocasiones que este bandeamiento es correlativo entre cristales sobre grandes distancias (McLimans *et al.*, 1980).

Trabajos anteriores, tales como el de Roedder (1968) interpretaron las texturas como resultado de precipitación de geles o coloides, llamados anillos de Liesegang.

Esfaleritas del MVT Pine Point en Canadá muestran un bandeamiento distintivo que, a diferencia de lo que se observa en una plagioclasa, no es debido a una alternancia o paralelismo de la composición química a las caras de crecimiento en un cristal individual. En vez de esto, cada banda se conforma de miles de cristales aciculares (de escala micrométrica) orientados con sus ejes más largos perpendiculares al bandeamiento. Algunas bandas pueden extenderse a través de más de un intercrecimiento botroidal, mientras que otras terminan o se bifurcan en *clusters*. En general es difícil correlacionar estos bandeamientos a escala centimétrica. La variación en el color es causada por cambios en la relación Fe/Zn en la esfalerita.

2.2.2 Yacimientos tipo Mississippi Valley

a. Definición de yacimiento Mississippi Valley Type.

Los yacimientos Mississippi Valley Type (MVT) son definidos como depósitos de Zn - Pb \pm fluorita \pm baritina, albergados en rocas carbonatadas depositadas en márgenes de plataforma tectónicamente estables, estratoligados, de baja temperatura (Fontboté y Boni, 1994, Misra, 2000), siendo denominados así por haber sido reconocidos y estudiados en detalle por primera vez en el valle del río Mississippi en los Estados Unidos centrales.

Fontboté y Boni (1994) señalan adicionalmente que estos depósitos, tras una observación cercana a escala de afloramiento y muestra de mano, presentan también estructuras que son cortantes a la estratificación.

b. Modelos genéticos

Los depósitos MVT han sido ampliamente debatidos sobre su origen syngenético, diagenético temprano o epigenético, o incluso de origen magmático. Una recopilación histórica sobre los modelos genéticos propuestos para los MVT se encuentra en Brown (1970). En la actualidad, los estudios de Inclusiones Fluidas han mostrado que los fluidos son similares a aquellos de campos petrolíferos (Roedder *et al.* 1963), y se sugiere que se han formado por múltiples fluidos de fondo de cuenca con azufre reducido y contenido metálico (Dunham, 1966).

Leach *et al.* (2001) señala la relación de la génesis de los MVT con eventos tectónicos corticales importantes. A su vez, muestra que los fluidos se han derivado principalmente de agua de mar evaporada y ha sido conducido hacia las plataformas carbonatadas por grandes eventos tectónicos. La datación radiométrica ha permitido contrastar esta hipótesis, tal como señalan Leach *et al.* (2001).

c. Características petromineralógicas

Estilos de mineralización

Reemplazamiento (Masivo, semi-masivo, diseminado)

Un reemplazamiento masivo se da cuando la mineralización ha reemplazado por completo a la muestra. El reemplazamiento semimasivo se da cuando el reemplazamiento ha sido por partes, mientras que la diseminación se da de manera puntual y distribuida.

Relleno (venillas, vetas, cemento de brechas, botroidal)

El relleno se da en espacios previamente vacíos. Estos espacios otorgan el espacio suficiente como para que precipiten minerales en texturas tales como la Botroidal. También se da un relleno en fracturas preexistentes, a maneta de vetillas, vetas, y también en espacios producto de trituración tal como en las brechas, siendo la mineralización parte del cemento de la brecha.

d. Paragénesis y secuencia paragenética.

Definición de paragénesis y secuencia paragenética

Se entiende por paragénesis a las características de las asociaciones minerales que muestran relación de temporalidad, presumiblemente en equilibrio químico (White, 2018). Secuencia de formación de minerales asociados en rocas y suites de rocas (Craig y Vaughan, 1994).

Su empleo clásico se da para describir el orden temporal de precipitación mineral en un yacimiento (secuencia paragenética). Se encuentra estrechamente relacionada al concepto de zoneamiento mineral, en el que la variación ocurre en el espacio, más que en el tiempo.

Secuencias paragenéticas de yacimientos Mississippi Valley Type representativos

Las paragénesis de los MVT varían desde excepcionalmente simples hasta multi-estadios complejos que resultan de la complejidad geoquímica y evolución de los sistemas hidrotermales (Leach et al., 2010).

Los distritos o yacimientos paragenéticamente complejos están relacionados a múltiples eventos hidrotermales mineralizantes (por ejemplo, el distrito de Viiburnum Trend, en Missouri, Estados Unidos) cuya paragénesis de sulfuros se encuentra entre las más complejas (Heyl, 1983).

Es común que en los yacimientos de un mismo distrito el tener una paragénesis similar, en un área de miles de Km² (Leach, 1994).

Una paragénesis global muy generalizada basada en Leach et al. (2010) consiste en un estadio de esfalerita temprana rica en elementos traza, seguido de un estadio de esfalerita ± galena ± galena tardía.

Los sulfuros de Fe, si es que los hay, frecuentemente ocurren como estadios discretos en las fases tempranas, a manera intermitente en la paragénesis, pero más comúnmente en los estadios tardíos y comúnmente en los límites laterales de los yacimientos.

2.2.3 Inclusiones fluidas y microtermometría

Las inclusiones Fluidas son fluidos hidrotermales homogéneos atrapados en la estructura cristalina de los minerales durante su formación. Dentro de las inclusiones fluidas pueden cristalizar fases sólidas o minerales adyacentes (Minerales hijos).

El término “inclusión fluida” se refiere a cualquier inclusión que ha atrapado una fase que era un fluido a la temperatura y presión de formación, independiente del estado de fase de la inclusión.

Debido a diversas evidencias, se muestra que las inclusiones fluidas han conservado las propiedades químicas y físicas de las soluciones originales, y se considera muestras directas de volátiles. Es así que las inclusiones fluidas permiten obtener información de temperatura, presión y composición general del sistema hidrotermal en el que se formó el mineral. Para ello en laboratorio se calienta la inclusión fluida hasta el punto en que

desparece la burbuja y se registra esa temperatura, la cual es conocida como temperatura de homogenización (T_h); dicha temperatura es la temperatura mínima de atrapamiento del fluido hidrotermal. La temperatura de atrapamiento menos la temperatura de homogenización es igual a la corrección por presión. En depósitos de bajas temperaturas y poca profundidad con fluidos salinos y densos, generalmente la corrección por presión no excede de 25 °C. Sin embargo, en minerales formados a altas temperaturas a partir de fluidos de baja salinidad y a profundidades mayores de 10 km, la corrección puede exceder 300 °C. (Maksaev, s.f.)

Si bien las inclusiones fluidas son comunes y se pueden dar en minerales claros y opacos, los estudios se realizan principalmente en minerales transparente como cuarzo, calcita y esfalerita.

a. Tipos de inclusiones fluidas.

Las inclusiones fluidas son clasificadas según diversos parámetros.

Según su morfología

La morfología de las inclusiones fluidas está parcialmente controlada por la cristalografía del mineral encajante. Hay irregulares, regulares, ovoides, tabulares.

Según la naturaleza de la inclusión

Existen en la literatura diversas clasificaciones. Nash (1976) clasifica las inclusiones fluidas según el tipo de fase que contiene en los siguientes tipos.

- Tipo (I) aquellas que contienen fases líquidas (Na Cl, Ca, K, Mg, SO, Al, Li) con pequeña burbuja de vapor, sin minerales hijos, rico en agua, < 26% en peso de Na Cl. Originadas por fluido subsaturado.

- Tipo (II) Líquidas con fases gaseosas (H_2O , CO_2), sin minerales hijos. Fluido original rico en vapor. Se homogenizan a líquido al calentarlas.
- Tipo (III) Polifases (líquido + vapor + sólidos) contiene cristales hijos salinos. Fluido original saturado, con $> 26\%$ NaCleq. Se homogenizan a vapor.
- Tipo (IV) Puede contener líquido o vapor carbónicos, generalmente presentan doble burbuja, porque incluye líquido rico en H_2O y líquido rico en CO_2 y vapor + CO_2 gaseoso, además de, minerales hijos. Existen dos subtipos (a) fluido subsaturado al atrapamiento; al calentarlas desaparece primero la sal y luego la burbuja y (b) fluido saturado al atrapamiento: al calentarlas desaparece primero la burbuja y luego la sal.
- Tipo (V) Contiene CO_2 líquido con vapor, sin minerales hijos. Contienen agua líquida, CO_2 líquido y una burbuja pequeña de vapor. Corresponde a un fluido subsaturado en sales y rico en CO_2 .

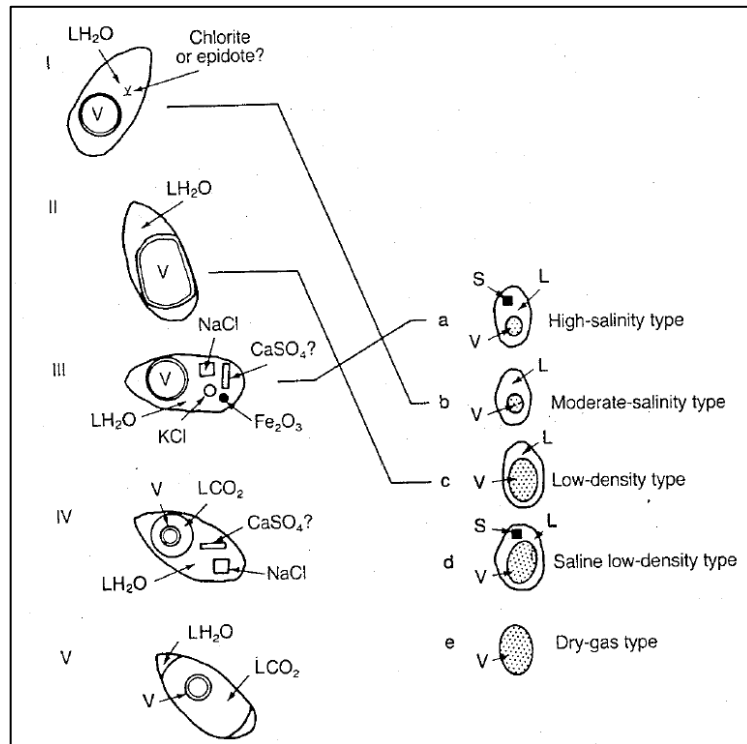


Figura 2. 3 Tipos de Inclusiones fluidas. L= líquido, V= vapor.

(Tomado de Nash, 1976)

Algunos autores sostienen que la clasificación de Nash (1976) presenta ambigüedad y que la descripción debe hacerse en base a las fases presentes a temperatura ambiente y el modo de homogenización. Por lo tanto, las inclusiones de tipo I de Nash (1976) se denominarían bifásicas, IF acuosas ricas en líquido que se homogenizan a la fase líquida; tipo II como bifásicas, FI acuosas ricas en vapor que se homogeneizan a la fase de vapor; y tipo III como inclusiones que contienen halita.

Según su origen

Genéticamente podemos clasificar las inclusiones fluidas en 3 tipos que son las primarias, secundarias y pseudosecundarias (Figura 2.2).

Inclusiones fluidas Primarias son aquellas que fueron atrapadas durante el crecimiento del mineral que los contiene; mientras que las inclusiones fluidas Secundarias fueron atrapadas durante el sellado de fracturas posteriores al crecimiento mineral, se encuentran generalmente en planos abiertos o cerrados, por ello es importante distinguir muy bien entre ambos tipos ya que generalmente se busca analizar las inclusiones primarias.

El tercer tipo son las inclusiones pseudosecundarias, que se forman con el crecimiento del cristal en microfracturas o planos de crecimiento.

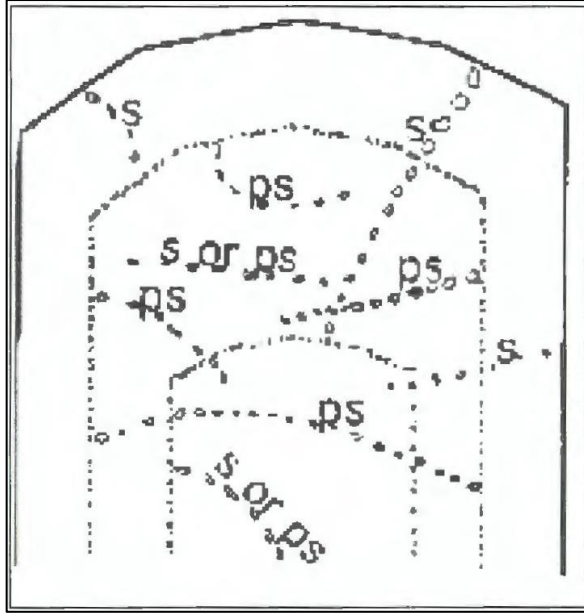


Figura 2. 4 Inclusiones secundarias y pseudosecundarias

Tomado de (Goldstein & Reynolds, 1994).

b. Familias de Inclusiones Fluidas (FIAS).

El término FIAS o familias de inclusiones fluidas es aplicado a un grupo de inclusiones fluidas que tienen las mismas características, nos permiten identificar secuencias paragenéticas (Goldstein & Reynolds, 1994).

Requisitos para la validez de un estudio de Familias de Inclusiones Fluidas

Antes de que cualquier FIA pueda usarse para estudiar la evolución térmica y química de un sistema geológico, uno debe estar seguro de que las inclusiones han atrapado un fluido representativo de ese presente en el momento de la formación de inclusión y no se han reequilibrado después de la formación (Bodnar, 2003a). Para lograr esto, hay que probar las inclusiones de adherencia de “Reglas de Roedder”, que establecen que:

- Las inclusiones atraparon una fase única, homogénea.
- Las inclusiones representan un sistema isocórico (volumen constante).
- Después de la captura, nada ha sido añadido, o retirado de, las inclusiones.

La mayoría de los depósitos minerales se pueden caracterizar mediante la petrografía de inclusiones fluidas. Composición, forma, tamaño, relación entre líquido-vapor y origen son parámetros utilizados para diferenciar muestras originadas en profundidades someras (<1 km), intermedias (1 a 4 km) y profundas (>4 km). (Korzeniewski, 2002, p.14)

c. Microtermometría

La microtermometría es la base del estudio de inclusiones fluidas, que consiste en la observación de los cambios de las fases en inclusiones fluidas (IF) en laboratorio, bajo condiciones de calentamiento y enfriamiento controladas.

La microtermometría de inclusiones fluidas es una técnica analítica con multitud de aplicaciones, tanto en estudios académicos como en exploración minera. Con los datos obtenidos tal como los rangos de temperatura o de salinidad genéricos se puede orientar el tipo de yacimiento mineral (Figura 2.3) (Camprubí, 2010).

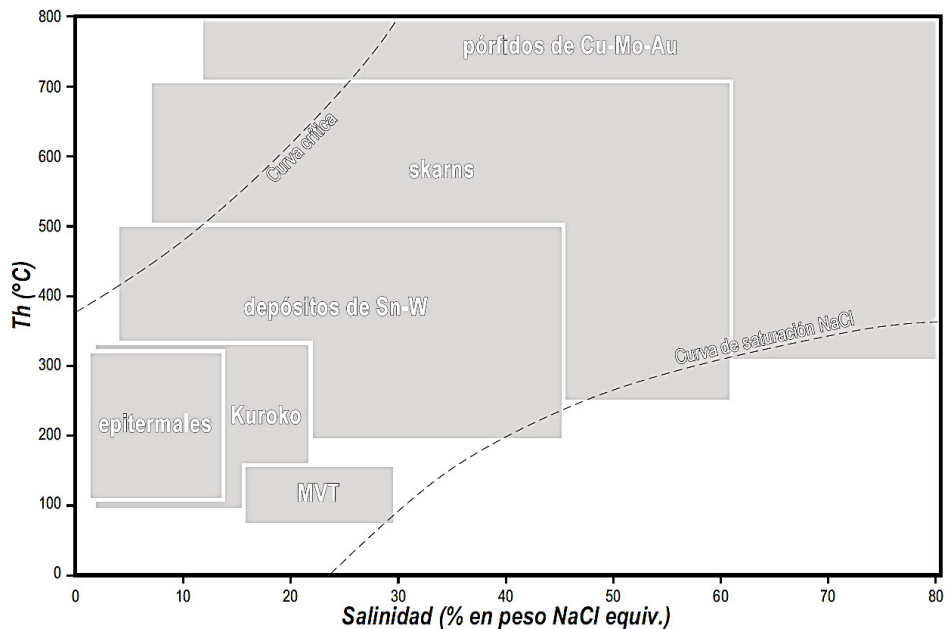


Figura 2. 5 Rangos de temperatura y salinidad para tipos de depósitos minerales. Adaptado de Wilkinson (2001).

Estimación de la salinidad

Debido a que los fluidos hidrotermales son soluciones salinas es de gran importancia la determinación de la salinidad a partir del estudio microtermométrico.

Bifásicas

La ecuación revisada a partir de Hall *et al.*, (1998) y Bodnar (1994)

Salinidad (% wt.) = $0 + 1.78*(T_m) - 0.0442*(T_m)^2 + 0.000557*(T_m)^3$ (Valores similares a los obtenidos por la ecuación de Potter *et al.*, 1978) T_m es la temperatura de fusión del hielo en °C (según Bodnar (1994))

% peso NaCl eq. Para sistemas con fases solidas multifásicas T_s (°C) = temperatura de disolución de la halita

Ecuación de solubilidad de halita determinada por Sterner *et al.*, (1988):

Salinidad (% wt.) = $26.242 + 0.4928(T_s/100) + 1.42*(T_s/100)^2 - 0.223*(T_s/100)^3 + 0.04129*(T_s/100)^3 + 6.295*(10^{-3})*(T_s/100)^6 + 1.1112*10^{-4}*(T_s/100)^7$

Para hidrohalita (según Bodnar, 1994)

%wt. NaCl = $26.271 + 0.181*T_m + 0.002*T_m^2$

Donde T_m es temperatura de fusión del hielo en °C.

Cuando no hay sales (sólidas) en la inclusión, la salinidad puede determinarse por la fórmula planteada por Potter (1977):

% peso NaCl eq. = $1,76958q - 4,2384 \times 10^{-2}q^2 + 5,2778 \times 10^{-4}q^3 \pm 0,028$

NaCl eq. Molar = $0,30604q - 2,8598 \times 10^{-3}q^2 + 4,8690 \times 10^{-6}q^3 \pm 0,007$

q = temperatura en °C a la que se funde el último cristal de hielo en la inclusión.

La fórmula permite calcular la salinidad en el rango $-20,8^\circ\text{C} < q < 0^\circ\text{C}$ de temperaturas de fusión.

En inclusiones fluidas saturadas que contienen fases sólidas de sales hay que calentarlas para disolver la fase sólida y con la temperatura a la que se disuelve el último cristal de sal se puede determinar la salinidad por la fórmula:

% peso NaCl eq. = $26,218 + 0,0072t + 0,000106t^2 \pm 0,05$

t = temperatura a la que el último cristal de sal se disuelve en la inclusión (en este caso no es la temperatura de fusión; hay que calentar la inclusión para que la sal se disuelva).

También puede estimarse la salinidad de inclusiones fluidas utilizando la temperatura de disolución de la halita o silvita del gráfico de Shepperd *et al.* (1985).

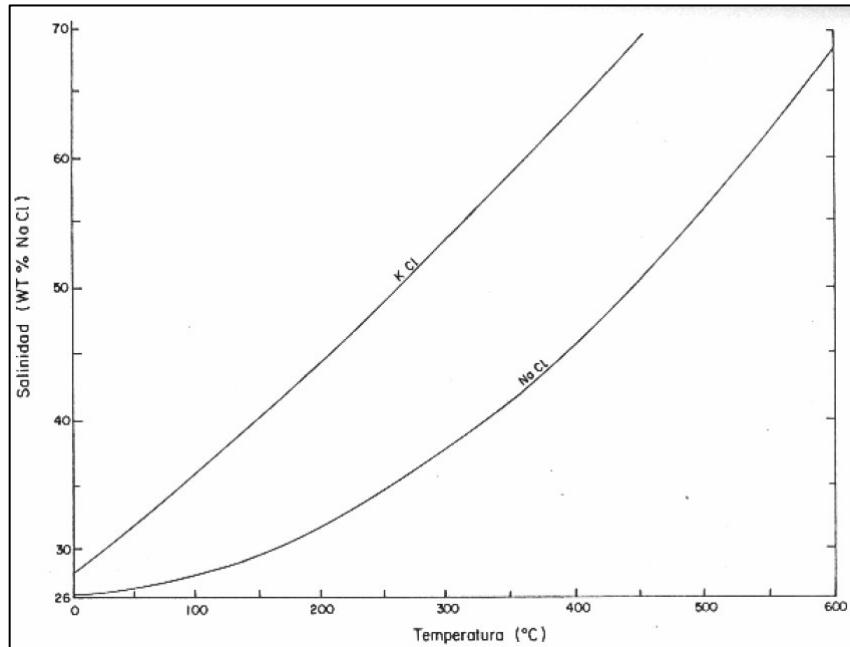


Figura 2. 6 Gráfico de Shepperd et al. (1985) indicando las curvas de solubilidad para NaCl y KCl; en el eje X temperatura de disolución de halita o silvita y en el eje Y salinidad del fluido en la inclusión.

Estimación de la presión y la profundidad.

Si existió ebullición coexistirán inclusiones fluidas ricas en líquido con inclusiones ricas en vapor y ambas deberían homogenizarse dentro de un mismo rango de temperatura, estas condiciones la presión de vapor puede usarse para estimar la profundidad de atrapamiento (presión) **asumiendo** condiciones de presión hidrostática (Figura 2.5).

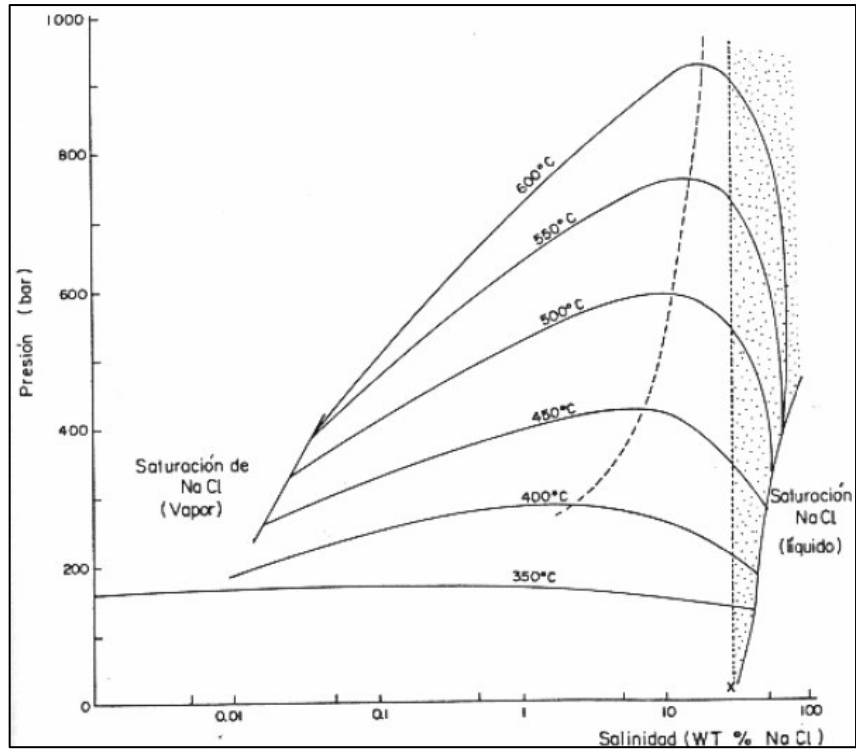


Figura 2. 7 Isotermas del sistema H₂O-NaCl, mostrando la relación existente entre la temperatura de ebullición, la presión en bares y el contenido salino de la solución (X = indica la saturación de la halita a temperatura ambiente).

Con la presión, densidad y aceleración de gravedad podemos determinar la profundidad mediante la fórmula:

$$P = hrg$$

Donde

h = profundidad

P = presión

r = densidad

g = aceleración de gravedad

Para simplificar los cálculos la profundidad (h) se expresa en m y la presión P en bares (Shepperd *et al.*, 1985).

2.3 Marcos conceptuales

a) Electron Probe Microanalysis (EPMA)

Técnica microanalítica que proporciona análisis de elementos mayores y menores de materiales sólidos, empleando una fuente de electrones y espectrómetros de rayos X (White, 2018).

b) Epigénesis

Término derivado del griego *epi+genesis* (después de la formación) que es principalmente empleado para describir un proceso geológico que involucra la adición, modificación y/o remoción de minerales de una roca posteriormente a su formación (White, 2018).

c) Evaporita

Roca compuesta por sales originalmente precipitadas de una salmuera en la superficie o cerca a esta por procesos hidrológicos conducidos por evaporación solar (Warren, 2016).

d) Inclusión fluida

Pequeñas gotas de fluidos que han sido atrapadas en minerales. Si han sido atrapadas durante su crecimiento, se conocen como inclusiones fluidas primarias, mientras que aquellas atrapadas a lo largo de fracturas que se han desarrollado y cerrado luego de la formación del cristal, se conocen como secundarias. Las inclusiones fluidas pseudosecundarias son aquellas que se han formado a lo largo de fracturas que se han desarrollado y cerrado durante el crecimiento continuo del cristal (White, 2018).

e) Fugacidad

Presión termodinámica de un gas (White, 2018).

f) Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)

La espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente es una herramienta importante para análisis geoquímico tanto de elementos como de relaciones isotópicas. Permite analizar elementos con concentraciones tan bajas como 1ppt (1 parte por trillón) o incluso menor, dependiendo del instrumento y aplicación. Esto es conseguido ionizando la muestra en un plasma inductivamente acoplado (ICP), seguido de extracción de iones hacia un espectrómetro de masas por separación y cuantificación. (White, 2018).

g) Métodos analíticos

Métodos empleados para determinar composición elemental, molecular e isotópica de materiales naturales, incluyendo rocas, fluidos, gases y sus componentes. También se emplean para caracterizar la estructura molecular o cristalina de estos materiales y los

estados de valencia de los átomos constituyentes, la naturaleza de los enlaces químicos entre ellos, y la naturaleza y velocidades de reacciones.

h) Zonación composicional oscilatoria

Apariencia organizada consistente de capas alternadas de distinta composición química paralela a las superficies de crecimiento. El zoneamiento puede ser cíclico u oscilatorio. Sin embargo, no es estrictamente periódico, sino que varía más o menos regularmente. Típicamente, las capas individuales de crecimiento son del orden de 10 μm de ancho. (Jamtveit y Meakin, 1999).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

El presente trabajo consistió en estudiar el comportamiento Geoquímico de Ga, Ge, In, Ag y su relación con la paragénesis de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco.

Esta es una investigación aplicada en la cual se observan los fenómenos tal como se dan en el contexto natural (no experimental) recolectando los datos en un solo momento, en un tiempo único (transeccional), estableciendo las relaciones entre la variable independiente y dependiente (correlacional) dentro de un enfoque cuantitativo (ya que trabaja con datos que se expresan en unidades de medida, tales como concentraciones de elementos químicos, temperaturas, salinidades).

No se estableció una relación de causalidad entre las variables, toda vez que entre las hipótesis no se estableció una relación de causa-efecto.

El diseño del método es el programa que precisa el proceso y el control de la investigación, indicándose los procedimientos y las condiciones para lograr la información necesaria que permitirá probar la hipótesis que el autor de una tesis formuló respondiendo a los problemas de investigación.

Por lo tanto, el diseño de la investigación será no experimental, transeccional, correlacional.

X: Variable independiente: Comportamiento Geoquímico de Ga, Ge, In, Ag

Y: Variable dependiente: Paragénesis de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco.

$$X \leftrightarrow Y$$

3.2 Unidad de análisis

Muestras de taladros de perforación y muestras de rocas de afloramientos de los yacimientos tipo Mississippi Valley Cañón Florida, Florcita y Soloco

3.3 Población de estudio

La población de estudio corresponde a 11 muestras de sondajes del proyecto Cañón Florida y 11 muestras de roca de los proyectos Florcita y Soloco, distribuidas de la siguiente manera: El proyecto Cañón Florida cuenta con 5 muestras del sector Karen Milagros (norte) y 6 muestras del sector San Jorge (sur). El proyecto Florcita cuenta con 4 muestras, mientras que el prospecto Soloco cuenta con 7 muestras. Las relaciones de muestras y códigos se encuentran en la tabla 5.1.

3.4 Tamaño de muestra

La muestra es una parte representativa de la población de estudio, el tamaño de la muestra es de 11 muestras de sondajes del proyecto Cañón Florida y 11 muestras de roca de los proyectos Florcita y Soloco.

3.5 Selección de muestra

Se está utilizando como muestra a la totalidad de la población, por lo que no ha habido una selección de muestra.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos, para este estudio de carácter observacional (observación simple) en el que se realizaron tomas de muestras selectivas de taladros del proyecto Cañón Florida y también se realizaron toma de muestras selectivas de afloramientos rocosos de prospectos MVT en la región Amazonas (proyecto Florcita y prospecto Soloco).

Trabajo de campo. Muestreo. Se realizó el muestreo selectivo de sondajes en el proyecto Cañón Florida con el apoyo de los geólogos de Nexa Resources y los geólogos del Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) de Alemania de los sectores Karen Milagros (norte) y San Jorge (sur). El tramo de cada muestra tiene un tamaño comprendido entre 10 a 15 cm. Las muestras fueron rotuladas según el estudio a realizar (sección delgada-pulida, inclusiones fluidas, SEM y EPMA).

Trabajo de gabinete

Laboratorio. Las fotomicrografías fueron tomadas con una cámara marca Leica modelo DFC450 C y el software LAS V.5.0. Las inclusiones fluidas fueron tomadas con platina de calentamiento y enfriamiento LINKAM THMSG 600, la platina está montada en una estación de trabajo de la marca LINKAM, con un objetivo de larga distancia de 40X y 50X con collar de corrección.

Los análisis de microscopía electrónica de barrido (Scanning Electron Microscopy-SEM) fueron llevados a cabo por el laboratorio de petromineralogía del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). El microscopio electrónico de barrido empleado es de marca Carl Zeiss y modelo EVO-MA15, el cual cuenta con detector de electrones secundarios (Secondary Electron – SE) para visualización a detalle en alto vacío (High vacuum) de topografía, detector de electrones retrodispersados (Backscattered electrons – BSE) proporcionando imagen composicional en niveles de grises y un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X (Energy – dispersive X-ray spectroscopy – EDS) el cual

brinda información cualitativa y semicuantitativa de composición. Las condiciones de medición fueron de alto vacío, con las muestras recubiertas por una fina capa de grafito de aproximadamente 10 nm. Se emplearon los detectores BSE y EDS.

Los análisis de microsonda electrónica (Electron Probe Micro - Analyzer - EPMA) fueron llevados a cabo en el Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) de Alemania por el Dr. Sebastian Fuchs, como parte de un convenio específico entre el INGEMMET y el BGR. La microsonda electrónica empleada fue del modelo JEOL JXA-8530F con emisor de campo Schottky, con un diámetro de rayo alrededor de 50 nm. El emisor de campo Schottky permite alta resolución (de hasta 3 nm de resolución en imágenes de electrones secundarios) y permite microanálisis a bajos voltajes de aceleración, pudiendo detectar todos los elementos, desde el Li hasta el U. El procedimiento de medición fue limitado a muestras compuestas predominantemente por sulfuros. Las condiciones de medición fueron un voltaje de aceleración de 20 kV y un rato de 20 nA para S, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Ag, Cd, In, Sb y Pb.

3.7 Análisis e interpretación de la información

Las muestras de mano y fotomicrografías fueron estudiadas para establecer las relaciones temporales entre las fases minerales y determinar la secuencia paragenética. Los resultados que fueron considerados para microsonda electrónica fueron aquellos entre 98% y 100% de porcentaje en peso (wt%), ya que porcentajes fuera de este intervalo están relacionado a errores en la medición debido a superficie rugosa. Se presenta una gran cantidad de datos censurados y el límite de detección varía según cada elemento; sin embargo, Romarenko et al. (2012) concluye, tras calcular los límites de detección mediante técnicas muy desarrolladas para el EPMA, que se deben considera límites de detección alrededor de 0.0005 wt% o 5 ppm para los elementos de número atómico entre 22 y 29. Los datos censurados son tradicionalmente reemplazados por el 60% del límite de detección, o se imputan datos aleatorios; sin embargo, estas prácticas pueden conducir a correlaciones espurias, ya que valores constantes o valores imputados, como reemplazo de los datos censurados, no necesariamente tienen la misma distribución que los datos no censurados

Para el tratamiento estadístico multivariado con datos censurados, Helsel (2012) recomienda el empleo de índices que categoricen a los datos en censurados/no censurados, tales como el índice de Jaccard (2001). Este índice no contabilizará a los pares de datos que se encuentren ambos censurados (censurado/censurado), y esto permite que las correlaciones basadas en datos censurados en ambos casos no tengan mucho peso. Este índice se calcula de la siguiente manera: $J(A,B) = |A \cap B| / |A \cup B|$. Donde A y B: Conjuntos de observaciones dispuestas en dos categorías distintas, siendo en este caso puntos de muestreo. Para el caso particular de dos observaciones (puntos) de muestreo (A y B), el índice puede ser calculado de la siguiente manera: $I_J = c / (a + b - c)$. Donde: a: Es el número de datos no censurados en la muestra A. b: Es el número de datos no censurados en la muestra B. c: Es el número de coincidencias de parejas no censurado/no censurado de ambas muestras (no se considera coincidencias a las parejas censurado/censurado ya que ello conllevaría a interpretaciones absurdas, por ejemplo, la ausencia de mediciones de dos variables en ambas muestras implica una similitud de 100% entre esas variables).

Un índice de Jaccard de cero significaría que no existe ninguna coincidencia de parejas no censurado/no censurado; es decir, si para dos puntos de muestreo un dato fue detectado entonces en el otro punto de muestreo no fue detectado y viceversa. Un índice de Jaccard de 1 significaría que para los dos puntos de muestreo cada dato fue detectado en ambos puntos de muestreo, dando un 100% de coincidencias y a su vez indicando que no hay ningún dato censurado.

Se construyó la matriz de índices de Jaccard para los resultados de los elementos que tengan al menos un dato no censurado y, a esta matriz, se le aplicó el procedimiento multivariado de cluster jerárquico, según recomienda Helsel (2012), quien indica que el análisis cluster vinculará las filas de la matriz que tengan la mayor similitud en un mismo cluster y las que tengan menor similitud en clusters diferentes. El algoritmo aplicado fue el método de Ward de varianza mínima (suma de los cuadrados de las distancias) dentro de un cluster, por lo que el índice de similitud para su construcción es euclideo. Para el cálculo de índices de Jaccard y construcción de los clusters jerárquicos se empleó el software libre Past ® versión 4.11 de Hammer et al. (2001). Las temperaturas de homogenización que no fueron obtenidas mediante la medición directa de inclusiones fluidas fueron obtenidas a través del Geotermómetro de Frenzel et al. (2016): GGIMFis

(Galio, Germanio, Indio, Manganeso, Hierro) mediante las composiciones de Ga, Ge, Fe, Mn, In en la fórmula:

$$T(^{\circ}C) = -(54.4 \pm 7.3) * \ln \left(\frac{C_{Ga}^{0.22} * C_{Ge}^{0.22}}{C_{Fe}^{0.37} * C_{Mn}^{0.20} * C_{In}^{0.11}} \right) + (208 \pm 10)$$

Donde C_{Ga} ; C_{Ge} ; C_{In} ; C_{Mn} se encuentran en ppm, y C_{Fe} se encuentra en wt%.

Mediante la cual Frenzel et al. (2016) encontraron un control de la geoquímica de la esfalerita sobre la temperatura del fluido, particularmente con las concentraciones de Ga ($r^2 \sim 0.40$), Ge ($r^2 \sim 0.65$), Fe ($r^2 \sim 0.30$), Mn ($r^2 \sim 0.60$), y en menor medida el In ($r^2 \sim 0.10$). Ya que no se realizó medición de Mn en los estudios de microsonda, se han asumido para la fórmula valores por debajo del límite de detección (censurados) como iguales al 60% de 0.001% wt; es decir, a 0.0006.

CAPÍTULO IV

MARCO GEOLÓGICO

4.1 Ubicación

La región Amazonas se ubica en la parte septentrional del Perú, está constituida por 7 provincias y 84 distritos; abarca un área de 39 322.31 km², geográficamente, se encuentra entre los paralelos 3°00' y 7°00' latitud sur y los meridianos 77°07' y 78°45' longitud oeste. Las coordenadas UTM equivalentes son 9226866 N – 9669185 N, y 197098 E (Zona 18 sur) – 671300 E (Zona 17 sur), Datum WGS84. (Figura 4.1).

El acceso al área de estudios se realizó por vía aérea, partiendo desde el aeropuerto Jorge Chávez (Lima) hasta el aeropuerto Shumba (Jaén), el vuelo tiene una duración de vuelo de 1 hora 45 minutos aproximadamente. Desde Jaén se continúa por carretera asfaltada de 193 km hacia la ciudad de Chachapoyas durante 3 horas con 40 min., desde aquí parte diversos caminos de herradura y trochas en distintas direcciones que conectan a los pueblos de la región, incluyendo accesos a los 3 yacimientos.

así como en el río Chusgón entre las qdas. Namin y Senolen, en el extremo sur del cuadrángulo de Bolívar. Se le asigna al Neoproterozoico Megard (1979), y Dalmayrac (1988). Le sobreyacen en discordancia angular las rocas del Paleozoico Inferior, representado por la Formación Contaya, Wilson y Reyes (1964) y Sánchez (1995) describen así a los depósitos marinos someros constituidos por lutitas, pizarras carbonatadas de color gris oscuro a negro que se intercalan con areniscas arcóscicas grises a negras, de grano fino, se exponen en las hojas de Pataz y Leimebamba; su edad ha sido establecida al Ordovícico medio en base a su contenido fósil Wilson y Reyes (1964).

En el Carbonífero-Mississippiano (Newell *et al.*, 1953), describen una secuencia de sedimentos silicoclásticos, nombrada como Grupo Ambo, estas rocas se asocian a depósitos de llanura deltaica a aluvial tidal conformados por conglomerados polimícticos basales intercalados con niveles de areniscas arcóscicas, seguido de una gruesa secuencia de areniscas limolitas pardo-verdosas, englobadas en un contexto de cuenca de trasarco, estas rocas se exponen en las hojas de Pataz y Tayabamba, Wilson y Reyes (1964). reportan niveles conglomeráticos dentro de esta secuencia, más al norte, entre Chachapoyas y Bolívar, similares afloramientos son descritos por Sánchez (1995). De igual manera en el cuadrángulo de Huayabamba. Durante el Pensilvaniano se emplaza un arco magmático relacionado a una margen activa de Gondwana occidental Diaz *et al.* (2000), representado por tobas y brechas dacíticas, riolíticas y andesíticas de la Formación Lavasén Wilson y Reyes (1964). Coetáneamente en el Pensilvaniano, hasta el Pérmico inferior, se inicia la transgresión marina que va desde el norte hasta la faja Subandina, da lugar a los depósitos de plataforma Carbonatada Marina de Trasarco, comprende a los grupos Tarma (Dunbar y Newell, 1946) y Copacabana (Cabrera La Rosa *et al.*, 1936), seguidamente se produce un cambio en el régimen deposicional, los ambientes marinos quedan atrás para dar paso a la sedimentación continental de facies fluviátiles este cambio drástico produce una discontinuidad sedimentaria en el contacto entre los Grupos Copacabana y Mitu, lo que indica la desestabilización del ambiente deposicional continental que fue producida por la agudización del régimen extensional que dará lugar a emplazamiento del rift que controlará la evolución de las cuencas Mitu y Pucará

En el Pérmico superior a Triásico medio se dio lugar la depositación de una gruesa secuencia silicoclástica de coloración rojiza con niveles volcánicos denominada como Grupo Mitu Mc Laughlin (1924), que también fue reconocida por Newell, Chronic y Roberts (1953), esta unidad aflora en los cuadrángulos de Bagua Grande, Chachapoyas, Leimebamba y Bolívar. Este rift del Pérmico superior a-Triásico se desarrolló diacrónicamente en la Cordillera Oriental del Perú (Megard,1978; Laubacher, 1978; Noble *et al.*, 1978; Dalmayrac *et al.*, 1980; Kontak *et al.*, 1985; Rosas y Fontboté,1995; Rosas *et al.*, 1997; Jacay *et al.*, 1999). El eje principal del sistema rift podría coincidir con el eje de la Cordillera Oriental (Sempere *et al.* 2002). Luego en el Triásico medio se da inicio una importante transgresión marina que va desde Ecuador hasta el Perú central, que llegó hasta la región de Apurímac (Dalmayrac *et al.*, 1980), debido a la existencia del alto estructural Manu-Fitzcarral-Abancay controlado por los sistemas de fallas Patacancha-Tamburco y Curahuasi-Chincheros-Licapa (Carlotto *et al.*, 2004). Esta sedimentación marina dio lugar a una secuencia mayormente carbonatada de edad Triásico-Jurásico, que dio lugar a Grupo Pucará Mc Laughlin (1924), Harrinson (1944). En la región de Amazonas, estas unidades han sido identificadas a los cuadrángulos de Lonya Grande, Chachapoyas, Leymebamba y Bolívar, está compuesta por calizas grises a grises oscuras micríticas y biomicríticas con abundantes nódulos de forma irregular, Chambara, le suprayacen calizas y limoarcillitas marrones intercaladas con grises, bituminosos, con nódulos calcáreos de la Formación Aramachay; le sobreyacen las calizas micríticas color gris a beige con intercalaciones de limoarcillitas de colores gris claro, verdoso a amarillentas, Condorsinga. Estas unidades fueron datadas en base a los fósiles descritos como ammonites, bivalvos y gasterópodos que corresponden al Noriano a Pliensbachiano. A finales del Jurásico medio y comienzos del superior se produce la regresión marina la cual estuvo acompañada por un rápido levantamiento e intensa erosión de las calizas del Grupo Pucará que dio lugar a la acumulación de depósitos de talud en una escarpa pronunciada; de la Formación Corontachaca

En esta región nororiental durante el Jurásico superior continúan las condiciones de regresión marina y levantamiento de la paleosuperficie lo que resulta en una importante sedimentación fluvial a aluvial compuesta por lodolitas, limolitas y areniscas rojizas intercaladas con areniscas grises claras a marrones claras; La Formación Sarayaquillo

Kummel (1946), en la región de Amazonas estas rocas afloran en los cuadrángulos de Jumbilla, Chachapoyas y Rioja. Se le asigna una edad del Jurásico medio a superior debido a los restos paleontológicos encontrados fueron troncos y tallos indeterminados, pero teniendo en cuenta que suprayace a la Formación Condorsinga del Jurásico inferior y en otros casos a la Formación Corontachaca e infrayace al Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo inferior. Mientras que en ese mismo periodo de tiempo al borde oeste de esta región continuó la actividad volcánica, este magmatismo de arco volcánico se dio en una cuenca marginal, como evidencia de ello se tiene una secuencia piroclástica, andesítica y dacítica. La Formación Oyotún Romeuf *et al.*, (1997). Esta unidad aflora en la hoja de Lonya Grande. Este levantamiento que se dio durante el Jurásico medio a Cretácico inferior en el norte del Perú produjo la configuración de una alto estructural denominado como Arco del Marañón el cual separa en dos a esta cuenca: una Noroccidental (Grupo Goyllarisquizga) y otra Nororiental (Grupo Oriente), teniendo al centro este bloque levantado. En esta región en la zona Interandina y Cordillerana la sedimentación perteneciente al Cretácico Inferior está representada por las rocas sedimentarias silicoclásticas del Grupo Goyllarisquizga, Mc Laughlin (1924). Por su parte Benavides (1956) la subdividen en cuatro formaciones: Chimú, Santa Carhuaz y Farrat. Las rocas de esta unidad afloran en la hoja de Bolívar. Durante este mismo periodo se da el ingreso del mar el cual provino de Ecuador y que se extendió a lo largo de la Faja Subandina del Perú esto produjo la depositación de facies deltaicas como evidencia de ello se tiene afloramientos de areniscas cuarzosas blanquecinas y grises de grano grueso con intercalaciones de limoarcillitas, limolitas con estratos de contenido de material carbonoso estas secuencias fueron asignadas al Grupo Oriente Kummel (1946). Luego Zegarra y Olaechea (1970), determinan al menos tres unidades formacionales Cushabatay, Esperanza y Agua Calientes para este grupo. En el área de estudio esta unidad aflora en los cuadrángulos de Jumbilla, Rioja y Chachapoyas y se le asigna una edad tentativa del Cretáceo inferior.

Durante el Albino inferior se inició a una transgresión en todo el territorio peruano dando a lugar a litofacies calcáreas de las formaciones Inca y Pariahuanca. Estas a su vez, subyacen a las secuencias del Albiano medio y superior conformadas por calizas,

areniscas calcáreas, margas y lutitas grises de las formaciones Chúlec, Pariatambo y Chonta; las mismas que subyacen a rocas de los grupos Pulluicana y Quilquiñan. Estas condiciones se mantuvieron con transgresiones y regresiones para el gran parte del Cretáceo superior Benavides (1956) secuencias carbonatadas de las formaciones Cajamarca y Celendín. Posteriormente entre el Coniaciano-Santoniano, se produce el retroceso de las aguas de mar y se inicia la sedimentación de facies playas y depósitos eólicos, esto marca el fin de la sedimentación marina Jaillard (1992), Jacay (2005) como se evidencia en toda la región, posteriormente al Maestrichtiano se produce el retroceso de las aguas de mar y se inicia la sedimentación de facies playas y depósitos eólicos Formación Vivian (Kummel (1946)). En la región de Amazonas esta unidad aflora en la hoja de Rioja.

En el Cretáceo Superior (Campaniano superior a Maestrichiano) se encuentran las secuencias compuestas por depósitos fluviales ligados a una cuenca marina poco profunda como las series rojas que pertenecen a procesos de inversión tectónica y transición a cuencas de antepaís como lo evidencias las formaciones Cachiyacu, Chota y Uchpayacu o Huchpayacu y el Grupo Huayabamba, Broggi (1942). Estas unidades afloran en los cuadrángulos de Lonya Grande, Leymebamba y Rioja.

Posteriormente entre el Paleógeno y Neógeno las condiciones continentales se mantienen y como resultado de ello se da la sedimentación formaciones Yahuarango, Cajaruro, El Milagro e Ipururo que corresponde al paso de un ambiente de llanura de inundación a un ambiente fluvial distal, por su parte en la cuenca Huallaga se atribuye un ambiente de meandros fluviales (Kummel, 1946). Para el Mioceno se tienen a las formaciones Nieva, Numpatkay, Bellavista, además se tiene al Grupo Chiriaco. Estos sedimentos comprenden a un sistema fluvial con llanuras de inundación. Broggi (1942). Los depósitos glaciárfuviales, aluviales, coluviales, fluviales y biogénico, se agrupan en el ambiente tectónico denominado como depósitos clásticos del Pleistoceno – Cuaternario.

4.2.2 Rocas intrusivas

En la zona de estudio; las evidencias de actividad magmática están relacionadas a intrusivos paleozoicos, como los que se exponen en la Cordillera Oriental del sur del Perú. Estos intrusivos de edad carbonífera (C-mgr, gr); cortan a las rocas del Paleozoico; que afloran a manera de stock se encuentra controlados por el sistema de fallas inversas que pone en contacto a las rocas del Complejo Marañón con respecto a las secuencias sedimentarias del Grupo Pucará y rocas del Cretáceo, como se puede ver en la localidad de Cuchapampa y Balsas cuadrángulos Chachapoyas y Leymebamba respectivamente (Sánchez, 1998). En este trabajo, no se han recolectado muestras para estudios litogeoquímicos para este tipo de rocas intrusivas debido a que no forman parte de esta investigación.

4.2.3 Evolución tectónica y geológica

El área de estudio se encuentra flanqueado por dos importantes dominios geotectónicos Carlotto *et al.*, (2009) Cordillera Oriental y Faja Subandina. Estos dominios están controlados por los sistemas de fallas regionales como Almendra - Jumbilla, además se tiene otras fallas como Pedro Ruiz, Soloco, entre otras que se disponen en sentido NNO SE.

En esta zona de estudio afloran rocas sedimentarias en su mayoría, que están acompañadas en forma subordinada por rocas metamórficas e ígneas; cuyo rango de edades van desde el Neoproterozoico al reciente.

Asociado al Proterozoico se tienen las rocas del Complejo Marañón unidad que fue estudiada por Steinmann (1929), quien identificaron una serie de afloramientos de mica esquistos, meta-andesitas y filitas negras rocas metamórficas de bajo grado. Haerberlin (2002) en la Cordillera Oriental que durante el precámbrico estas rocas se ubicaron en el borde noroeste del Cratón Amazónico, estas rocas fueron parte del supercontinente proterozoico de Rodinia, la fragmentación de este mega contiene se inició durante el Neoproterozoico a partir de una sutura rift ubicada a lo largo de Laurentia - Gondwana

oriental (Ramos y Alemán, 2000). Este evento magmático dio como resultado a las rocas ultrabásica y básicas; que se encuentran en el Perú central con edad de cristalización de 720 Ma. En el Ordovícico inferior estas rocas fueron deformadas alrededor de los 480 Ma por la tectónica Famatiniana que produce, además, un fuerte metamorfismo, es por ello que las rocas metamórficas infrayacen en discordancia angular a unidades del Paleozoico inferior, según las características de las rocas metamórficas, el Complejo del Marañón debe haberse formado durante el Meso a Neoproterozoico, Cobbing *et al.*, (1979).

Durante el Ordovícico inferior los mares ingresaron, desarrollándose entonces la depositación de una secuencia silicoclástica pelítica dando lugar a afloramientos de la Formación Contaya, que en la región de Amazonas fue identificada por Wilson y Reyes (1964); unidad conformada por pizarras negras con intercalaciones de cuarcitas con restos de graptolitos, esta secuencia turbidítica tiene un ancho que va de 200 a 600m; su ambiente deposicional estuvo conformada por una plataforma marina profunda a somera con relativos eventos de regresiones marinas, el ambiente geotectónico corresponde a una cuenca marina somera subsidente, relacionado a una tectónica extensional, que evoluciona a régimen compresivo en un contexto de antepaís de retroarco. Esta cuenca se extiende a lo largo de la faja Subandina y Cordillera Oriental del Perú. En esta unidad se reporta el magmatismo que se encuentra representado por pequeños afloramientos como se aprecia en el Arco de Contaya es de 150 m compuesta por una serie sedimentaria y volcánica, además esto también se registran en los pozos Pisqui 1, Coninca 1-2 y Cashiboya 1-A. Estas rocas volcánicas podrían estar relacionadas a la existencia de un margen destructivo, cuyo magmatismo fue generado por la subducción, que se dio entre ~ 490 Ma y ~ 460 Ma (Pankhurst *et al.*, 2000). Otra observación fundamental es que el magmatismo parece terminar de manera relativamente abrupta. Esto también se evidencia en Machu Picchu sur del Perú, en donde las rocas de composición granodioríticas a tonalíticas, fueron datadas por el método de U-Pb y cuyas edades oscila entre 472.2 ± 4.8 Ma y 479.9 ± 2.3 Ma; estas rocas representan un Magmatismo de Margen Activo y que se correlaciona con el ciclo Famatiniano (Ramos y Aleman 2000).

En la zona de estudio para el Ordovícico superior al Devónico no se han identificado afloramientos pertenecientes a rocas hasta el momento. La discordancia existente entre el Paleozoico superior (Missisipiano Grupo Ambo) y el Paleozoico inferior (Ordovícico Formación Contaya), es ligeramente angular ha sido observada en la hoja de Patáz por Wilson y Reyes (1964).

En el Carbonífero inferior, está representado por las rocas del Grupo Ambo Steinmann (1929). El Paleozoico superior se diferencian en dos conjuntos separados, (Dalmayrac, 1986) uno Permocarbonífero (Missisipiano inferior a Pérmico inferior) que corresponde a un ambiente geotectónico de depósitos de cuenca Trasarco del Carbonífero al Pérmico Inferior, como se aprecian en las variaciones laterales de facies que pasan de facies marinas a facies litorales y continentales grupos Ambo y Tarma los que se depositaron bajo un régimen distensivo. (Newell *et al.*, 1953). Estas secuencias consisten en una importante depositación clásticas conformada por un conglomerado polimíctico basal intercalado con niveles de areniscas arcósicas y lutitas carbonosas, intercaladas con niveles de carbón y tobas re-depositadas. En las hojas de Patáz y Tayabamba, Wilson y Reyes (1964) reportan niveles conglomeráticos, entre Chachapoyas y Bolívar. Estas rocas se depositaron bajo un régimen tectónico distensivo, que da lugar a fallas normales que afectan a depósitos de cuenca de Trasarco del Carbonífero, que fue rellenada por los sedimentos de ambiente fluvial y deltaico. Durante el Pérmico inferior el ingreso de mares procedente del norte (Ecuador), se extendieron hacia el este a la región Subandina, formando una plataforma marina somero a profunda en donde se depositaron las secuencias predominantemente calcáreas, estas secuencias del Tarma - Copacabana definida por Cabrera La Rosa *et al.*, 1936 constituido por calizas grises en menor proporción por lutitas oscuras se conservan en segmentos aislado del rift. Un amplio tramo de depocentros extensionales se produce entre la zona de cizalla de Contaya orientada al NE para el Grupo Copacabana. Entre el Pérmico medio a superior se produjo el emplazamiento de una serie de cuerpos intrusivos (266 ± 7 Ma - 250 ± 6 Ma; Miskovic *et al.*, 2009). Este evento plutónico coincide con un retroceso del vasto mar epicontinental de Copacabana, dando paso a la sedimentación continental y marino (Mc Laughlin, 1924; Steinmann, 1929).

Por su parte en el flanco oeste de la Cordillera Oriental se tiene las secuencias volcánicas de la Formación Lavasen, está constituida principalmente por riolitas, andesitas dacitas y depósitos volcanoclásticos. con excepcionales intercalaciones de rocas sedimentarias (Wilson y Reyes (1964). Durante el Mississippiano se reanuda la actividad magmática con el emplazamiento de granodioritas y volcanes dentro del Grupo Ambo, como se observa en la provincia de Pataz en el norte de Perú (Miskovic *et al.*, 2009) se emplaza un arco magmático dentro o cerca de la margen continental del supercontinente protopangea; que originó el Batolito de Pataz. Esta actividad magmática también se ha podido registrar por medio de zircones detríticos del Mississippiano seleccionados en las areniscas del Grupo Ambo, lo que sugiere la presencia de una fuente volcánica contemporánea similar a dacita; (Reitsma, 2012) postula que probablemente se trata de un depósito de flujos de caída de aire porque no hay restos de origen volcánico en los rellenos del canal de la sección Mamuera. Por su parte el batolito, el cual intruye a las rocas del Precámbrico y Paleozoico inferior, está conformada por dioritas y monzodioritas, granodioritas a monzogranitos. La naturaleza de este batolito es calcoalcalino (Schreiber, 1990).

Posteriormente en el Pensilvaniano, se da un régimen orogénico transtensional y de fractura (Schreiber, 1989; Haerberlein, 2002); que generó amplias zonas de cizallas que en el área de Pataz tiene un sentido de NNO-SSE; que permitió el emplazamiento del Arco magmático de Pataz; cuya actividad está representado por las rocas ígneas comagmáticas del Batolito de Pataz que tiene una composición metalumínica y peralumínica, mientras que las rocas volcánicas están conformada por la Formación Lavasén que son peralumínicas, unidad conformada por rocas volcánicas piroclásticas, brechas, cuerpos subvolcánicos de naturaleza dacítica, riolíticas, traquitas, traquidacitas y traquiandesitas con textura porfírica con coloraciones grises, verdosas, pardo rosadas; con escasas intercalaciones sedimentarias (Wilson y Reyes, 1964 y Sánchez *et al.*, 1995); estas rocas afloran en las hojas de Bolívar y Leimebamba. Estas rocas pertenecen al Pensilvaniano y se relacionan a un arco magmático del Pataz; este evento se dio entre los 350 a 300 Ma; lo que confirma la importancia alcanzada por la actividad magmática carbonífera, encuadrada entre 320 y 350 Ma, en dicha región. Esta actividad se dio bajo un régimen extensional.

El segundo conjunto Permo-Triásico (Pérmico medio a Triásico inferior) definido así por Dalmayrac *et al.*, (1988) que corresponde al ambiente geotectónico depósitos de continental del rift permo-triásico de trasarco y magmatismo de arco, esta unidad se conforma por rocas volcánicas, volcanoclásticas y detríticas continentales, con presencia de escasos niveles evaporíticos Mc Laughlin (1924). Estos depósitos estuvieron controlados por un régimen extensional que generó un evento de "rifting" tectónica Permo-triásica de *horsts* y *grabens* con desplazamiento sinistral, estas estructuras tienen una dirección de NNO-SSE. El magmatismo el cual es abundante se halla asociado a este régimen de distensión continental con presencia de zonas de cizallas y fallas intracontinentales Dalmayrac *et. al*, (1980). Secuencias volcánicas del Grupo Mitu del Pérmico superior- Triásico e intrusiones de similar edad, cuya afinidad geoquímica es toleítica o alcalina (Kontak et al.,1985), sugieren el inicio del proceso de *rifting* el cual se mantiene hasta el Jurásico inferior; bajo un contexto tectónica, extensional el cual fue controlada por sistemas de fallas regionales, donde sus reactivaciones habrían jugado un papel importante en la evolución de cuencas Mitu y Pucará (Dalmayrac *et al.*, 1980). Estas secuencias se encuentran discordantemente sobre el Carbonífero o directamente sobre el Paleozoico inferior. El evento magmático se dio bajo un régimen extensional el cual se relaciona a un rift intraplaca, con presencia de *grabens* hemigrabens y *horts* lo que se consideran contemporáneos con el vulcanismo alcalino del Grupo Mitu (Dalmayrac *et al.*, 1980). Sin embargo, la datación U-Pb en un zircón efectuada por Reistma (2012) ha demostrado que la extensión en el Grupo Mitu no comenzó hasta el Triásico medio, esto implica que los últimos granitoides del período Pérmico medio-tardío coinciden con un hiato en el registro sedimentario, lo que dificulta la determinación de su configuración tectónica. Por otro lado, coetáneo al magmatismo se produjo la depositación de secuencias silicoclásticas rojizas a morado, conformadas por conglomerados, areniscas, limolitas y excepcionales niveles de evaporitas; acumulados en grábenes, hemigrabenes subsidentes (Dalmayrac *et al.*, 1980). Estas rocas están relacionadas a abanicos aluviales, sistemas deposicionales y lagos. Se encuentran intercaladas con rocas volcánicas, pero en algunos casos predominan las secuencias sedimentarias con cambio de facies laterales, indicando un control estructural durante su deposición y relacionados con los sistemas de fallas que producen los fallamientos en bloques dentro del *rift* Permo-triásico.

Por su parte ya en tiempos del Triásico superior se inicia la transgresión marina del mar del Pucará progreso de Norte a Sur a lo largo del eje de rift (Mégard, 1978), pero no penetró al Sureste de Cusco (Dalmayrac *et al.*, 1980), debido a la existencia del alto estructural Manu-Fitzcarral-Abancay controlado por los sistemas de fallas Patacancha-Tamburco y Curahuasi-Chincheros-Licapa (Carlotto *et al.*, 2004). Dicho alto limitaría a las cuencas Pucará y la cuenca Arequipa. La cuenca marina subsidente del Pucará, es de forma elongada y tiene una dirección de NNO estuvo controlada por un alto estructural de carácter regional que se dio durante el Triásico superior al Jurásico inferior, esta cuenca se formó como el relleno de un postrift del triásico inferior el rift del Grupo Mítu que estuvo controlado por falla. Estas cuencas rift y postrift transicional estuvieron asociadas a una falla de rumbo sinestral y a una zona de cizalla de dirección NO que controló sedimentación además de la distribución de sus facies, magmatismo y como estos produjeron la mineralización a lo largo de su rumbo. Una asociación distinta asociada a una dolomitización posterior y mineralización de plomo-zinc tipo MVT también se forma en la base de estas zonas de cizalla que formaron estas cuencas. Si bien los volcánicos basálticos y andesíticos son comunes, no hay evidencia de la presencia de un arco magmático en la margen Pacífico hasta el Pucará superior que solo se desarrolló débilmente en el norte del Perú. Pucara. (Dalmayrac *et al.*, 1980). Por su parte Sempere y Cotrina (2018), indican que la cuenca del Pucará es una antigua cuenca salina, trabajos anteriores realizados en Cañón Florida no han reconocido la importancia de las evaporitas para los procesos de mineralización (Basuki y Spooner, 2009). Sin embargo, trabajos recientes como los publicados por De Oliveira (2019) proporcionan evidencia directa de la relación existente entre la mineralización y estas antiguas facies evaporíticas y estructuras relacionadas ellas en la roca caja. La mineralización de sulfuros de Cañón Florida se encuentra en las rocas cajas, relleno de los espacios abiertos en las dolomitas porosas además de encontrarse presente en las brechas estratiformes y cuerpos de brechas subverticales (De Oliveira, 2019).

Excepto en el Pucará superior del noroeste de Perú, los estudios litogeoquímicos, indican que las intercalaciones volcánicas tienen una firma geoquímica de rift de intraplaca. El relleno de la cuenca tiene tres subdivisiones estratigráficas que comprende plataformas de

carbonatadas inferior y superior con una fase intermedia de profundización de la cuenca y sedimentación de arcillosa regional rica en materia orgánica. La acumulación estratigráfica estuvo dominada por patrones axiales de solapamiento y progradación, aunque las características de las facies muestran que fue aumentada por la inundación periódica del margen alto de la cuenca occidental. Los fósiles de invertebrados marinos indican salinidades marinas normales. El Grupo Pucará ha sido subdividido en tres unidades (Mc Laughlin 1924); formaciones Chambará (Noriano-Retiano), Aramachay (Retiano-Sinemuriano) y Condorsinga (Pliensbachiano-Toarciano). La sedimentación carbonatada se inicia con la Formación Chambará se caracteriza por sus variaciones estratigráficas y de grosores en distancias cortas, explicables porque su depositación se hizo sobre una topografía irregular, heredada por el proceso *rifting* del paleozoico superior, que dejó un sistema de bloques fallados tipo horts, grabenes y hemigrabens. Esta unidad consiste en calizas bioesparíticas, biomicritas y dolomías, pasa gradualmente a biomicrita y dolomías en bancos medianos y delgados, de color gris claro con estructuras estilolíticas, laminaciones subparalelas, ondulaciones, venillas de calcitas. Las calizas ocurren en bancos medianos y delgados de color gris oscuro, con olor fétido al fracturarse, tienen venillas de calcita, laminaciones subparalelas. Esta representa el inicio de la transgresión marina en el Noriano, sobre una cuenca de topografía accidentada, heredada del Paleozoico superior, estas condiciones al comienzo prevalecieron sobre un mar somero donde el relleno sedimentario fue desigual en distancias cortas; después la cuenca se desarrolló sobre un mar abierto de plataforma donde las profundidades fueron mayores y el relleno sedimentario tenía menos oxigenación.

La Formación Aramachay de edad Sinemuriano – Jurásico Inferior; conformada por estratos de calizas biomicritas gris oscura a negra, intercaladas con niveles de bioesparita margas limolíticas y lutitas carbonosas. Por su parte la Formación Condorsinga está compuestas por calizas biomicritas gris oscuras, haciéndose hacia arriba gris a gris clara, rematando en el tope con un horizonte de brechas con elementos angulosos de calizas en matriz clara. Esta unidad representa la máxima transgresión marina en el Sinemuriano, allí la plataforma fue más profunda, de ambiente euxínico, reductor, donde se preservó la materia orgánica en los sedimentos oscuros y negros. Esta unidad representa el fin del

período transgresivo e inicio y desarrollo del período regresivo, en un mar somero con relleno sedimentario gris y gris claro. La sedimentación de carbonatos en aguas poco profundas en ambientes paleo subtidales, intermareales y supratidales como lagunas. La plataforma de carbonato submareal está dominada por grainstone oolíticos con *packstones* bioclásticos subordinados. Las facies de cuenca abierta subordinada en la Formación Chambará constan principalmente de *packstones* crinoidales y *wackestones* bioclásticos. En las facies intermareales y supratidales, los pseudomorfos de evaporita son comunes y generalmente se asocian con esteras de algas y dolomitización diagenética temprana generalizada. Durante el Chambará y Condorsinga, el hundimiento generalmente se equilibró con la producción de carbonato y prevalecieron los ambientes de aguas poco profundas; la cuenca tenía las características de una cuenca sobrecargada. Por el contrario, la etapa intermedia del hundimiento del Retiano-Sinemuriano tardío del hundimiento de la cuenca estuvo marcada por condiciones de aguas profundas poco llenas. Esta inundación transgresiva generalizada de la cuenca del Pucará, registrada en la estratigrafía arcillosa de Aramachay, se correlaciona con eventos similares en otras cuencas andinas.

En este contexto tectónico de *rifting* originó fallas como Shaski, Kuélap y Chachapoyas, que tienen un comportamiento normal y que controlaron el rift continental del Grupo Mitú, posteriormente durante el Triásico superior, empezó la transgresión marina de la cuenca Pucará esta se depositó en un ambiente tipo *rift a postrift* asociado a un corredor estructural que presentó un sistema de fallas de rumbo sinistral con una importante zona de cizalla de sentido NO, esta importante zona de deformación controlar la depositación así como la distribución de sus litofacies, magmatismo y mineralización a lo largo de las fallas regionales, se depositó salmueras con mineralización de Zn-Pb del tipo Mississippi Valley como se ubican los proyectos Cañón Florida (ex-Bongará), Río Cristal, Florcita, Soloco; prospecto Huayabamba y la ocurrencia Yerbabuena, estos tienen como control litológico las rocas calcáreas del Grupo Pucará (Noriano- Pliensbachiano); estas rocas suprayacen en discordancia al Grupo Mitu e infrayacen también en discordancia angular o paralela formaciones Corontachaca y Sarayaquillo (Kummel, 1946). Además, le sobreyacen en discordancia las areniscas fluvioeólicas (Jurásico medio-superior), o el Grupo Goyllarisquizga de conglomerados y areniscas (Cretácico inferior). se dieron bajo un

contexto tectónico compresivo, el cual se inicia con el engrosamiento cortical de los Andes. El distrito de Bongará se encuentra controlado por el sistema de fallas NO-SE San Francisco-Satipo-Pangoa y cabalgamientos que ponen en contacto a la Cordillera Oriental sobre la Zona Subandina. Por su parte se cree que durante el Eoceno o Mioceno, se dio la mineralización de este tipo de depósito MVT; Carlotto *et al.*, (2009). En Cañón Florida, los sistemas de fallas regionales tienen una orientación de NO-SE, NNO-SSE, con fallas locales subordinadas NE-SO. Estas fallas son inversas y algunas normales, las vergencias de las estructuras son tanto al este y oeste.

Localmente la mineralización de sulfuros masivos se encuentra zonas de brechas paralelas a fallas subverticales trabajos recientes hecho por Basuki y Spooner (2009); consideran que a estas brechas como de colapso por alteración de carbonatos y la disolución de carbonatos. De Oliveira (2019) sustenta la hipótesis de que las brechas están relacionadas a la disolución de evaporitas in situ y haloquinéticas.

En el Jurásico medio a superior se da lugar un evento tectónico compresivo, que produjo el reacomodo de los bloques heredados horts grabenes y hemigrabenes del *rift* Permotriásico (Rodríguez *et al.*, 2012); como resultado de este evento tectónico se produjo la regresión del mar del Pucará y se inicia el levantamiento de los bloques, originándose pliegues en *echelon*, próximo a las fallas Kuélap y Chachapoyas, este evento pudo haber originado el acortamiento y engrosamiento cortical, además la reactivación de antiguas fallas regionales que produjeron el levantamiento y exhumación en bloques que fueron controlados por fallas que permitieron la sedimentación de facies continentales en un contexto de geotectónico de depósitos fluviales a piemontanos de trasarco del Jurásico medio a superior; que en el flanco oeste de la Cordillera Oriental se da coetáneamente un evento magmático a plutónico de arco; asociado a estos ambientes se tiene las formaciones Corontachaca (Sánchez, 1995) y Sarayaquillo (KummeL, 1946). Mientras que en el flanco occidental de la Cordillera Oriental se encuentran los afloramientos de la Formación Oyotun, esta unidad se conforma por andesitas, dacitas y tobas que se intercalan con areniscas y calizas (Romeuf, 1994). Las características geoquímicas de estas rocas volcánicas corresponden a rocas calcoalcalinas emplazadas en un ambiente geotectónico

tipo magmatismo y plutonismo de Arco magmático el cual se corrobora con el modelo de arco continental de (Romeuf, 1994). Aunado a este evento se tiene pequeños cuerpos intrusivos como el granito de Montenegro, y otros stocks de diorita, tonalita y granodiorita, asociadas a este Magmatismo a Plutonismo de Arco magmático. Las rocas del Cretácico en la zona de estudio sobreyacen en discordancia a los afloramientos del Grupo Pucará y de las formaciones Corontachaca, y Sarayaquillo del Jurásico medio a superior. Estas rocas pertenecen a los grupos Goyllarisquizga y Oriente (Cretácico inferior). Estas unidades Cretácicas se encuentran relacionadas a un ambiente geotectónico de Cuenca Marginal de Trasarco. Estos depósitos han sido agrupados en tres grandes secuencias: Inferior (Valanginiano-Aptiano) secuencias silicoclásticas deltaicas y fluviales que erosionaban al Cratón Amazónico, dio lugar a las rocas del Grupo Goyllarisquizga (Wilson y Reyes 1964). Esta unidad se correlación con el Grupo Oriente conformado por las formaciones Agua Caliente, Esperanza y Cushabatay. (Kummel, 1946). Posteriormente durante el Albiano-Turoniano al Campaniano se inició un periodo de transgresión marina que originó una plataforma carbonatada y regresiones formaciones Inca, Chulec y Pariatambo, Chonta, Celendín, Cajamarca, Grupos Pullucana y Quilquiñán, estas se constituyen por areniscas, margas y calizas, cuya evolución vertical expresa una transgresión desde medios costeros a medios de plataforma abierta (foreshore) y más profunda hasta talud (offshore) y eventuales períodos con el retroceso de los mares. Entre el Campaniano-Maestrichiano, se tiene los depósitos de Cuenca marginal de trasarco, conformado por las rocas de las formaciones Vivian, Cachiyacu, Huchpayacu y Casa Blanca (Kummel, 1946) estas unidades se marca el inició el levantamiento del continente y posterior retroceso del mar dando paso a una sedimentación fluvial a deltaico con cortos periodos de transgresión marina y por último un levantamiento definitivo a finales del Maestrichiano, por su parte en el extremo oeste de la Cordillera Oriental relacionado a este contexto tectono-estratigráfico se tiene la presencia de pequeños stock intrusivos de naturaleza monzonítica a granodiorítica. Este levantamiento iniciado a finales del Cretácico se hace más marcado en el Paleógeno y prosigue en el Neógeno, en donde se da lugar una sedimentación netamente continental, conformada por ambientes fluviales a lacustres, cuyas fuentes de aportes de sedimentos debieron ser la actual Cordillera Oriental y el Escudo Brasileño; compuesta por areniscas

arcósicas y conglomerados intercalados con niveles lutáceos, evaporitas y calizas, de las formaciones Chota, Yahuarango, Cajaruro, Pozo, Chambira, Ipururo, Nieva, Numpatkay, Bellavista, El Milagro, además se tiene los grupos Huayabamba y Chiriaco. Estos sedimentos comprenden los depósitos continentales de cuencas de antepaís (Kummel, 1946). Los depósitos glacial-fluviales, aluviales, coluviales, fluviales y biogénico, se agrupan en el ambiente tectónico denominado como depósitos clásticos del Pleistoceno - Cuaternario.

4.2.4 Geología Regional-Unidades Tectonoestratigráficas

Estas unidades presentes en la región de Amazonas fueron agrupadas de acuerdo a su ambiente deposicional, edad, características sedimentológicas, estratigráficas, estructurales, tectónicas y magmáticas; con este criterio se logró definir estas unidades y nos ha permitido elaborar el mapa tectono-estratigráfico para esta región.

Estas unidades se encuentran relacionadas a la evolución de la margen occidental de la placa sudamericana la que estuvo sujeta a la convergencia entre las distintas placas, esta convergencia se inició en esta región a partir del Carbonífero (Dalmayrac *et al.*, 1988, Miskovic *et al.*, 2009). Si bien se tiene evidencias de actividad magmática en el Grupo Mitu del Pérmico superior- Triásico e intrusiones de similar edad, cuya firma geoquímica es alcalina (Kontak *et al.*, 1985), esta se asociaría más a un régimen extensional el que genero un rift controlado por grandes fallas regionales que se mantuvo hasta el Jurásico inferior Grupo Pucara en la base de esta unidad se tiene niveles de andesitas basálticas lo que denota la reactivación de las fallas regionales que habrían controlado la evolución de cuencas Mitu y Pucara (Dalmayrac *et al.*, 1980). Posteriormente en el Jurásico inferior a Cretácico, (Ramos y Aleman, 2000); mientras que se tiene otro evento que comenzó en el Cretácico Superior y Paleógeno (Mégard, 1984); como resultado de esto se deduce que la margen occidental peruana ha sido afectada por la subducción de las placas oceánicas del Farallón y más tarde Nazca; las que controlaron la evolución magmática desde el Jurásico inferior hasta el presente, debido a ello solo citaremos las unidades más importantes:

Unidad Arco Magmático Pataz del Carbonífero (Cmp – MPA)

Este arco magmático se ubicó en la margen occidental de la Cordillera Oriental en el norte del Perú, este arco se dio entre los 350 a 300 Ma, periodo que abarca en gran medida al Carbonífero, (Wilson y Reyes 1964 y Sánchez *et al.*, 1995). Este arco magmático se encuentra representado por la Formación Lavase y el batolito de Pataz. Por su parte las secuencias volcánicas del Lavasen, está constituida principalmente por riolitas, andesitas, dacitas y depósitos volcanoclásticos. con excepcionales intercalaciones de rocas sedimentarias (Wilson y Reyes 1964 y Sánchez *et al.*, 1995). Esta unidad se puede apreciar en las localidades de Bolívar y Leimebamba, Sánchez *et al.*, (1995) y en la quebrada de Lavasen, también se expone en la localidad de Culebrillas, las quebradas Pedregal, Corneadas, y Ruibarbos; así como en el camino hacia el paraje Juscusbamba. Este arco magmático Carbonífero se mantuvo activo desde el Misisipiano inferior aproximadamente desde los 350 Ma hasta culminar en el Pensilvaniano superior alrededor de los 310 Ma o en el Pérmico inferior 285 Ma (Mišković *et al.*, 2009), después de un período caracterizado por deformación compresional de estratos devónicos y más viejos (Mégard, 1978). Este voluminoso magmatismo carbonífero se desarrolló en forma creciente a partir de ~350 Ma (Misisipiano inferior) para aparentemente culminar por ~310 Ma (Pensilvaniano superior) y terminarse por ~285 Ma (Pérmico inferior) (Mišković *et al.*, 2009). Este batolito aflora en las hojas de Bolívar y Leimebamba; se encuentra conformada por dioritas, monzodioritas, granodioritas y monzogranitos; su firma geoquímica metalumínica a peralumínica. La edad de las rocas por medio del método U-Pb en zircón en 329 ± 1 Ma para las granodioritas en el área de Parcoy (Macfarlane *et al.*, 1999) en los monzogranitos por $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ es 321 ± 1 Ma en biotitas y 305 ± 8 Ma en hornblendas. Por su parte Haeblerlin (2000) en el área de Pataz dató biotitas provenientes de granodioritas y dioritas por $40\text{Ar}-39\text{Ar}$ en 329.2 ± 1.4 y 328.1 ± 1.2 Ma. Además, se tiene otra datación de 350 y 300 Ma (Mišković *et al.*, 2009). Esta actividad se dio bajo un régimen extensional.

Unidad depósitos de continental de Rift de Trasarco Permo-Triásico (PET- dcRTA)

Durante este tiempo se dio lugar al inicio de un proceso de *rifting*, controlado por sistemas de fallas regionales; que generó tanto una actividad sedimentaria continental como magmática del Pérmico superior- Triásico inferior, como resultado de este evento se tiene

las rocas volcánicas del Grupo Mitu e intrusiones de similar edad, cuya afinidad geoquímica es toleítica o alcalina (Kontak et al., 1985), bajo un contexto tectónica, extensional que controló la evolución de cuencas Mitu y Pucara (Dalmayrac *et al.*, 1980). El evento de rift produjo un magmatismo cuya firma geoquímica se relaciona un rift intraplaca (Mégard, 1978; Dalmayrac *et al.*, 1980).

Unidad depósitos plataforma carbonatada marina Tipo *Rift a Postrift* de trasarco del Triásico superior al Jurásico inferior (TJi-dmRpRTA)

Del Triásico superior al Jurásico Inferior, se da la sedimentación calcárea de la cuenca del Pucará, esta cuenca elongada subsidente tiene una dirección de NNO estuvo controlada por un alto estructural de carácter regional controló la sedimentación de esta cuenca estuvo afectada por un proceso de tipo rift y postrift transicional estuvieron asociadas a una falla de rumbo sinistral y a una zona de cizalla de dirección NO que controló tanto a la sedimentación como el magmatismo. Estos volcánicos basálticos y andesíticos tienen una firma geoquímica de *rift* de intraplaca; estas rocas se encuentran en la base de esta cuenca Pucara; si bien no se tienen evidencia de la presencia de un arco magmático en la margen Pacífico hasta el Pucará superior que solo se desarrolló débilmente en el norte del Perú (Formación La Leche). (Dalmayrac *et al.*, 1980; Mégard, 1978).

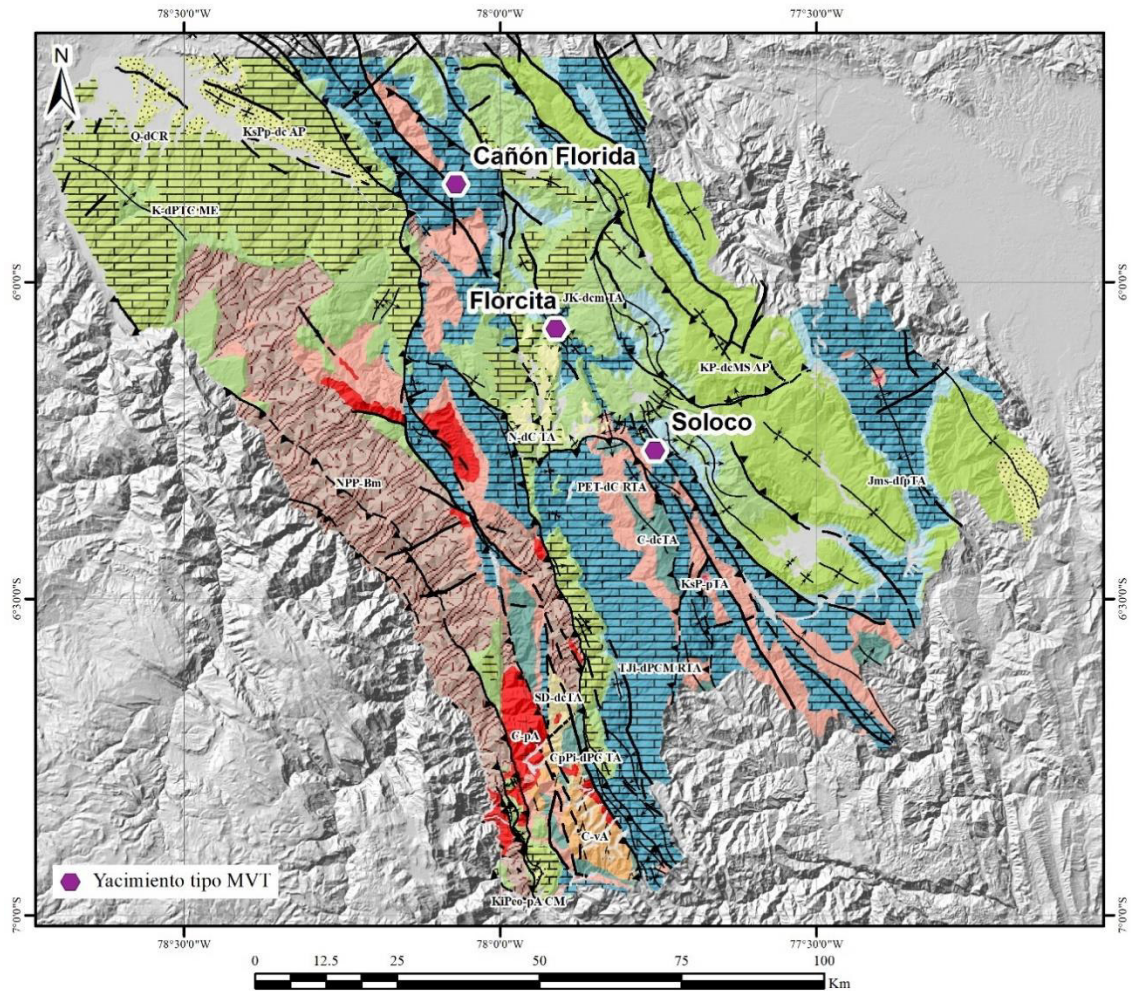
Magmatismo a plutonismo de arco magmático del Jurásico medio a superior (Jms-MPA).

Este arco magmático se dispuso en forma paralelo al margen occidental de la Cordillera Oriental, este se encontró activo desde el Jurásico inferior a Cretácico, (Ramos y Aleman, 2000). El arco magmático del Oyotun, constituido por andesitas, dacitas y tobas que se intercalan con sedimentos detríticos (Romeuf, 1994). Las características geoquímicas de las rocas volcánicas corresponden a rocas calcoalcalinas emplazadas en un ambiente geotectónico tipo magmatismo y plutonismo de arco magmático el cual se corrobora con el modelo de arco continental de (Romeuf, 1994). Aunado a este evento se tiene pequeños

cuerpos intrusivos como el granito de Montenegro, y otros stocks de diorita, tonalita y granodiorita.

Unidad plutonismo de cuenca marginal del Cretácico superior al Paleógeno (KsPp - pAM CM)

Representada por pequeños apófisis y *stock* intrusivos de naturaleza monzonítica a granodiorítica, a estas rocas no se les pueden asignarse a Superunidades específicas.



















	N-dC TA	Depósitos Continentales de Trasarco del Neógeno
	KsPp-dc AP	Depósitos de Cuenca Antepais del Cretácico Superior al Paleógeno
	KsP-pTA	Plutonismo de Trasarco del Cretácico-Paleógeno
	KP-dcMS AP	Depósitos de Cuenca Marina Somera de Antepais del Cretácico Paleógeno
	KiPeo-pA CM	Plutonismo de Arco a Plutonismo de Cuenca Marginal del Cretácico inferior-Eoceno
	K-dPTC ME	Depósitos de Plataforma y Talud Carbonatada Marina Epicontinental del Cretácico
	JK-dcm TA	Depósitos de Cuenca Marginal de Trasarco del Jurásico-Cretácico
	Jms-dfpTA	Depósitos Fluviales a Piemontanos de Trasarco del Jurásico medio a superior
	TJi-dPCM RTA	Depósitos de Plataforma Carbonatada Marina de Rift de Trasarco del Triásico-Jurásico
	PET-dC RTA	Depósitos Continentales de Rift de Trasarco del Permotriásico
	CpPi-dPC TA	Depósitos de Plataforma Carbonatada Marina de Trasarco del Carbonífero Pensilvaniano -Pérmico inferior
	C-vA	Vulcanismo de Arco del Carbonífero
	C-pA	Plutonismo de Arco del Carbonífero
	C-dcTA	Depósitos de Cuenca Trasarco del Carbonífero
	SD-dcTA	Depósitos de Cuenca Trasarco del Silúrico-Devónico
	NPP-Bm	Basamento metamórfico del Neoproterozoico-Paleozoico

Figura 4. 2 Mapa Tectono-estratigráfico con los yacimientos Cañón Florida, Florcita, Soloco

INFORMACIÓN TECTONOESTRATIGRÁFICA Y METALOGENÉTICA			
	Unidades	Régimen Tectónico	Ambiente Sedimentario
CRETÁCICO	Ki-ch ★ Florcita	Levantamiento Compresión	Ambiente Fluvial
	Hiatus		Ambiente Fluvial (con llanuras Inundación)
JURÁSICO	J5-s	Extensión Rift Trasarco	Ambiente Coluvial
	Jms-c		Plataforma Carbonatada
	Ji-c ● Río Cristal		
	Ji-a ● Soloco ● Yerbabuena		
TRIÁSICO	Ts-ch ★ Cañón Florida (Éx. Bongará) ● Huayabamba		
PERMIANO	PET-m		Ambiente Fluvioaluvial
	Gpo. Mitu		

Figura 4. 3 Información estratigráfica regional de los principales yacimientos de tipo MVT en la región Amazonas

4.2.5 Marco estructural

La región de Amazonas se encuentra ubicada entre dos grandes bloques estructurales de grandes dimensiones, el primero corresponde a la Cordillera Oriental representada por un macizo muy antiguo levantado (Bloque del Marañón), con secuencias litológicas del Precámbrico, Paleozoico y en pocas proporciones materiales litológicos generados en el Mesozoico inferior (Triásico-Jurásico inferior), todas ellas afectadas por fallamientos verticales y longitudinales producto de la tectónica Hercínica ocurrida durante el Paleozoico, los cuales han permitido su levantamiento y su presencia activa dentro de la región. Cabe indicar que esta gran unidad pierde relativamente su continuidad o se estrecha hacia el norte, en las cercanías de la localidad de Bagua, esta deducción esta basado por la poca o no presencia de las secuencias litológicas precambrianas o paleozoicas en el sector norte, ello debido a la deflexión de Huancabamba, cuyo eje se encuentra en el río Chamaya. El segundo, se encuentra representado por la Cordillera Subandina, que dicho sea de paso es la geoestructura más afectada por la tectónica Andina. Esta se manifestó durante el Cretáceo superior (65 Ma) con mayor intensidad. Está caracterizada por presentar una serie de fases de compresión. Se estima que la fase de plegamiento ha sido efectuada durante el NeógenoMioceno, las cuales se encuentran alineadas con rumbo NO-SE. Esta direccionalidad continua se ve afectada a la altura de los 5° latitud sur donde las secuencias que corresponden a la Faja subandina se arquean hacia el ONO (Deflexión de Huancabamba), para luego seguir una dirección NNE. Las estructuras que forman parte de este bloque son bastante complejas, porque se encuentran desde plegamientos de gran extensión como los sinclinales y anticlinales bastante desarrollados, asociados generalmente a las fallas inversas y normales de alcance regional. Mientras los eventos geotectónicos generaban comportamientos diferenciales en estos dos grandes bloques, a consecuencia de ello se generaba valles depresionados intramontanos que durante el Neógeno empezaban a cobrar importancia debido a su configuración morfológica, geoestructural y constante erosión. Estas zonas de acumulación sedimentaria, cuya sobrecarga aunada a las estructuras generadas en subsuelo, han producido un efecto de deformación estructural originadas por un lento levantamiento de tipo epirogénico-isostático imperceptible a la vista humana. Ello iba generando un constante

rejuvenecimiento en los relieves cuaternario; así como la modificación en los cauces de los ríos que actualmente discurren en el territorio amazonense.

4.3 Geología Local

4.3.1 Proyecto Cañón Florida

a. Ubicación

El Proyecto Cañón Florida se localiza en el distrito Shipasbamba, provincia de Bongará, región de Amazonas, a 28 km al noroeste de la localidad de Pedro Ruiz Gallo, con coordenadas centrales 824500 E / 9353000 N, (UTM – Datum WGS84, Zona 17 sur) a una altitud de 2500 m.s.n.m. ubicada en la hoja de Bagua (12g) de la carta geológica nacional a escala 1:100,000.

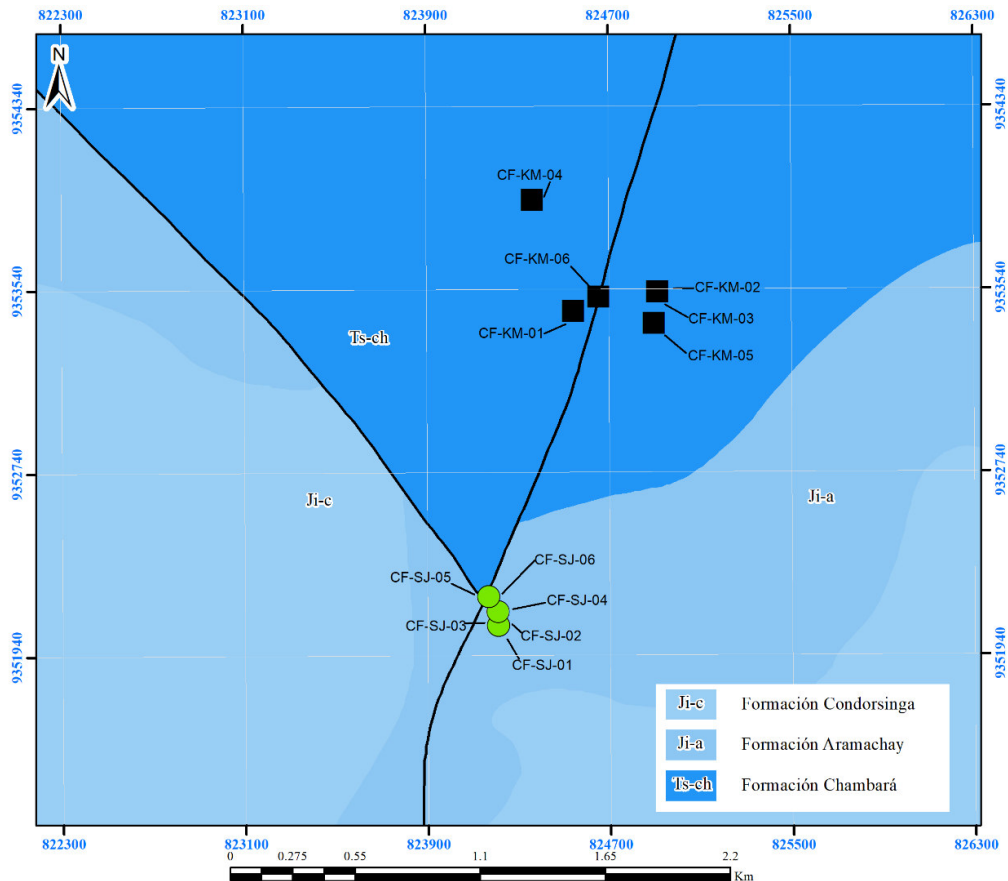


Figura 4. 4 Geología local y ubicación de muestras del proyecto Cañón Florida

b. Estratigrafía

Grupo Mitu

En el área de estudio este grupo fue reconocido por medio de sondajes diamantinos, y se encuentra representado por areniscas cuarzosas subangulosas de grano fino a muy fino, de colores rojizos con presencia de líticos volcánicos angulosos, la matriz se encuentra constituida por arcillas y micas. A esta secuencia le sobreyacen tobas de cristales color gris claro de textura fragmental, compuesta de material de tamaño ceniza englobando fragmentos de pómez, vidrio y ópalo, con fracturas rellenas de calcita débil y presenta además una débil diseminación de pirita.

Grupo Pucará (Tr Sup – J inf).

En el Proyecto Cañón Florida, el Grupo Pucará se encuentra conformado por la Formación Chambará, que ha sido subdividida en los miembros Chambará 1, Chambará 2 y Chambará 3, los cuales se describirán a continuación:

Miembro Chambará 1

Compuesta por paquete de 100 a 120 m de dolomitas y calcitas tipo mudstones correspondientes a un ambiente deposicional de llanura de marea marginal, con ocasional presencia de algas fósiles, presenta estratificación laminar y en algunas ocasiones presenta pseudomorfos de calcita, reemplazada por anhidrita y localmente karstificada en las proximidades de la Falla Sam. (Robles, 2018).

Miembro Chambará 2

Presenta una potencia de 80 a 230 m, constituida por calizas tipo **packstone** con contenidos fosilíferos (crinoides, algas, espongiarios, conchas, etc) característicos de carbonatos de alta energía de ambientes de barrera con desarrollos arrecifales locales, con

horizontes subordinados de mudstones y niveles permeables de dolomitas packstones, wacktones, rudstones, pseudobrechas packstones evaporíticas, brechas evaporíticas con clastos, homolíticas y heterolíticas. (Robles, 2018). En esta unidad se encuentra la mineralización en el proyecto.

Miembro Chambará 3

Miembro superior de la Formación. Chambará conformado por calizas tipo mudstone chérticas, calizas bituminosas gris oscuras, turbiditas distales con estratigrafía gradada y hacia el tope niveles de turbiditas y calizas concrecionales y nodulares de color gris oscuro. Presenta un promedio de 310 m y en sector noreste sobrepasan los 500m. (Robles, 2018).

c. Alteración y mineralización

La mineralización se encuentra emplazada en los niveles dolomitizados del miembro Chambará 2, presentan una geometría de lentes con un trend nor-noreste controlado por el sistema de fallas Sam. El proyecto se subdivide en dos sectores principales, el sector San Jorge, ubicado en la zona sur caracterizado por presentar las leyes más altas del proyecto, y el sector Karen Milagros, ubicado en la zona noreste, la cual se caracteriza por presentar la mayor concentración de sulfuros estrato ligados (De Oliveira, 2019).

4.3.2 Proyecto Florcita

a. Ubicación

El proyecto Florcita se encuentra a 21 km al norte de la ciudad de Chachapoyas, en el distrito de Lamud, provincia de Luya, región de Amazonas, con coordenadas centrales 177691 E / 9327712 N, (UTM - Datum WGS84, Zona 18 sur) a una altitud de 2018 m.s.n.m., y ubicada en la hoja de Chachapoyas (13h) de la carta geológica nacional a escala 1:100,000

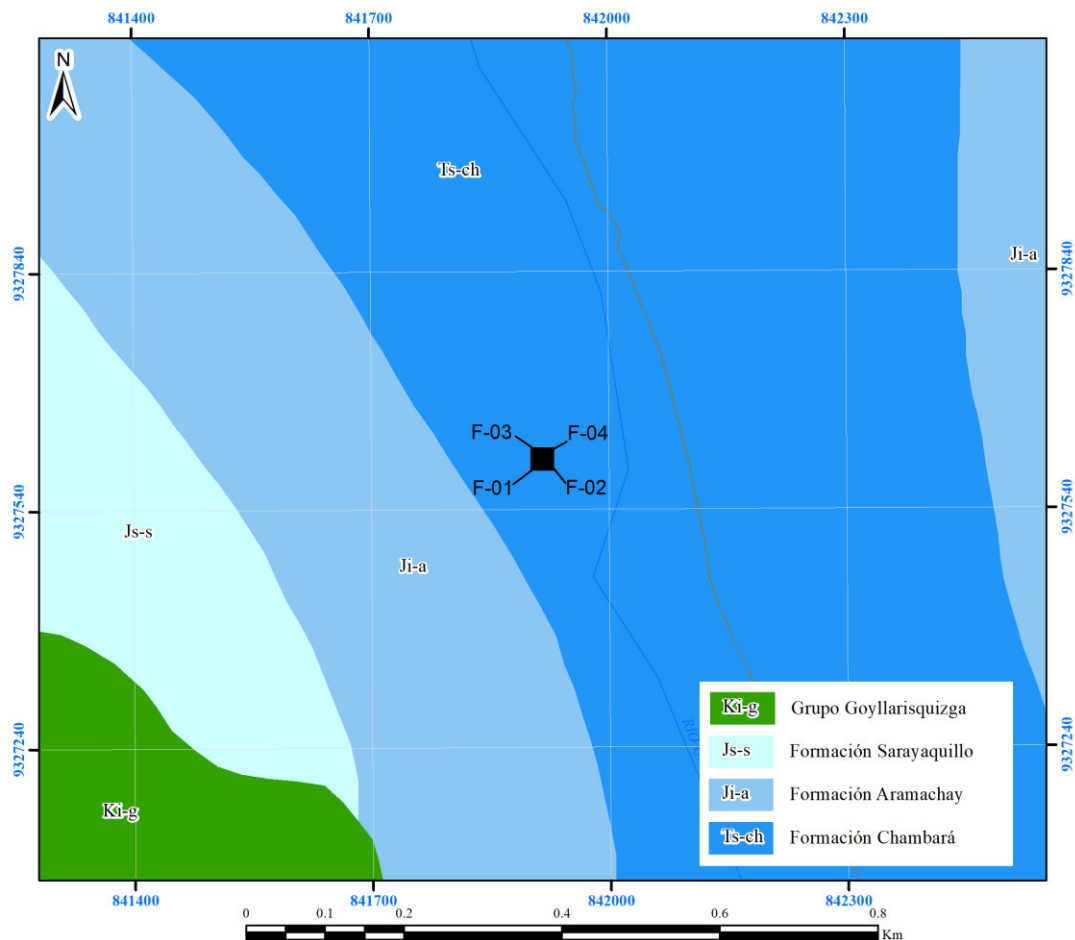


Figura 4. 5 Geología local y ubicación de muestras del proyecto Florcita

b. Estratigrafía

Grupo Pucará (Trm-Jm)

Este grupo sobryace en contacto discordante al Grupo Mitu (Pérmico) e infrayace discordante al Grupo Goyllarisquizga (Cretáceo Inferior), se caracteriza por la presencia de amonites y nódulos de *chert* que contienen evidencia de mar profundo con clima tropical a subtropical y regiones de bajo relieve continentales. En el proyecto Florcita, este grupo se encuentra representado por las formaciones. Chambará, Aramachay y Condorsinga, las cuales afloran en el valle del río Utcubamba.

Formación Chambará

Esta unidad constituye la base del Grupo Pucará e infrayace en contacto concordante a la Formación Aramachay, está constituida por calizas biomicríticas de color gris a gris oscuro y se encuentra formando núcleos de pliegues anticlinales de rumbo NO-SE y sinclinales. Se pueden distinguir dos miembros, el Inferior caracterizado por su coloración gris a gris oscuro con patinas de color beige a marrón claro, la presencia de abundantes nódulos e inclusiones de sílice de formas irregulares, con estratificación gruesa paralela y superficie ondulada irregular de apariencia compacta, y el miembro superior, caracterizado por sus estratos delgados (10 a 40 cm) con presencia de nódulos arcillolitas y areniscas calaceares, presenta restos de moluscos, calcíferas y monotis. (Huaicane, 2001).

Formación Aramachay

Conformada por las intercalaciones de calizas grises tipo *mudstone*, calizas bituminosas, margas y limoarcillas de color marrón oscuras con excepcionales niveles de tobas, presentan restos de amonites y bivalvos diversos caracterizados por ser menos resistentes a la erosión que las formaciones Chambará y Condorsinga, se presentan estratos delgados planos y paralelos. Esta unidad tiene una potencia de 120m aproximadamente.

Formación Condorsinga

Estratos de calizas arcillosas, calizas biomicríticas presentan laminaciones subparalelas, color gris oscuras, localmente dolomitizadas con presencia de lutitas en los niveles superiores. Es reconocible por su mayor resistencia a la erosión en relación a las formaciones infrayacentes. Los estratos presentan la característica de ser delgados en la base y gruesos en los niveles superiores de la secuencia.

Grupo. Goyllarisquizga

Constituida por areniscas cuarzosas de grano grueso con estratificación cruzada, emplazado en estratos de hasta 2 metros de espesor. Presenta una potencia de hasta 300m.

c. Alteración y mineralización

La mineralización del proyecto Florcita aflora en las escarpas verticales a subverticales de la margen oeste del río Utcubamba, emplazada en la Formación Condorsinga y en la base del Grupo Goyllarsquizga (Huaicane, 2001). La Mineralización está conformada por un cuerpo de brecha mineralizado de matriz soportada, con cemento constituido por calcita, pirita marcasita, galena y esfalerita (blenda) y clastos polimícticos sub angulosos a sub redondeados, controlada por una zona de falla siniestral de direcciones N50°-70°W, la cual favoreció a la formación de brechas de disolución y colapso kársticas, así como brechas *crackle*, las que fueron aprovechadas por los fluidos mineralizantes para su emplazamiento.

Los estilos de mineralización presente en el proyecto son diseminación, reemplazamiento, relleno de espacios abiertos en estructuras filonianas, brechas, en los cuales precipitaron los sulfuros, carbonatos, sulfatos y óxidos (Huaicane, 2001).

Estructuras filonianas con leyes de >15% de Zn correspondiente a la mineralización de esfalerita marrón masiva de grano grueso, asociadas con galena subordinada, en una ganga de dolomita esparítica blanca y calcita que rellenan facturas con mineralización de Zn. En los niveles superiores han sufrido fuerte oxidación y lixiviación lo que ha propiciado el desarrollo de oxidación supérgena con presencia de carbonatos de Zn y sulfatos de Mn, yeso y melanterita.

En las zonas de brechas presentan clastos y bloque de dolomita de grano fino a medio, en una matriz de similar naturaleza, con esfalerita de grano grueso, relleno de los espacios vacíos de la brecha o fracturas asociadas con dolomitas esparíticas blanca y calcita (última generación) Fragmentos angulosos a subredondeados de pirita y marcasita. Los contenidos de Zn en la brecha varían entre 5-26% con valores más frecuentes de 8-10%,

cuyos valores decrecen hacia la parte superior de las brechas, la parte central superior de la brecha está conformada por mineralización de óxidos hierro, smithsonita, hidrocincita, sulfato de Mn, melanterita y yeso. (Huaicane, 2001).

4.3.3 Prospecto Soloco

a. Ubicación

El prospecto de Soloco se ubica en el distrito de Soloco, provincia de Chachapoyas, región Amazonas, con coordenadas centrales 9 306 566N, 195 114E, zona 18S, Datum WGS84, a una altitud promedio de 3000 m.s.n.m, y con un acceso por carretera asfaltada y afirmada por la ruta Lima-Trujillo-Chachapoyas-Soloco.

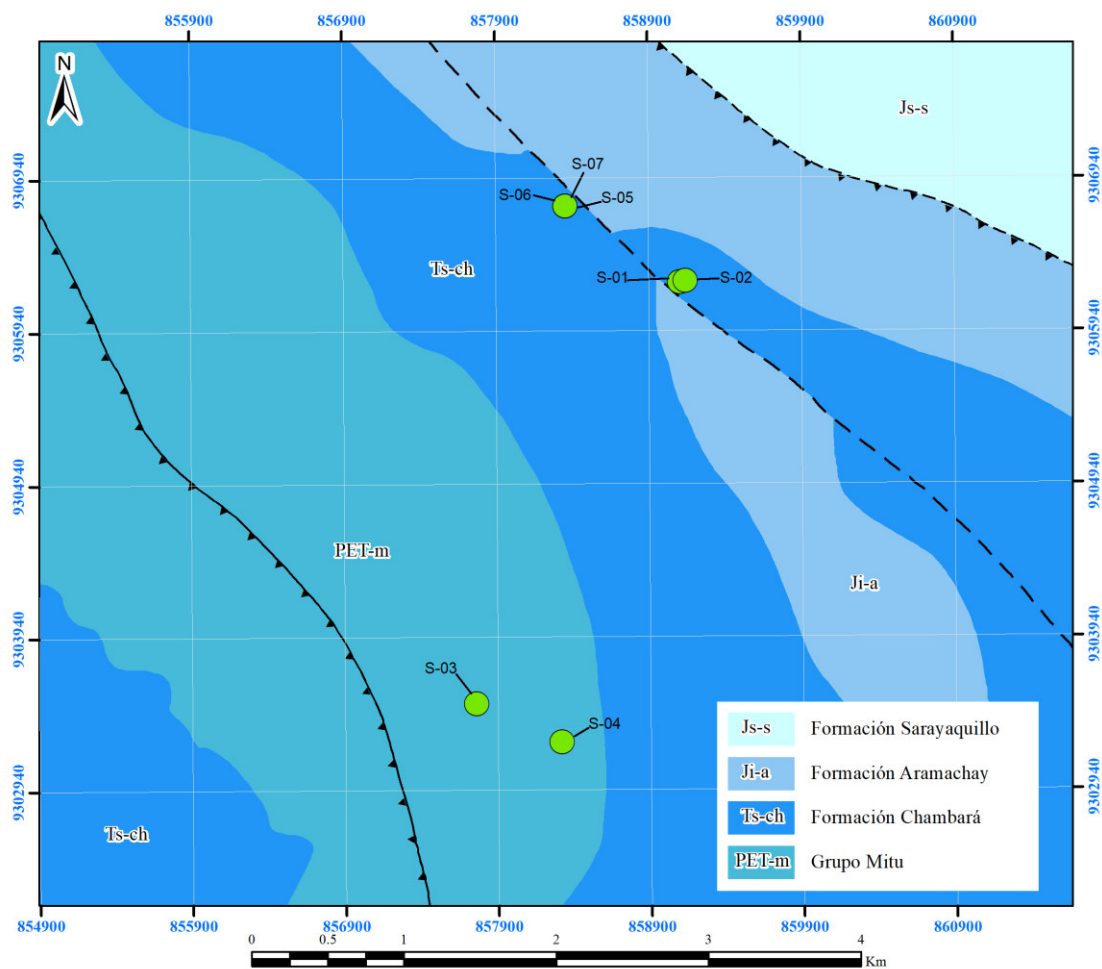


Figura 4. 6 Geología local y ubicación de muestras del prospecto Soloco

b. Estratigrafía

El basamento del prospecto Soloco se encuentra conformado por el Grupo Mitu, el cual se encuentra representado por una secuencia de areniscas cuarzosas color blanquecino intercaladas con lutitas y limolitas.

Se tiene la presencia también de la Formación Aramachay del Grupo Pucará. Su geología está representada por rocas calcáreas intercaladas con dolomitas tipo grainstones y mudstone que infrayacen en contacto discordante con el Grupo Goyllarisquizga. El Grupo Goyllarisquizga. Constituidas por secuencias de lutitas, areniscas carbonosas de grano grueso y conglomerados de colores beige y blanquecinos.

c. Alteración y mineralización

Soloco se caracteriza por las estructuras en forma de crestones de textura brechada, moderadamente silicificadas con presencia de óxidos y hierro, el cemento de las brechas se encuentra continuidad por calcita y dolomita, además se evidencia una matriz continuidad por roca molida (calizas) y goetita y jarosita, las cuales engloban a los clastos angulosos a sub angulosos de calizas tipo grainstones y mudstone. Los *feeder* evidenciados en campo se caracterizan por estar constituidos con brechas fuertemente silicificadas (calcedonia y cuarzo), con presencia de baritina, abundante goetita y jarosita, estas *feeder* además presentan los mayores valores de Zn y Pb del prospecto (>10% Zn y 0.5% de Pb). Hacia el contacto con las rocas cajas se evidencian estructuras vetiformes de calcita blanca bandeada con anchos de hasta 30 cm.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

El proyecto Cañón Florida cuenta con 6 muestras del sector Karen Milagros (norte) y 6 muestras del sector San Jorge (sur). El proyecto Florcita cuenta con 4 muestras, mientras que el prospecto Soloco cuenta con 7 muestras. Las relaciones de muestras y códigos se encuentran en la tabla 5.43, en la que a su vez se muestran los resultados geoquímicos de roca total.

5.1. Resultados petrográficos y minerográficos

En el siguiente apartado se muestran los resultados petrográficos y minerográficos del proyecto Cañón Florida, proyecto Florcita y prospecto Soloco.

La relación de descripciones macroscópicas y microscópicas se da a continuación de manera sintética expresada en tablas con la información sobre tipo de mineral, textura, abundancia (%) y rango de tamaños.

5.1.1 Proyecto Cañón Florida

Los resultados del proyecto Cañón Florida se presentan según el sector del yacimiento: Sector Karen Milagros (Norte) y Sector San Jorge (Sur).



a. Sector Karen Milagros

La relación de descripciones macroscópicas y microscópicas de las 6 muestras del Sector Karen Milagros se da a continuación.

Muestra CF-KM-01

La Tabla 5.1 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-01.

Tabla 5. 1
Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-01

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Muestra de estructura mineralizada compacta de color pardo rojizo, compuesta principalmente por agregados de esfalerita, con intersticios rellenos por agregados de dolomita, se aprecian intersticios rellenos por galena. Posee densidad y dureza media, ausente de magnetismo.	Muestra de estructura con textura de reemplazamiento y relleno, está conformada por eventos de mineralización de esfalerita I que cortan al relleno de dolomita II, este relleno posee escasas diseminaciones de piritita. Además, se aprecia esfalerita II como sobrecrecimiento de la esfalerita I, y como evento posterior a ambos el relleno de galena en intersticios de la muestra.
	

La Tabla 5.2 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-01.

Tabla 5. 2
Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-01

Mineral	Tamaño (mm)	%
---------	-------------	---

CRISTALES	Esenciales	Esfalerita I , cristales con formas anhedrales, como constituyente principal de la muestra de estructura, está conformando un relleno cortante que reemplaza a los agregados de dolomita II, además microfracturados. Presenta sobrecrecimiento de esfalerita II hacia sus bordes y en intersticios se aprecia relleno de galena.	$\leq 2,56$	51
		Dolomita II , agregados de cristales con formas subhedrales a anhedrales, algunos con hábitos romboidales, ocurren como relleno de la muestra, cortado por eventos de esfalerita I y II. Además, se observan trazas de diseminaciones de pirita en sus intersticios.	$\leq 1,95$	38
	Accesorios	Galena , cristales con formas anhedrales, presentes en intersticios de esfalerita I y esfalerita II.	$\leq 2,10$	6
		Esfalerita II , cristales con formas anhedrales, ocurren reemplazando a la esfalerita I como sobrecrecimiento principalmente en sus bordes y microfracturas.	$\leq 1,05$	4
		Pirita II , cristales con formas subhedrales a anhedrales, irregulares; se presentan junto con esfalerita I, ocasionalmente en sus bordes.	$\leq 0,38$	1
		Pirita I , cristales con formas anhedrales, se encuentran a modo de diseminados en los intersticios de agregados de dolomita II.	$\leq 0,05$	Traza

La información de la Tabla 5.2 nos permite destacar la predominancia de mineralización masiva de esfalerita I (51%) anhedral, seguida de una mineralización diseminada de esfalerita II anhedral (4%), galena II anhedral (6%) diseminada, alteración masiva de dolomita II subhedral-anhedral (38%) y piritas I y II en trazas.

Muestra CF-KM-02

La Tabla 5.3 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-02.

Tabla 5. 3

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-02

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura compacta, de color pardo grisáceo, con textura granular, conformada por agregados de dolomita y calcita con impregnaciones de óxidos de hierro. La muestra presenta vetillas y oquedades rellenas	Conformada por cristales de dolomita I reemplazados por calcita II y limonitas, y agregados de dolomita II con intersticios rellenos de calcita I. Se observan finas diseminaciones de pirita en los cristales de dolomita II. Se observa un sector con textura

de calcita blanquecina. La roca tiene dureza y densidad media.

brechoide (fractura soldada) conformada por cristales de dolomita II en una matriz de calcita II y limonitas. La muestra es atravesada por vetillas de calcita III. Probablemente el protolito corresponda a una dolomía.



La Tabla 5.4 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-02.

Tabla 5. 4

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-02

		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Dolomita II , Se encuentra como coronas o sobrecrecimientos alrededor de los cristales de dolomita I y como agregados en mosaico de cristales de formas romboidales; presentan impregnaciones de limonitas e inclusiones de pirita. Sus intersticios están rellenos de calcita I. Por sectores se observan zonas con textura brechoide correspondientes a fracturas antiguas; en estas se observan cristales de dolomita II inmersos en agregados de calcita II y limonitas.	≤ 0,93	54
		Calcita I , agregados de cristales en mosaico relleno intersticios entre los agregados de dolomita II.	≤ 0,38	8
		Dolomita I , Cristales euhedrales de formas romboidales, se encuentran remplazados por agregados de calcita II y agregados criptocristalinos de limonitas; presentan inclusiones de moldes rellenos de goethita. Presentan sobrecrecimientos de dolomita II a manera de coronas.	0,25 – 3,61	5
	Accesorios	Pirita , cristales anhedrales en agregados microgranulares, se presentan como inclusiones en cristales de dolomita II y como relleno de algunas estructuras estilolíticas; están remplazados por agregados de hematita y goethita.	≤ 0,07	0,5
		Cuarzo , cristales anhedrales, se encuentra relleno intersticios en los agregados de dolomita II junto a calcita I.	≤ 0,57	Traza

SECUNDARIOS	Calcita II , Se encuentra como parches irregulares con abundantes impregnaciones de limonitas remplazando a los cristales de dolomita I; también ocurre a manera de cemento en los sectores brechoides de la muestra.	$\leq 0,01$	20
	Limonitas , agregados criptocristalinos, se presentan como impregnaciones junto a calcita I remplazando a cristales de dolomita I y en las fracturas brechoides. También se presenta como impregnaciones sobre dolomita II.	$\leq 0,004$	6
	Calcita III , agregados de cristales anhedrales, se presentan rellenando vetillas que atraviesan tanto a los agregados de dolomita I y II como a las generaciones anteriores de calcita. Las vetillas tienen espesores menores a 0,23 mm.	$\leq 0,57$	3
	Goethita , agregados fibrosos subradiados, en ocasiones en agregados bandeados, se presentan remplazando a hematita y pirita; también se encuentra rellenando pequeños moldes incluidos en cristales de dolomita I (probablemente moldes de pirita)	$\leq 0,01$	2
	Hematita , en parches irregulares, se presenta remplazando a pirita, generalmente en moldes de esta. Es parcialmente remplazada por goethita	$\leq 0,05$	1,5

De la Tabla 5.4 se puede obtener la información de la dolomitización importante de la muestra (54%), así como calcita I como reemplazo de dolomita y en sectores brechoides a manera de cemento y calcita III en vetillas. Hay cantidades menores de pirita y óxidos, así como trazas de sílice (calcedonia).

Muestra CF-KM-03

La Tabla 5.5 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-03.

Tabla 5. 5

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-03

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura mineralizada compacta de color pardo claro, conformada por agregados de esfalerita y carbonatos (dolomita) con algunos parches de galena. se observa vetillas de esfalerita y galena. La roca tiene dureza media y densidad alta.	Estructura mineralizada conformada por agregados de dolomita parcialmente remplazados por esfalerita. Se observan vetillas de esfalerita con intersticios de galena; también ocurren vetillas de galena y calcita. Se observa pirita

asociada a esfalerita y sulfosales de plomo como inclusiones en galena.



La Tabla 5.6 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-03.

Tabla 5. 6

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-03



		<i>Mineral</i>	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Esfalerita , es parches irregulares y cristales anhedrales, con una zonación marcada, desde naranja y pardo en los centros a amarillo e incoloro en los bordes. Se encuentra reemplazando a los agregados de dolomita II a partir de sus intersticios, e ingresando a través de vetillas de espesores menores a 7,00 mm. Por sectores se encuentra intercrecida con pirita y sus intersticios están rellenos de galena.	≤ 3,00	58
		Dolomita , cristales anhedrales, de formas vagamente romboidales, se encuentran corroídos y parcialmente reemplazados por parches de esfalerita y pirita. Son atravesados vetillas de esfalerita y vetillas de calcita y galena.	≤ 1,25	25
		Galena , en parches irregulares, se presenta relleno de oquedades y fracturas junto a calcita; también ocurre relleno de espacios en las vetillas de esfalerita a manera de suturas. Presentan inclusiones alargadas de sulfosales de plomo.	≤ 20,00	14
		Calcita , cristales subhedrales e formas alargadas, ocurren relleno de fracturas a manera de vetillas junto a galena.	≤ 0,95	2
		Pirita , cristales anhedrales diseminados en los parches de esfalerita, están especialmente concentrados en los bordes de estos.	≤ 0,32	1
	Accesorios	Cuarzo , cristales subhedrales de hábito prismático, ocurren dispersos entre los agregados de dolomita y englobados en los parches de esfalerita.	≤ 0,20	Traza
		Sulfosales de plomo , cristales subhedrales de formas alargadas, se presentan como inclusiones en los parches de galena.	≤ 0,02	Traza

Muestra CF-KM-04

La Tabla 5.7 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-04.

Tabla 5. 7

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-04

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura mineralizada compacta de color gris oscuro. Se encuentra conformada por relictos de carbonatos reemplazados por esfalerita; además presenta parches de galena. También se observan algunas vetillas rellenas de carbonatos secundarios. La roca presenta dureza y densidad media.	Estructura mineralizada conformada por dos generaciones de dolomita. La primera como remanentes reemplazados por agregados de esfalerita, por sectores cortados por vetillas de dolomita II. Se observan diseminaciones de pirita II, englobados por esfalerita II. También ocurren cristales de galena asociados con dolomita II, los cuales reemplazan esfalerita II; además están reemplazados por sulfosales de plomo.
	

La Tabla 5.8 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-04.

Tabla 5. 8

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-04

		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Esfalerita II , ocurren como parches irregulares, por sectores formando bandas, alternados con carbonatos. Por sectores se encuentran relleno de fracturas e intersticios en dolomitas I y II. Además están reemplazados por cristales de galena y sulfosales de plomo.	≤ 1,56	67
		Dolomita I , cristales de formas anhedrales a subhedrales, romboidales. Se encuentran microfracturados y en general están reemplazados por agregados de cristales de esfalerita II, por sectores completamente englobados. También se presentan reemplazados por galena.	≤ 1,00	20

Accesorios	Dolomita II , agregado de cristales de formas anhedrales a subhedrales, algunos romboédricos. Se encuentran microfracturados, los cuales ocurren como relleno de una vetilla que corta la muestra, con espesor de 1,64mm. Están asociados con agregados de galena.	$\leq 1,27$	5
	Galena , agregado de cristales de formas anhedrales y subhedrales, se presentan como parches, dispersos en la muestra. Por sectores asociados con dolomita II y esfalerita II formando bandas irregulares. Además se encuentran intercrecidos y reemplazados por sulfosales de plomo.	$\leq 2,15$	5
	Sulfosales de plomo , agregado de cristales con formas anhedrales; ocurren como reemplazamiento e intercrecidos con galena, según sus bordes; además de estar relleno de oquedades de esfalerita II. Dispersos en algunas zonas de la muestra.	$\leq 0,27$	2
	Pirita II , ocurren como agregados de microcristales, ocurren como inclusiones de dolomita II. Por sectores se encuentran asociados con sulfosales de plomo. Además están englobados por esfalerita.	$\leq 0,08$	1

Muestra CF-KM-05

La Tabla 5.9 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-05.

Tabla 5. 9

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-05

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura mineralizada compacta de color gris oscuro y blanco. Se encuentra conformada por carbonatos, reemplazados por agregados de esfalerita, por sectores asociados con parches de galena. También se observan vetillas de calcita secundaria. La roca presenta dureza y densidad media.	Estructura mineralizada conformada por dos generaciones de dolomita, la primera como remanentes reemplazados por dolomita II; estos a su vez se encuentran reemplazados por agregados de cristales de esfalerita II. Se observan diseminaciones de pirita II, especialmente como reemplazamiento de esfalerita II según sus bordes; también ocurre galena como relleno de intersticios de dolomita II. Se encuentra cortado por vetillas de calcita y cuarzo secundarios.



La Tabla 5.10 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-05.

Tabla 5. 10
Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-05

		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Esfalerita II , cristales con formas anhedrales a subhedrales, ocurren como parches dispersos en toda la muestra, relleno intersticios, reemplazando y englobando dolomita I y II. Por sectores ocurren asociados con cuarzo II y pirita II, este último por algunas zonas se encuentra reemplazando esfalerita II según sus bordes.	≤ 2,46	61
		Dolomita II , agregado de cristales de formas subhedrales, tabulares y romboidales. Se presentan microfracturados, los cuales reemplazan cristales de dolomita I, en ocasiones englobándolos. Así mismo se encuentran reemplazados por agregados de cristales de esfalerita II, por sectores completamente englobados. Algunos presentan inclusiones de microcristales de pirita II.	≤ 1,73	30
	Accesorios	Dolomita I , agregados de cristales subhedrales, romboidales. Se presentan como relictos reemplazados y englobados por agregados de esfalerita II y dolomita II.	≤ 0,15	4
		Pirita II , microcristales de formas subhedrales, de hábito cúbico; ocurren diseminados en dolomita II, generalmente como inclusiones y en intersticios. Por sectores asociados con microcristales de cuarzo II; además ocurren como relleno de microfracturas y con predominancia a modo de agregados finos que reemplazan cristales de esfalerita II según sus bordes.	≤ 0,08	1
		Galena , cristales de formas anhedrales, tabulares; se presentan como agregado de cristales, que rellenan intersticios de dolomita II, asociados con esfalerita II.	≤ 0,13	Traz a
		Material carbonoso , se presentan como agregados criptocristalinos, los cuales rellenan intersticios de dolomita II, por algunas zonas de la muestra.	≤ 0,004	Traz a



SECUNDARIOS	Cuarzo II , cristales subhedrales, prismáticos y granulares. Se presentan agrupados, por sectores con inclusiones de pirita II; además rellenan intersticios de dolomita II. Por sectores están asociados con calcita relleno de vetilla, que corta cristales de dolomita II y esfalerita II.	≤ 0,56	2
	Calcita , cristales de formas anhedrales y subhedrales, tabulares; ocurren como relleno de vetillas y cavidades, algunos asociados con cristales de cuarzo II, presentan espesores de 0,80mm.	≤ 2,26	2

Muestra CF-KM-06

La Tabla 5.11 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-06.

Tabla 5. 11

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-KM-06

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura mineralizada compacta de color gris oscuro y blanco. Se encuentra conformada por agregados de esfalerita que reemplazan carbonatos relícticos. También se observan vetillas de carbonatos secundarios que reemplazan y cortan la estructura mineralizada. La roca presenta dureza y densidad media.	Estructura mineralizada conformada por cristales de dolomita II, los cuales se encuentran reemplazados por agregados de esfalerita II. Se observan microcristales de pirita I como inclusiones de dolomita II y también englobados por esfalerita II. Los cristales de esfalerita se encuentran reemplazados por pirita II, galena y sulfosales de plomo, según sus bordes. La muestra está cortada por una vetilla de calcita.
	

La Tabla 5.12 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-06.

Tabla 5. 12

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-KM-06

Mineral	Tamaño (mm)	%
----------------	--------------------	----------

CRISTALES	Esenciales	Esfalerita II , cristales de formas anhedrales y subhedrales, tabulares. Se encuentran microfracturados y algunos zonados. Ocurren como reemplazamiento de dolomita II, y a su vez se encuentran reemplazados por agregados de sulfosales de plomo y galena. En ocasiones presentan inclusiones de pirita I. También se encuentran cortados por fracturas rellenas por pirita II.	$\leq 3,45$	57
		Dolomita II , cristales de formas anhedrales a subhedrales, algunos romboidales. Se presentan como constituyentes de la muestra, los cuales fueron reemplazados por agregados de esfalerita II. Por sectores se encuentran como relictos completamente englobados. Presentan inclusiones de pirita I.	$\leq 2,61$	25
	Accesorios	Pirita I , cristales de formas anhedrales y subhedrales, ocurren como inclusiones de dolomita II, por sectores están englobados por esfalerita II.	$\leq 0,18$	1
		Esfalerita I , cristales de formas subhedrales, ocurren como remanentes reemplazados por agregados de esfalerita II, en contacto con vetilla de calcita secundaria.	$\leq 1,64$	1
		Pirita II , agregado de microcristales de formas anhedrales. Ocurren como relleno de fracturas que cortan agregados de esfalerita II. Así mismo se muestran como agregados finos en borde de esfalerita II.	$\leq 0,04$	1
		Sulfosales de plomo , agregado de microcristales de formas anhedrales e irregulares; ocurren como reemplazamiento de esfalerita II según sus bordes, están asociados a pirita II.	$\leq 0,05$	Traza
	Galena , cristales de formas subhedrales, tabulares. Ocurren puntualmente como reemplazamiento de esfalerita II según sus bordes, de igual forma en intersticios de esfalerita II y dolomita II, junto con pirita II.	$\leq 0,10$	Traza	
SECUNDARIOS		Calcita , cristales de formas anhedrales, tabulares. Se presentan como relleno de una vetilla que corta la muestra, con espesor de 10mm.	$\leq 2,00$	15

Comparación de fotomicrografías del sector Karen Milagros

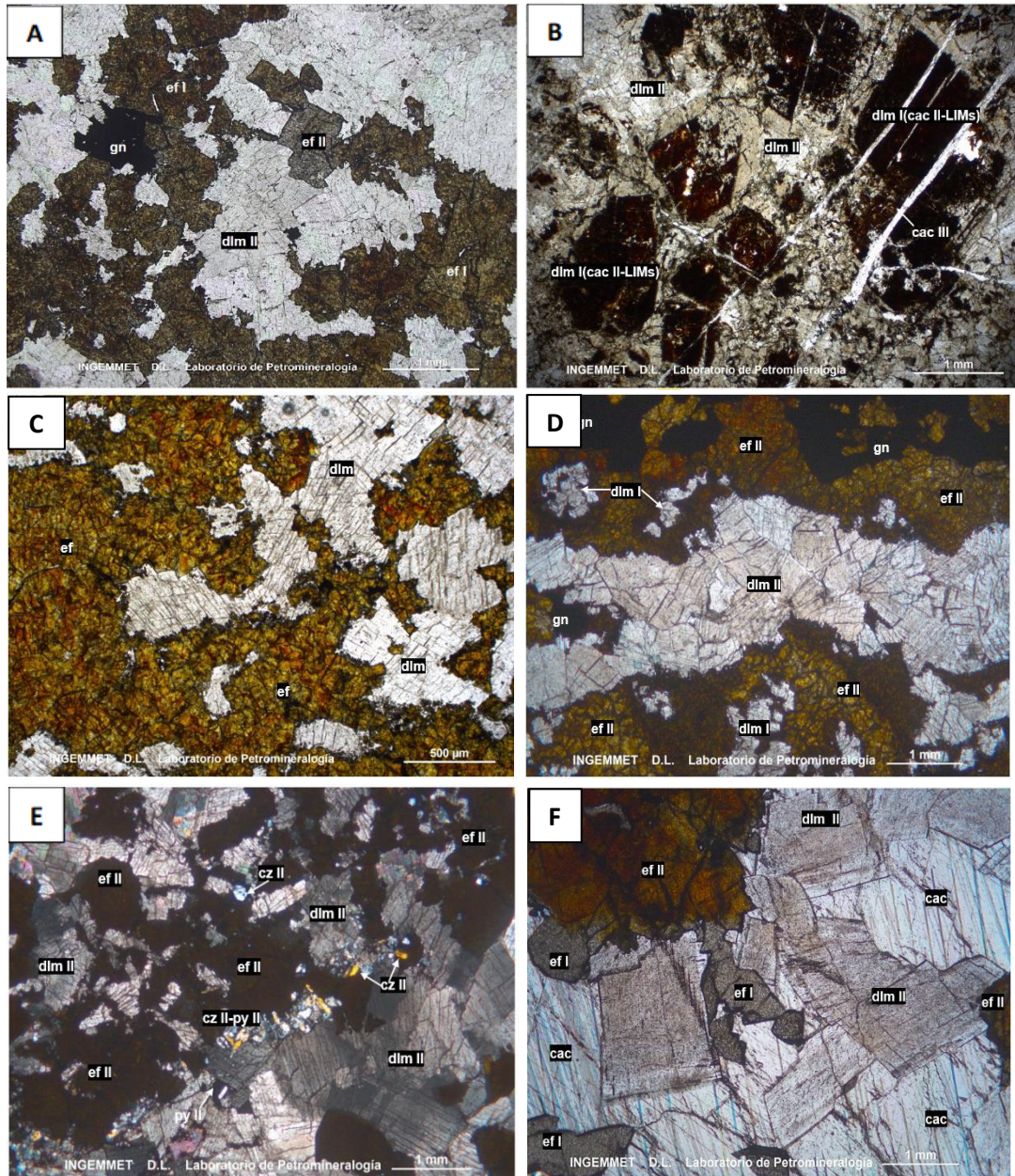


Figura 5. 1 Fotomicrografías del proyecto Cañón Florida-sector Karen Milagros

De la Figura 5.1, se tiene lo siguiente:

- A. CF-KM-01. Agregados de dolomita II: dlm II, con posterior relleno de esferita I: ef I, presencia de esferita II: ef II como sobrecrecimiento hacia los bordes y en microfracturas;

finalmente se observa galena: gn como relleno en intersticios.

- B. CF-KM-02. Cristales de dolomita I reemplazados por calcita II y limonitas: dlm I (cac II-LIMs), con coronas y espacios rellenos de dolomita II (dlm II) y atravesados por vetillas de calcita III (cac III).
- C. CF-KM-03 Agregados de dolomita: dlm reemplazados por esfalerita: ef desde sus intersticios.
- D. CF-KM-04 Cristales de dolomita I: dlm I, reemplazados por esfalerita II: ef II, este último presenta parches de galena: gn. Además, la muestra se encuentra cortada por vetillas de dolomita II: dlm II.
- E. CF-KM-05 Cristales de dolomita II: dlm II, reemplazados por agregados de esfalerita II: ef II, con sus intersticios rellenos por cuarzo II y pirita II: cz II-py II.
- F. CF-KM-06 Cristales de dolomita II: dlm II, reemplazados por esfalerita II: ef II, además se encuentran cortados por una vetilla de calcita: cac. También se observa remanentes de esfalerita I: ef I.

b. Sector San Jorge

Muestra CF-SJ-01

La Tabla 5.13 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-01

Tabla 5. 13

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-01

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura de relleno y reemplazamiento de esfalerita (II) en dolomitas (II) secundarias. Fragmentos de dolomías sin reemplazamiento de sulfuros. Galena (II) posterior al evento de esfalerita (II), asociada a sulfosales. Dolomita II-Esfalerita II-Galena II	Muestra de estructura con textura de reemplazamiento y relleno; se encuentra conformada por eventos de mineralización de esfalerita II con pirita II y galena con sulfosales de plomo, los cuales cortan el evento de dolomita II que a su vez presenta diseminaciones de pirita I.



La Tabla 5.14 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra CF-SJ-01.

Tabla 5. 14

Síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra CF-SJ-01

		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Esfalerita II , cristales con formas anhedrales, se presentan como relleno de estructuras cortando la secuencia de dolomita. Además, presenta diseminaciones de pirita II.	$\leq 1,16$	52
		Dolomita II , agregados de cristales con formas subhedrales a euhedrales con hábitos romboidales, se presentan como relleno de la muestra, cortado por estructura rellenas principalmente de esfalerita II. Además, se observan diseminaciones de finos cristales de pirita I, presentes en sus intersticios.	$\leq 1,88$	32
		Galena , cristales con formas anhedrales a subhedrales, se presentan posterior al evento de relleno de esfalerita. Algunos se observan junto con sulfosales de plomo.	$\leq 6,45$	11
	Accesorios	Pirita II , agregado de cristales con formas anhedrales, presentes como relleno de estructuras que se encuentran cortando la secuencia de dolomita II, diseminados en esfalerita II.	$\leq 0,50$	4
		Pirita I , cristales con formas anhedrales, se encuentran diseminados en intersticios de cristales de dolomita II.	$\leq 0,04$	1
		Sulfosales de Plomo , cristales con formas anhedrales, diseminados junto con galena como relleno cortante al evento de esfalerita II y dolomita II.	$\leq 0,18$	Traza
	Cuarzo II , cristales con formas anhedrales, presentes en intersticios de la muestra.	$\leq 0,08$	Traza	

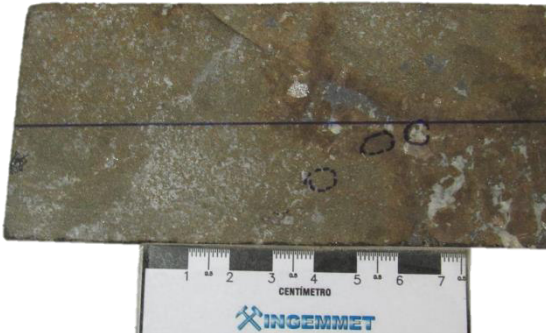
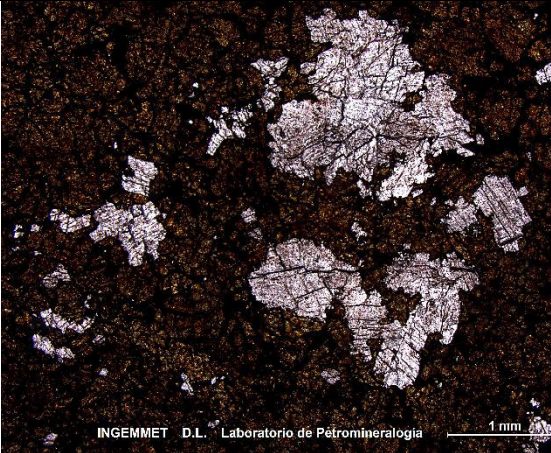
Muestra CF-SJ-02

La Tabla 5.15 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-02

Tabla 5. 15

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-02

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura de relleno y reemplazamiento de esfalerita (II) en dolomitas (II) secundarias, con escasas diseminaciones de galena (II). Esfalerita (III) botroidal oscura	Muestra de estructura con textura de reemplazamiento y relleno; se encuentra conformada por eventos de mineralización de esfalerita II con escasa pirita II y galena, los cuales cortan el evento de dolomita II que a su vez presenta diseminaciones de pirita I. Además, se presenta un evento de relleno posterior, con ocurrencia de esfalerita III, de mayor tamaño y con formas botroidales.

La Tabla 5.16 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-02.

Tabla 5. 16

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-02

		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Esfalerita II , agregados de cristales con formas anhedrales, se encuentran como constituyente principal de la muestra, reemplazando los agregados de dolomita II, y siendo reemplazados por el evento de esfalerita III. Además ocurren con inclusiones de pirita II, presentes en sus intersticios.	≤ 0,58	60
		Esfalerita III , agregados de cristales con formas anhedrales a subhedrales, se distinguen zonaciones y en algunos casos poseen formas botroidales. Ocurre como relleno posterior al evento de esfalerita II.	≤ 2,70	22

Accesorios	Dolomita II , agregados de cristales con formas subhedrales a euhedrales, algunas con hábitos romboidales, se presentan como relleno de la muestra, ocurren totalmente cortados por el evento de minerales metálicos. Se distinguen disseminaciones de finos cristales de pirita I.	$\leq 3,65$	17
	Galena , cristales con formas subhedrales, presentes como disseminados en intersticios, ocurren posterior al relleno de esfalerita II y pirita II, cortando la secuencia de dolomita II.	$\leq 0,65$	1
	Pirita II , cristales con formas anhedrales, ocurren a modo de disseminaciones en cristales de esfalerita II, ocupando sus intersticios.	$\leq 0,09$	Traza
	Pirita I , cristales con formas anhedrales, se encuentran como escasas disseminaciones en dolomita II.	$\leq 0,03$	Traza

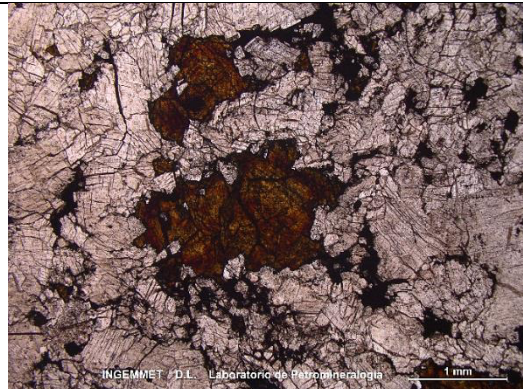
Muestra CF-SJ-03

La Tabla 5.17 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-03.

Tabla 5. 17

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-03

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Dolomita II (con disseminaciones de pirita I), se encuentra reemplazada por esfalerita (II) anhedral (con inclusiones de pirita (II)), reemplazada por parches de galena (II). Toda la muestra es cortada por vetillas de calcita (II) de 2 mm de ancho y venillas de materias carbonoso. La presencia de cristales tabulares de calcita de tamaños de 4-5 mm y textura de flujo genera un aspecto brechoide. Estos cristales ocurren a manera de pseudomorfos de sulfatos preexistentes.	Muestra de estructura con textura de relleno; se encuentra conformada por agregados de dolomita II con finas disseminaciones de pirita I, cortados por un evento de esfalerita II junto con pirita II. Luego se presentan trazas de galena y sulfosales de plomo en intersticios. En menor proporción se observan agregados de cuarzo II presentes en intersticios. Por último se distinguen vetillas con relleno de calcita cortando la secuencia anteriormente descrita.



La Tabla 5.18 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-03.

Tabla 5. 18

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-03


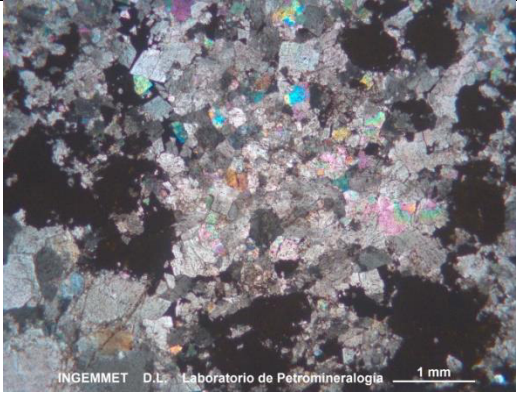
		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Dolomita II , agregados de cristales con formas anhedrales a subhedrales, con hábitos romboidales, algunos cristales con maclados. Se presentan como relleno de la muestra, posteriormente cortados por vetillas de calcita. Ocasionalmente presentan finas diseminaciones de pirita I.	$\leq 2,16$	78
		Esfalerita II , agregados de cristales con formas anhedrales, se encuentran reemplazando los agregados de dolomita II. Además, algunos ocurren con inclusiones de pirita II, presentes en sus intersticios.	$\leq 2,70$	11
	Accesorios	Pirita II , cristales con formas anhedrales, ocurren asociados con cristales de esfalerita II, ocupando sus intersticios y fracturas, en ocasiones como inclusiones.	$\leq 0,48$	3
		Pirita I , cristales con formas anhedrales, se encuentran a modo de diseminados en cristales de dolomita II.	$\leq 0,05$	2
		Material carbonoso , agregados con formas anhedrales, ocurren como relleno de microfracturas que cortan la secuencia preexistente.	$\leq 0,004$	Traza
		Sulfosales de Plomo , cristales con formas anhedrales, algunos con ligero maclado; se encuentran diseminados en intersticios y asociados con el evento de mineralización junto con galena.	$\leq 0,19$	Traza
		Galena , cristales con formas anhedrales a subhedrales, se presentan posterior al evento de esfalerita II.	$\leq 0,17$	Traza
SECUNDARIOS		Calcita , cristales con formas anhedrales a subhedrales, ocurren rellenando vetillas que cortan la secuencia de dolomita II a lo largo de toda la muestra.	$\leq 1,84$	6
		Cuarzo II , agregados de cristales con formas anhedrales, con ligera extinción ondulante, se observan rellenando intersticios entre cristales de dolomita II.	$\leq 0,36$	Traza
		Goethita , agregados criptocristalinos presentes como relleno en intersticios de lo muestra.	$\leq 0,004$	Traza

Muestra CF-SJ-04

La Tabla 5.19 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-04.

Tabla 5. 19

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-04

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura mineralizada bandeada compacta de color gris oscuro y blanco. Se encuentra conformada por bandas claras conformadas por carbonatos de grano medio a grueso, intercalada con bandas oscuras de granulometría fina; además están reemplazados por agregados de esfalerita. La muestra presenta densidad y dureza media.	Estructura mineralizada conformada por dos generaciones de dolomita, la primera ocurre como remanentes reemplazados por dolomita II, estos a su vez están reemplazados por agregados de esfalerita II. Se observan diseminaciones de pirita II, especialmente como agregados finos en borde de esfalerita como reemplazamiento, asociados con sulfosales de plomo. También ocurren cristales de cuarzo II de forma intersticial entre cristales de dolomita I y II.
	

La Tabla 5.20 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-04.

Tabla 5. 20

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-04

		<i>Mineral</i>	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Dolomita II , cristales de formas subhedrales, con hábitos tabulares y romboidales. Se encuentran microfracturados, los cuales ocurren como reemplazamiento de agregados de dolomita I; por sectores presentan intersticios rellenos por sulfosales de plomo y pirita II. Algunos poseen inclusiones de pirita II.	≤ 3,80	48
		Esfalerita II , cristales de formas anhedrales a subhedrales, tabulares. Se encuentran microfracturados y algunos están zonados. Ocurren como reemplazamiento de dolomita I y II. Por sectores se encuentran reemplazados por pirita II según sus bordes.	≤ 3,07	30

ACCESORIOS	Dolomita I , cristales de formas anhedrales y subhedrales, romboidales. Se encuentran reemplazados por agregados de esfalerita II; en ocasiones ocurren como remanentes cortados y reemplazados por agregados de dolomita II. Sus intersticios están rellenos por limonitas.	$\leq 0,60$	16
	Pirita II , cristales de formas anhedrales, cúbicos. Se presenta diseminados en cristales de dolomita II; también se encuentran relleno de fracturas e intersticios, por sectores asociados con sulfosales de plomo, con mayor predominancia ocurren en los bordes de algunos cristales de esfalerita II.	$\leq 0,13$	3
	Sulfosales de plomo , agregado de cristales de formas anhedrales, por sectores presentan terminaciones aciculares según sus bordes. Ocurren en borde de agregados de cristales de esfalerita II, junto con pirita II; también como relleno de oquedades e intersticios de dolomita II.	$\leq 0,20$	2
	Limonitas , agregados criptocristalinos, ocurren como impregnación de dolomita I, también de forma intersticial.	$\leq 0,004$	Traza
SECUNDARIOS	Cuarzo II , cristales de formas anhedrales, se encuentran como relleno de intersticios de dolomita II, en general como reemplazamiento.	$\leq 1,10$	1

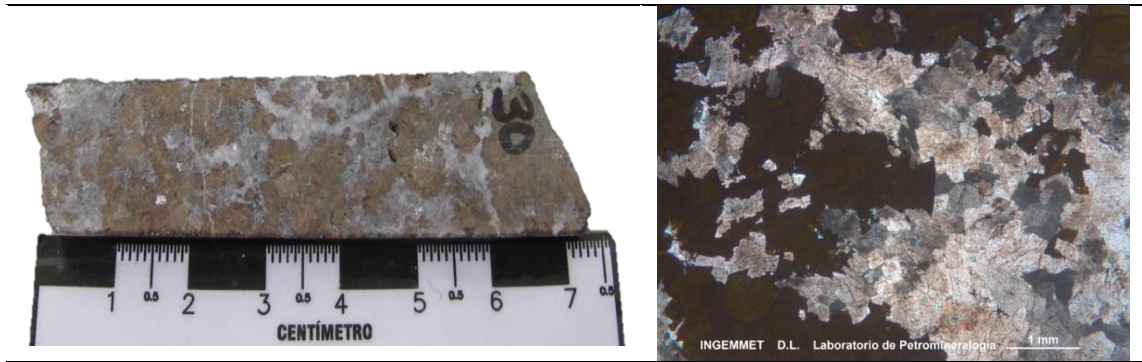
Muestra CF-SJ-05

La Tabla 5.21 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-05.

Tabla 5. 21

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-05

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura mineralizada compacta de color gris pardo. Se encuentra conformada por agregado de cristales de esfalerita que reemplazan relictos de carbonatos. También se observan carbonatos secundarios como relleno de vetillas. La muestra presenta dureza y densidad media.	Estructura mineralizada conformada por cristales de dolomita II impregnados por arcillas, además se encuentran reemplazados por agregados de cristales de esfalerita II, de forma intersticial presentan cristales de cuarzo II. También se observan diseminaciones de microcristales de pirita II que reemplazan cristales de dolomita II y esfalerita II según sus bordes.



La Tabla 5.22 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-05.

Tabla 5. 22

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra CF-SJ-05

		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Esfalerita II , cristales de formas anhedrales a subhedrales, tabulares. Se presentan microfracturados y algunos zonados. Ocurren como agregados de cristales que reemplazan dolomita II, por sectores englobándolos. Según sus oquedades y bordes se encuentran reemplazados por agregados finos de pirita II.	≤ 4,00	58
		Dolomita II , cristales de formas anhedrales a subhedrales, romboidales y tabulares. Se encuentran reemplazados por agregados de esfalerita II, por sectores completamente englobados; también por agregados finos de pirita II según sus bordes e intersticios. Presentan impregnación de arcillas.	≤ 1,50	40
	Accesorios	Pirita II , microcristales de formas anhedrales y subhedrales, algunos hexagonales. Ocurren como diseminación en toda la muestra, con mayor proporción como agregados finos que reemplazan cristales de esfalerita II y dolomita II según sus bordes; también rellenan fracturas de la muestra.	≤ 0,05	2
		Cuarzo II , microcristales de formas subhedrales y euhedrales, prismáticos cortos y hexagonales. Ocurren como relleno de intersticios de dolomita II y fracturas.	≤ 0,13	Traz a
		Arcillas , agregados criptocristalinos, de aspecto pulverulento; ocurren como impregnación de cristales de dolomita II.	≤ 0,004	Traz a

Muestra CF-SJ-06

La Tabla 5.23 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-06

Tabla 5. 23

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra CF-SJ-06

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Estructura mineralizada compacta de color gris oscuro y blanco. Se encuentra conformada por carbonatos de color gris oscuro como remanentes, estos son reemplazados por carbonatos de color blanco, asociados con agregados de cristales de esfalerita. La muestra presenta dureza y densidad media.	Estructura mineralizada conformada principalmente por cristales de dolomita I reemplazados por agregados de esfalerita II y dolomita II, este último por sectores se presenta como vetillas. Se observan disseminaciones de pirita II en intersticios de dolomita II, asociados con cuarzo II y esfalerita II.
	

La Tabla 5.24 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra CF-SJ-06.

Tabla 5. 24

Síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra CF-SJ-06

Mineral		Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Dolomita I , cristales de formas subhedrales y euhedrales, romboidales. Se encuentran microfracturados. Ocurren como principal constituyente de la muestra, reemplazados por esfalerita II y dolomita II.	≤ 1,00	54
	Esfalerita II , cristales de formas anhedrales y subhedrales, tabulares. Ocurren microfracturados y algunos zonados. Se presentan como reemplazamiento de dolomita I. Además, se encuentran reemplazados por agregados finos de pirita II según sus bordes y fracturas.	≤ 4,00	30
	Dolomita II , cristales de formas anhedrales y subhedrales, romboidales y tabulares. Ocurren como reemplazamiento de dolomita I, asociados con esfalerita II. Por sectores mostrándose como vetillas que cortan la muestra, asociados con cuarzo II y pirita II.	≤ 2,88	12

Accesorios	Pirita II , microcristales de formas anhedrales y subhedrales, hexagonales. Ocurren diseminados en cristales de dolomita II, también de forma intersticial, asociados con cuarzo II. Por sectores ocurren como agregados finos que reemplazan esfalerita II según sus bordes y fracturas.	$\leq 0,10$	2
	Cuarzo II , microcristales de formas subhedrales, prismáticos y hexagonales. Ocurren como relleno de intersticios de cristales de dolomita II, asociados con pirita II y esfalerita II.	$\leq 0,30$	1
	Esfalerita I , cristales de formas subhedrales, tabulares; ocurren como remanentes reemplazados por esfalerita II, en contacto con vetilla de dolomita II.	$\leq 2,42$	1

Comparación de fotomicrografías del sector San Jorge

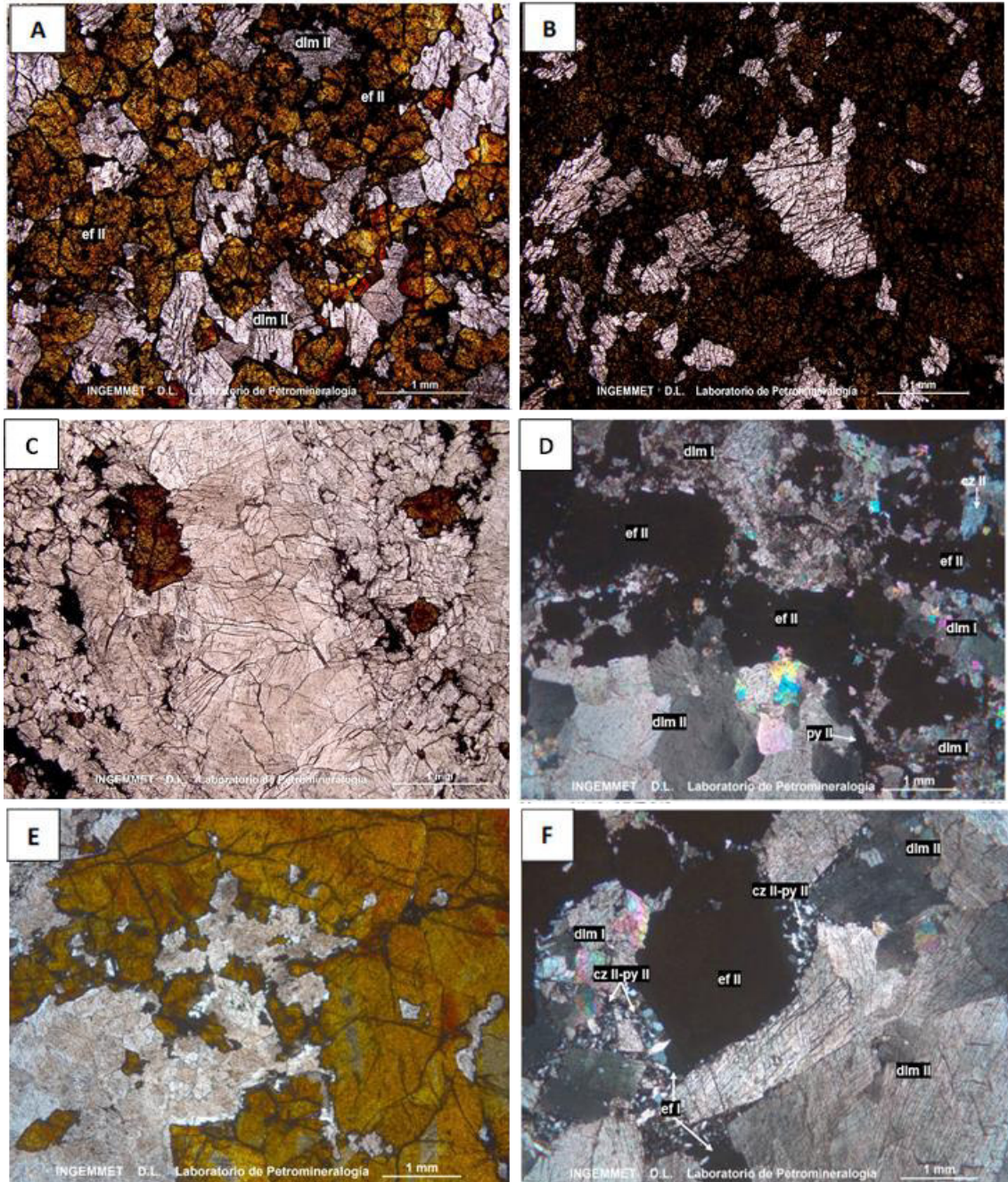


Figura 5. 2 Fotomicrografías del proyecto Cañón Florida-sector San Jorge

De la Figura 5.2, se tiene:

- A. CF-SJ-01: Agregados de esfalerita II: ef II, englobando a la dolomita II: dlm II, estos últimos se presentan con hábitos rómbicos característicos.

- B. CF-SJ-02: Agregados de dolomita II: dlm II, con hábitos rómbicos, siendo cortados por un evento de relleno de esfalerita II: ef II.
- C. CF-SJ-03: Agregados de dolomita II: dlm II, con hábitos romboidales, con presencia de esfalerita II: ef II, cortados por vetillas de calcita: cac, cortando la secuencia mencionada.
- D. CF-SJ-04: Cristales de dolomita I y dolomita II: dlm I-dlm II, reemplazados por agregados de esfalerita II: ef II, cristales de cuarzo II: cz II. Además, agregados de pirita II: py II que rellenan fracturas.
- E. CF-SJ-05: Cristales de dolomita II: dlm II, reemplazados por agregados de esfalerita II: ef II. Agregado de microcristales de pirita II: py II que reemplazan esfalerita II: ef II.
- F. CF-SJ-06: Cristales de dolomita I: dlm I, reemplazados dolomita II y esta por esfalerita II: ef II. Se encuentran cortados por vetillas de cuarzo II: cz II, y pirita II: py II. También cristales de esfalerita I: ef I.

c. Secuencia paragenética del proyecto Cañón Florida

El sector Karen Milagros, presenta para sus muestras las siguientes secuencias paragenéticas:

- Muestra CF-KM-01: Dolomita II – pirita-esfalerita I – esfalerita II-galena II
- Muestra CF-KM-02: Dolomita I – dolomita II – pirita I – (calcita I – cuarzo) – (hematita – goethita) – (calcita II – limonitas) – calcita III
- Muestra CF-KM-03: Cuarzo I – dolomita I – (esfalerita II – pirita I) – galena II – sulfosales de plomo – calcita III
- Muestra CF-KM-04: Dolomita I – (dolomita II – pirita II) – esfalerita II – (galena II – sulfosales de plomo)
- Muestra CF-KM-05: Dolomita I – dolomita II – (esfalerita II – pirita II) – galena I – cuarzo II – calcita III
- Muestra CF-KM-06: Dolomita I-pirita I-(esfalerita I-esfalerita II)-pirita II-(galena II-sulfosales de plomo)-calcita III

El sector San Jorge, presenta para sus muestras las siguientes secuencias paragenéticas:

- Muestra CF-SJ-01: (Dolomita II – pirita I) – (esfalerita II – pirita II) – (galena II – sulfosales de plomo) – cuarzo II
- Muestra CF-SJ-02: (Dolomita II – pirita I) – (esfalerita II – pirita II) – galena II – esfalerita III
- Muestra CF-SJ-03: (Dolomita II – pirita I) – (esfalerita II – pirita II) – (galena II – sulfosales de plomo) – cuarzo II – calcita II – goethita
- Muestra CF-SJ-04: (dolomita I – dolomita II) – (esfalerita II – pirita II) – (sulfosales de plomo) – (cuarzo II) – limonitas
- Muestra CF-SJ-05: Dolomita II – esfalerita II – pirita II – cuarzo II
- Muestra CF-SJ-06: Dolomita I – dolomita II – (esfalerita I – esfalerita II – pirita II) – cuarzo II

En síntesis, respecto a los resultados, en las fases de dolomitización se evidencia la presencia de una débil diseminación de pirita, esfalerita y galena tanto en los cristales de dolomita II, como en los intersticios rellenos por bitumen. Este evento se interpreta como un primer estadio de precipitación mineral asociado a la reducción termoquímica por la presencia de bitumen. La textura diseminada de la mineralización sustenta su origen en la reducción termoquímica, generando mineralización por difusión y no por infiltración. La dolomitización sin embargo, permitió la creación de porosidad secundaria la cual facilitó mineralización de relleno (masiva en las cercanías de los feeders y semimasiva a diseminada hacia las zonas distales de los mismos) por infiltración en estadios posteriores de la secuencia paragenética.

La Figura 5.3. muestra la secuencia paragenética del proyecto Cañón Florida, obtenida de la interpretación de las descripciones macroscópicas y microscópicas.

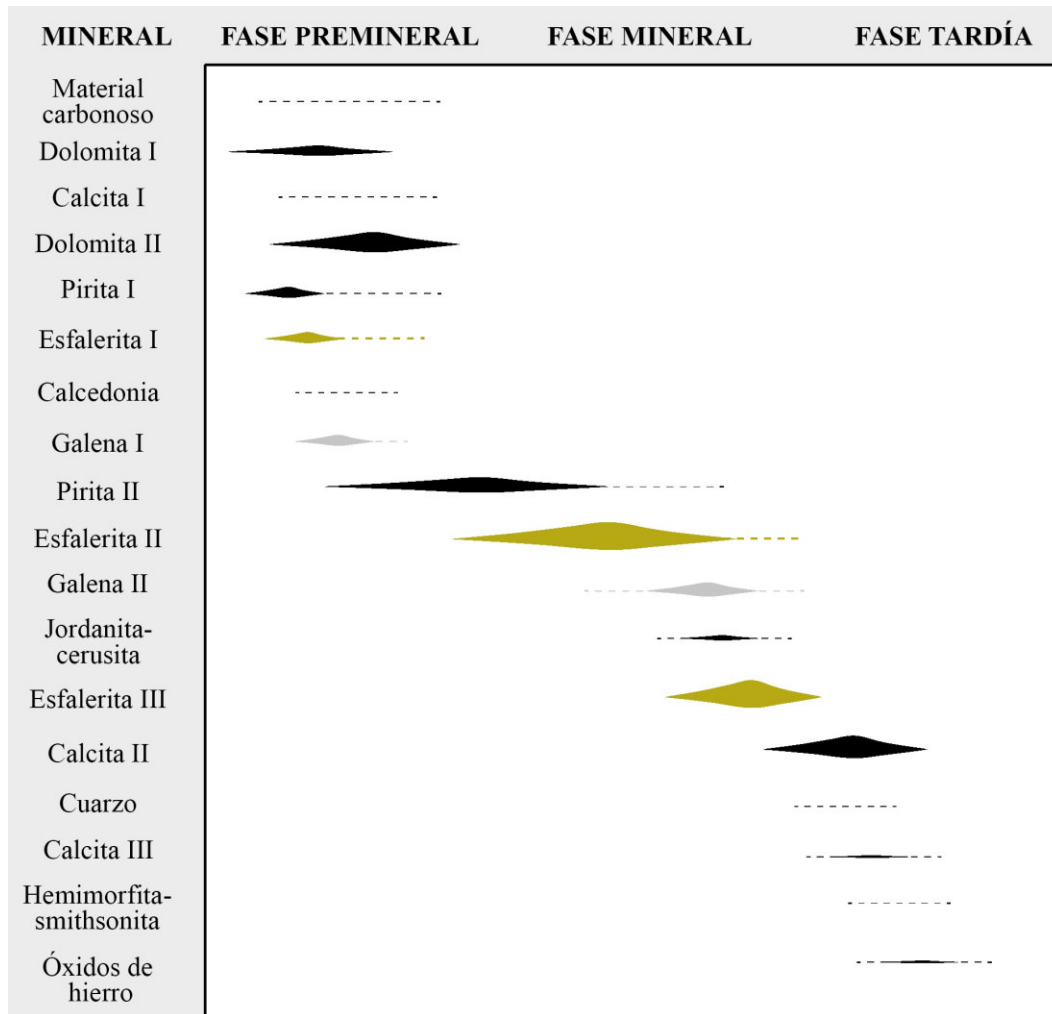


Figura 5. 3 Secuencia paragenética del proyecto Cañón Florida

5.1.2 Proyecto Florcita

Los resultados del proyecto Florcita se presentan a continuación.

Muestra F-01

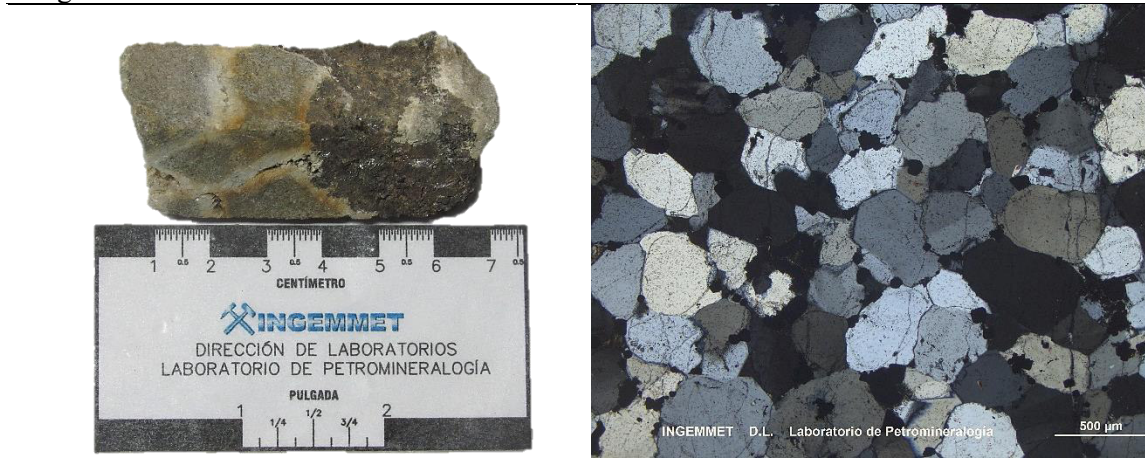
La Tabla 5.25 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra F-01.

Tabla 5. 25
Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra F-01

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
--------------------------	--------------------------

Roca sedimentaria compacta de color gris y textura clástica; está conformada por agregados de cuarzo cortados por relleno de dolomita, algunos con ligeras impregnaciones de óxidos, a su vez afectados por un evento posterior con relleno de esfalerita. Posee densidad y dureza media, ausente de magnetismo.

Roca sedimentaria con textura clástica, matriz soportada, está constituida por granos de cuarzo y carbonatos, en una matriz conformada por escasas arcillas y micas. Se aprecia relleno de dolomita II, que por sectores es encuentran cementando los granos de cuarzo.



La Tabla 5.26 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra F-01.

Tabla 5. 26

Síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra F-01

		<i>Mineral</i>	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Cuarzo , granos con formas anhedrales, microfracturados, constituyente principal de la muestra, la mayoría posee extinción recta, algunos con extinción ondulante. Posee moderada a alta esfericidad, con algunas inclusiones de zircón y cristales de pirita como diseminaciones.	≤ 0,90	55
	Accesorios	Pirita , cristales con formas subhedrales a euhedrales, algunos con hábitos cúbicos, se encuentran a modo de diseminados en la muestra.	≤ 0,36	10
		Cuarzo policristalino , agregados de cristales con formas anhedrales y extinción ondulante.	≤ 1,08	1
		Feldespatos , granos con formas anhedrales con bordes subredondeados, alterados de manera incipiente a arcillas.	≤ 0,38	Traza
		Zircón , cristales con formas euhedrales con hábitos tabulares, ocurren diseminados en la muestra.	≤ 0,14	Traza

MATRIZ	Arcillas , agregados criptocristalinos, se presentan como constituyente de la matriz junto con micas, ocasionalmente con impregnaciones de limonitas.	$\leq 0,004$	2
	Micas , agregados microfibrosos, se aprecian en intersticios de cuarzo como matriz junto con arcillas.	$\leq 0,05$	Traza
LÍTICOS	Alterados , se encuentran con formas subhedrales, están completamente alterados por arcillas y micas, con impregnaciones de limonitas.	$\leq 0,72$	Traza
SECUNDARIOS	Dolomita II , agregados de cristales con formas subhedrales, algunos en sección rómbica, maclados, además como relleno en vetillas que cortan a la muestra; también se aprecian como relleno en intersticios de granos de cuarzo a modo de cemento.	$\leq 2,00$	32
	Mineral de Azufre , se presentan como agregados criptocristalinos como relleno de microfracturas e intersticios de la muestra.	-	Traza
	Limonitas , agregados criptocristalinos, presentes como impregnaciones en sectores de la matriz y ocasionalmente como relleno en microfracturas.	$\leq 0,004$	Traza
	Arcillas , agregados criptocristalinos ocurren por alteración de feldespatos.	$\leq 0,004$	Traza

Muestra F-02

La Tabla 5.27 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra F-02.

Tabla 5. 27

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra F-02

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Muestra de reemplazamiento compacta de color gris a blanquecino, con intersticios de coloración negruzca debida a la esfalerita; está conformada principalmente por relleno de carbonatos (dolomita), se aprecia relleno de esfalerita posterior a los carbonatos. Posee densidad y dureza media, ausente de magnetismo.	Muestra dolomitizada con textura de reemplazamiento y relleno, está conformada por agregados de carbonatos (dolomita II reemplazando dolomita I), con esfalerita I y pirita diseminados en intersticios, además abundante mineral de azufre como relleno en intersticios y microfracturas, en ocasiones aprovechando los planos de clivaje de los carbonatos.



La Tabla 5.28 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra F-02.

Tabla 5. 28

Síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra F-02



		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Dolomita II , agregados de cristales con formas subhedrales, algunos con formas romboidales. Se presentan como componente principal de la muestra, con granulometría variable; además por sectores poseen leves impregnaciones de goethita. También con diseminaciones de pirita a lo largo de la muestra.	$\leq 4,00$	48
		Dolomita I , agregados de cristales con formas subhedrales a euhedrales con hábitos romboidales. Se encuentran siendo reemplazados por agregados de dolomita II.	$\leq 0,15$	12
	Accesorios	Esfalerita I , cristales con formas anhedrales, se presentan en intersticios de agregados de dolomita II.	$\leq 5,64$	7
		Pirita , cristales con formas anhedrales, se encuentran a modo de diseminados en los agregados de dolomita II.	$\leq 0,46$	1
		Esfalerita II , cristales con formas anhedrales, ocurren reemplazando a la esfalerita I como sobrecrecimiento del mismo hacia sus bordes.	$\leq 0,24$	Traza
SECUNDARIO	S	Mineral de azufre , ocurren como agregados criptocristalinos a modo de relleno en microfracturas e intersticios de dolomita II, en ocasiones aprovechando los planos de clivaje.	$\leq 0,05$	32
		Goethita , agregados criptocristalinos presentes como impregnaciones sobre dolomita II.	$\leq 0,004$	Traza

Muestra F-03

La Tabla 5.29 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra F-03.

Tabla 5. 29

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra F-03

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Roca sedimentaria compacta de color gris ligeramente parduzco y textura clástica; está compuesta por cuarzo y arcillas cortados por eventos de dolomita con diseminaciones de pirita, los que posteriormente son afectados por relleno de esfalerita. Posee densidad y dureza media, ausente de magnetismo.	Roca sedimentaria con textura clástica, está constituida principalmente por granos de cuarzo (monocristalinos y policristalinos), con escasos fragmentos líticos alterados; por sectores se aprecian cementados por un relleno de dolomita II, además se distingue relleno de dolomita I, y posterior a los eventos de carbonatos un relleno de esfalerita.
	

La Tabla 5.30 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra F-03.

Tabla 5. 30

Síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra F-03

		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Cuarzo , granos con formas anhedrales, con leves microfracturas, principalmente con extinción recta, algunos poseen extinción ondulante. Posee baja esfericidad, en algunas zonas de la muestra se aprecia el cementado dado por la dolomita II.	$\leq 2,62$	48
	Accesorios	Cuarzo policristalino , agregados de cristales con formas anhedrales y bordes subredondeados a subangulosos; además poseen extinción ondulante.	$\leq 0,20$	1
		Feldespatos , se presentan con formas anhedrales y algunos con bordes subangulosos, en ocasiones se aprecian levemente maclados.	$\leq 0,32$	Traza

	Turmalina , cristales con formas anhedrales, se encuentran diseminados en la muestra.	$\leq 0,14$	Traza
MATRIZ	Arcillas , agregados criptocristalinos presentes como constituyente de la escasa matriz entre granos de cuarzo y ocasionalmente con fragmentos de los mismos.	$\leq 0,004$	3
LÍTICOS	Alterados , se encuentran con formas subangulosos a subredondeados, están completamente alterados por sílice con impregnaciones de limonitas y diseminaciones de pirita, otros con fragmentos de cuarzo en matriz micácea.	$\leq 1,20$	Traza
SECUNDARIOS	Esfalerita I , agregados de cristales con formas anhedrales, se presentan microfracturados. Están siendo reemplazadas por agregados de esfalerita II.	$\leq 8,24$	20
	Dolomita II , agregados de cristales con formas subhedrales, algunos con sección rómbica, levemente maclados, se encuentran como relleno posterior y cortante a la muestra; también rellenan intersticios entre granos de cuarzo a modo de cemento, además se aprecia con diseminados de pirita I.	$\leq 2,42$	17
	Dolomita I , agregados de cristales con formas subhedrales a euhedrales, presentes en sección rómbica, maclados, se encuentran hacia un sector de la sección y con diseminaciones de pirita I.	$\leq 0,22$	8
	Pirita , cristales con formas subhedrales a anhedrales, presentes como diseminados en los agregados de dolomita.	$\leq 0,48$	2
	Esfalerita II , cristales con formas anhedrales, ocurren reemplazando a la esfalerita I como sobrecrecimiento y en microfracturas.	$\leq 0,35$	1
	Mineral de azufre , agregados criptocristalinos se encuentran como relleno en intersticios y microfracturas.	$\leq 0,004$	Traza
	Limonitas , se observan como agregados criptocristalinos a modo de impregnaciones en matriz en intersticios de granos de cuarzo.	$\leq 0,004$	Traza

Comparación de fotomicrografías del proyecto Florcita

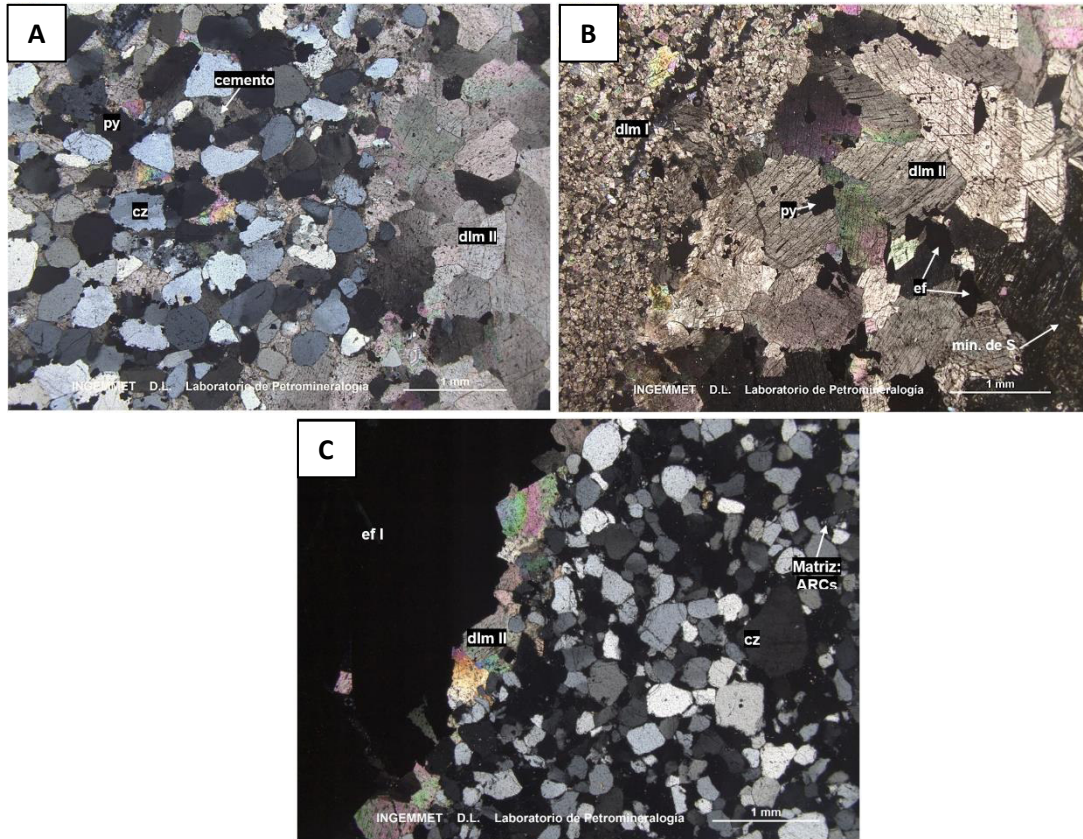


Figura 5. 4 Fotomicrografías del proyecto Florcita

De la Figura 5.4, se tiene:

- A. Granos de cuarzo: cz, además de pirita diseminada: py, cortadas por un relleno de dolomita II: dlm II, el mismo que se presenta cementando la muestra.
- B. Agregados de dolomita II: dlm II, englobando dolomita I: dlm I, con diseminaciones de pirita: py, y con un posterior relleno de esfalerita: ef, además mineral de azufre: min. de S.
- C. Granos de cuarzo: cz, con escasa matriz de arcillas: ARCs, cortados por eventos de dolomita II: dlm y posterior relleno de esfalerita I: ef I.

a. Secuencia paragenética del proyecto Florcita

El proyecto Florcita, presenta para sus muestras las siguientes secuencias paragenéticas:

- Muestra F-01: (Cuarzoarenita-pirita) – dolomita II – (limonitas-sulfuro).
- Muestra F-02: Dolomita I – (dolomita II-pirita) – esfalerita I – esfalerita II – (goethita – sulfuro).
- Muestra F-03: Cuarzoarenita – dolomita I – (dolomita II – pirita) – esfalerita I – esfalerita II – (limonitas – sulfuro).

En síntesis, de las relaciones petrográficas macroscópicas y microscópicas, se tiene que el proyecto Florcita se caracteriza por el emplazamiento de cuerpos de brecha mineralizada en las calizas arcillosas de color gris oscuras levemente dolomitizadas de la Formación Condorsinga y en las areniscas cuarzosas blanquecinas del Grupo Goyllarisquizga (¿formación Chimú?). La brecha polimíctica mineralizada matriz soportada presenta clastos sub angulosos a redondeados de calizas y areniscas, así como agregados de esfalerita, galena y pirita, el cemento está constituida por principalmente por dolomita y calcita.

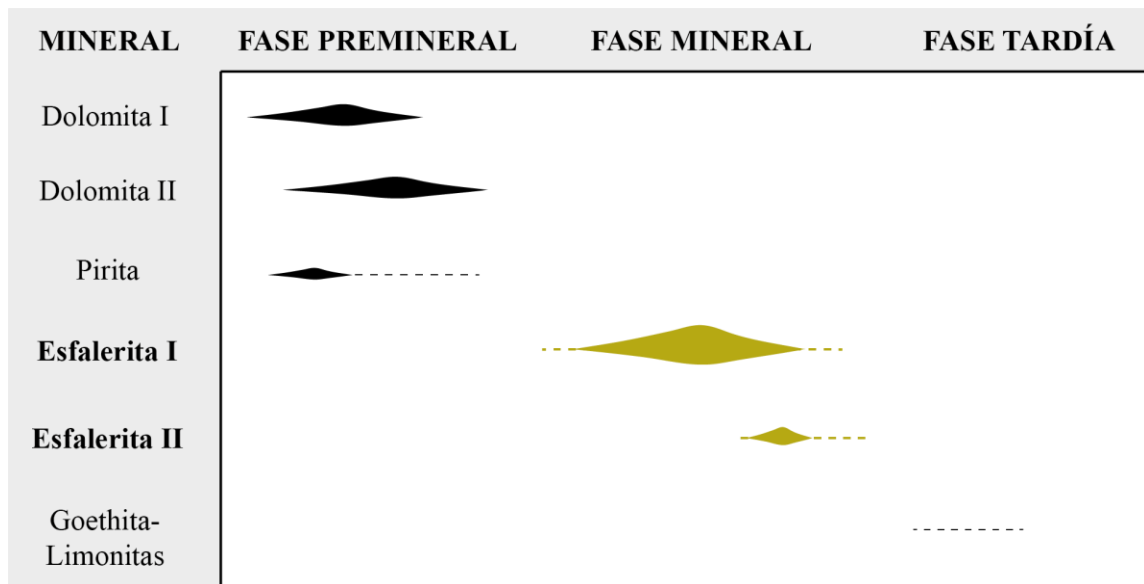


Figura 5. 5 Secuencia paragenética del proyecto Florcita

5.1.3 Prospecto Soloco

Los resultados del prospecto Soloco se presentan a continuación.

Muestra S-02

La Tabla 5.31 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-02.

Tabla 5. 31

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-02

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Muestra de estructura conformada por agregados finos de marcasita alterada a óxidos de hierro. hacia los bordes de la muestra la alteración a óxidos es más intensa y en la superficie de la muestra se observan agregados terrosos de limonitas.	Muestra conformada por agregados de marcasita y pirita fuertemente alterados a goethita; se observa también, granos de cuarzo dispersos entre los óxidos.




La Tabla 5.32 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-02.

Tabla 5. 32

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-02

		Mineral	Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Marcasita , cristales subhedrales de hábito tabular, se encuentran en agregados fuertemente alterados a goethita; sus intersticios están también rellenos de goethita. Hacia un extremo de la muestra, donde la alteración es más intensa, se observan únicamente moldes.	0,09 – 0,96	38
	Accesori	Cuarzo , granos de formas irregulares, se encuentran dispersos en los agregados de marcasita y goethita.	≤ 0,12	3

	Pirita , cristales anhedrales diseminados en los agregados de marcasita, se encuentra fuertemente alterados a goethita.	≤ 0,15	4
SECUNDARIOS	Goethita ¹ , en parches irregulares y en agregados terrosos, se presentan remplazando a marcasita y pirita y rellenando intersticios entre estos. Un sector al extremo de la muestra está constituido únicamente por goethita en moldes de marcasita.	-	55

Muestra S-03

La Tabla 5.33 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-03.

Tabla 5. 33

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-03

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Brecha calcárea monomítica compacta, de color pardo amarillento, conformada por fragmentos líticos de calcita y limonitas inmersos en una matriz conformada también por calcita y óxidos. Se observan estructuras de relleno de calcita, estas presentan impregnaciones de limonitas hacia los bordes de la estructura. La muestra tiene dureza y densidad baja.	Roca con textura brechoide conformada por fragmentos líticos de roca desdolomitizada inmersos en una matriz conformada también por carbonatos remplazados por calcita I. La muestra presenta estructuras de relleno constituidas por una sucesión de calcita I con impregnaciones de goethita y calcita II. Por sectores se observan vetillas de calcita III atravesando a carbonatos I, II y II. Se observan moldes de cristales rellenos de hematita diseminados.



La Tabla 5.34 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra S-03.

Tabla 5. 34
Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-03

	<i>Líticos / Mineral</i>	Tamaño (mm)	%
LÍTICOS	Líticos de roca carbonatada , de formas redondeadas, se encuentran conformados por agregados microgranulares de calcita I en moldes romboidales, posiblemente de dolomita (desdolomitización); los moldes presentan impregnaciones de óxidos de hierro en sus bordes a manera de cemento o de relleno de intersticios. Se observan también algunos granos de cuarzo inmersos en los carbonatos. Los fragmentos representan un 9% de la muestra, en el presente informe este porcentaje está distribuido entre calcita I y goethita.	≤ 8,74	-
	Moldes de carbonatos , de formas subhedrales, alargados, con formas de “silla de montar”, estos moldes se encuentran radiando a partir de los fragmentos líticos y presentan goethita en sus bordes, fracturas e intersticios. Están rellenos de calcita I. Probablemente se traten de moldes de dolomita.	≤ 2,30	-
MATRIZ	Moldes de cristales , de formas subhedrales con hábito cúbico, están diseminados en los moldes de carbonatos de la matriz y se encuentran remplazados por hematita y goethita. La matriz representa el 13% de la muestra, en el presente informe este porcentaje está distribuido entre calcita I y goethita.	≤ 0,20	-
SECUNDARIOS	Calcita II , cristales anhedrales con maclas polisintéticas, se encuentran como última etapa de relleno de una estructura de carbonatos. Solo los cristales más cercanos a los agregados de calcita I presentan goethita emplazada a lo largo de sus planos de crecimiento.	≤ 12,35	49
	Carbonatos , agregados microgranulares de cristales anhedrales, se presentan en moldes romboidales en los fragmentos líticos y en moldes de carbonatos en la matriz de la brecha. presentan impregnaciones de goethita.	≤ 0,04	18
	Calcita I , cristales anhedrales de formas alargadas (columnares), se presentan en agregados paralelos, en ocasiones subradiados. Están conformando la primera etapa de relleno de una estructura; presenta abundantes impregnaciones de goethita, especialmente a lo largo de sus planos de clivaje; sus intersticios están rellenos de hematita y goethita.	≤ 4,48	18
	Goethita , agregados criptocristalinos, se presentan como impregnaciones sobre moldes de dolomita y agregados de calcita I en los fragmentos líticos y en la matriz de la brecha, suelen presentarse en intersticios y fracturas.	≤ 0,004	12
	Calcita III , cristales anhedrales, se presentan rellenando vetillas de espesores menores a 0,10 mm; están atravesando a los fragmentos líticos, la matriz y los agregados de calcita II. No exhiben impregnaciones de goethita.	≤ 0,12	2

<p>Hematita, se encuentra como parches irregulares relleno de moldes de cristales dispersos en la matriz; también ocurre como cristales laminares en agregados subradiados relleno de oquedades en los fragmentos líticos. Presentan alteración a goethita.</p>	<p>≤ 0,08</p>	<p>1</p>
--	---------------	----------

Muestra S-04

La Tabla 5.35 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-04.

Tabla 5. 35
Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-04

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
<p>Brecha polimíctica compacta, de color pardo amarillento, con textura clástica conformada por fragmentos líticos de caliza y fragmentos arcillosos inmersos en una matriz de calcita con impregnaciones de limonitas. La matriz está parcialmente remplazada por una generación de calcita blanquecina. La muestra tiene dureza y densidad media.</p>	<p>Brecha calcárea conformada por fragmentos líticos calcáreos de calcita micrítica y fragmentos de roca arcillosa, inmersos en una matriz de calcita II con impregnaciones de goethita. Remplazando a calcita I se observan agregados de calcita II. Los cristales de calcita I tienen inclusiones de pirita alterada a goethita, presentan hematita y goethita relleno de intersticios.</p>



La Tabla 5.36 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra S-04.

Tabla 5. 36
Síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra S-04

Líticos / Mineral	Tamaño (mm)	%
--------------------------	--------------------	----------

LÍTICOS	Líticos de caliza micrítica , con formas angulosas, están conformados por agregados micríticos de calcita con escasos granos de cuarzo dispersos. Se observan cristales de goethita diseminados en los fragmentos. Por sectores presentan parches recristalizados a calcita esparítica. Son atravesados por vetillas de calcita en agregados en mosaico. Algunos fragmentos están conformados por agregados esparíticos con cemento calcáreo y matriz arcillosa.	$\leq 22,00$	25
	Líticos de roca arcillosa , de formas angulosas de esfericidad baja, se encuentran conformados por agregados criptocristalinos de arcillas; presentan impregnaciones de óxidos de hierro. En muestra de mano se observa que estos fragmentos presentan un mayor tamaño y son más abundantes.	$\leq 0,54$	Traza
MATRIZ	Calcita I , cristales anhedrales en agregados en mosaico, con extinción ondulante. Presentan abundantes inclusiones de pirita e impregnaciones de goethita. Están parcialmente remplazados por agregados de calcita II.	$\leq 4,70$	28
	Pirita , cristales subhedrales de hábito cúbico, se encuentran diseminados en los agregados de calcita I; suelen estar alterados a goethita, generalmente la alteración es intensa quedando únicamente moldes.	$\leq 0,07$	Traza
SECUNDARIOS	Calcita II , cristales anhedrales en agregados en mosaico, presentan extinción ondulante. Ocurren rellenando espacios y remplazando a calcita I en la matriz. tienen escasas inclusiones de goethita.	$\leq 4,83$	40
	Goethita , se encuentran como agregados criptocristalinos, terrosos, ocurre como inclusiones e impregnaciones sobre cristales de calcita I, alterando a pirita y en moldes de esta, alterando a hematita y también como diseminaciones en los fragmentos de caliza micrítica.	$\leq 0,04$	7
	Psilomelanos* , agregados aciculares subradiados, se encuentran rellenando espacios entre cristales de calcita I.	$\leq 0,34$	Traza
	Hematita , cristales laminares en agregados subradiados, se presentan rellenando oquedades entre los cristales de calcita I, están alterados a goethita.	$\leq 0,04$	Traza

Muestra S-05

La Tabla 5.37 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-05.

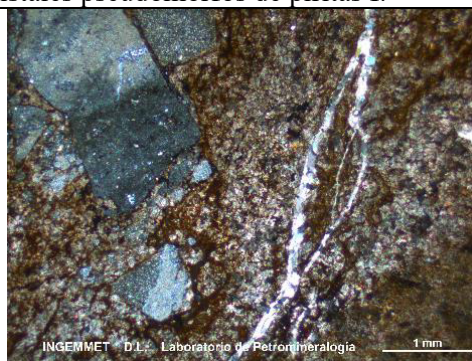
Tabla 5. 37

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-05

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Brecha, compacta, color pardo amarillento, textura fragmental, tamaño de fragmentos	Brecha, compuesta por fragmentos líticos silicificados contenidos en carbonatos,

menor a 5 cm. Se compone de fragmentos líticos silicificados incluidos en fragmentos de composición calcárea, soportados en una matriz de calcitas y dolomitas impregnados con hidróxidos de hierro, ocurren vetillas de calcita que cortan a los fragmentos líticos y la matriz. Posee una densidad media, dureza media, magnetismo débil puntualmente y efervesce en HCl

soportados en una matriz de calcita, dolomitas y diseminaciones de goethitas I. La muestra presenta vetillas (espesor $\leq 0,45\text{mm}$), que corta a la matriz y a los fragmentos líticos silicificados, además, contiene trazas de goethitas II y pirita II. Los fragmentos líticos son cortados por vetillas de cuarzo secundario (espesor $\leq 0,20\text{mm}$) e impregnados con goethitas y limonitas. Por sectores, ocurren cristales pseudomorfos de piritas I.



La Tabla 5.38 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra S-05.

Tabla 5. 38

Síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra S-05

	Líticos / Mineral	Tamaño (mm)	%
LÍTICOS	Silicificado , fragmentos de formas angulosas a subredondeadas, con textura brechoide. Se encuentran silicificados, cortados por vetillas de cuarzo secundario y soportados por fragmentos carbonatados, además, se observan relictos de fragmentos angulosos a redondeados de cuarzo. Presentan relictos de carbonatos lo cual evidencia que el protofito sería una roca carbonatada. Se observa cristales de goethitas, como diseminación.	$\leq 20,65$	57
	Carbonatos , de formas redondeadas, constituidas por calcita I, las cuales se muestran con impregnaciones de goethitas I y limonitas.	$\leq 1,47$	Traza
MATRIZ	Dolomitas , cristales de formas anhedrales, ocurren en agregados granulares y de aspecto romboidal, con impregnaciones de goethitas I y limonitas en los intersticios. Por sectores presentan intersticios reemplazados por calcita II.	$\leq 0,34$	15
	Calcita I , cristales de formas anhedrales a subhedrales, ocurren con impregnaciones de goethitas.	$\leq 0,30$	8

SECUNDARIOS	Calcita II , cristales de formas anhedrales a subhedrales, se encuentran como relleno de vetillas, asociadas con las goethitas II e intersticios en la matriz.	$\leq 1,44$	16
	Goethita I , cristales de formas anhedrales, algunos se encuentran como pseudomorfismo de las piratas I, presentes en los intersticios de las dolomitas, a modo de parches o diseminados, asociados con las limonitas.	$\leq 0,18$	2
	Limonitas , agregados criptocristalinos producto de la alteración de las goethitas presentes como impregnaciones sobre toda la muestra.	$\leq 0,004$	2
	Pirita I , cristales de formas anhedrales, presentes a modo de parches sobre los fragmentos líticos.	$\leq 0,005$	Traza
	Pirita II , cristales de formas subhedrales a euhedrales, ocurren como parches en vetillas.	$\leq 0,005$	Traza
	Goethitas II , agregados irregulares, ocurren como impregnaciones y parches en vetillas de calcita II	$\leq 0,01$	Traza

Muestra S-06

La Tabla 5.39 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-06.

Tabla 5. 39

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-06

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Roca sedimentaria clástica compacta, de color pardo amarillento moderado con textura brechoide, compuesta por fragmentos de roca calcárea en matriz de carbonatos de grano fino. La roca es atravesada por vetillas (< 1 mm) rellenas con calcita, y está moderadamente impregnada de óxidos de hierro. Tiene densidad y dureza media.	Brecha monomítica conformada por fragmentos de roca dolomitizada, compuesta por cristales de dolomita I con diseminaciones de pirita. La matriz se compone de cristales anhedrales de dolomita II y calcita I. Ocurren limonitas como impregnaciones principalmente en la matriz, cuarzo en parches, y cristales de goethita. Calcita II aparece en espacios intersticiales de manera global, calcita III, como relleno de vetillas y materia orgánica en intersticios en toda la muestra.



La Tabla 5.40 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra F-06.

Tabla 5. 40

Síntesis de descripción petromineralográfica microscópica de la muestra F-06

Líticos / Mineral		Tamaño (mm)	%
LÍTICOS	Dolomitizados , de formas triangulares y cuadrangulares, y bordes subredondeados a subangulosos difusos, compuestos por cristales subhedrales a euhedrales de dolomita I con formas rómbicas, e inclusiones de cristales anhedrales de grano muy fino de pirita. Presenta agregados de materia orgánica redistribuida hacia los intersticios.	≤ 15,00	74
	Matriz		
MATRIZ	Calcita I , agregados criptocristalinos, con impregnaciones de limonitas, ubicados de manera intersticial a los cristales de dolomita II.	≤ 0,004	8
	Dolomita II , cristales anhedrales parcialmente corroídos, probablemente procedentes de los líticos.	≤ 0,18	4
SECUNDARIOS	Limonitas , agregados microgranulares de aspecto pulverulento diseminados de manera global, en especial en la matriz; también formando cúmulos.	≤ 0,01	6
	Calcita II , cristales anhedrales que rellenan espacios tanto en entre cristales de dolomita. Se le observa ocasionalmente como sobrecrecimiento de cristales de dolomita, siguiendo la forma rómbica y dando aspecto de zonación.	≤ 4,76	3
	Calcita III , cristales de formas anhedrales se encuentran como relleno vetillas.	≤ 0,70	2
	Cuarzo , cristales anhedrales relleno espacios en la muestra, ocasionalmente formando agregados reemplazando carbonatos.	≤ 0,36	2
	Goethita , cristales anhedrales, en ocasiones con formas hexagonales, diseminados en la muestra.	≤ 0,84	1

Muestra S-07

La Tabla 5.41 a continuación nos muestra las descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-07.

Tabla 5. 41

Descripciones macroscópica y microscópica de la muestra S-07

Descripción macroscópica	Descripción microscópica
Brecha dolomitizada compacta, con textura brechoide y de color pardo anaranjado, está constituida por fragmentos líticos carbonatados, en una matriz más finas que presentan impregnaciones de óxidos, en menor proporción también por sectores de los fragmentos. Se aprecian vetillas con relleno de calcita cortando a la muestra. Posee densidad y dureza media, ausente de magnetismo, presenta reacción al ácido clorhídrico.	Brecha dolomitizada con textura de brechoide, se encuentra conformada principalmente por fragmentos líticos de muestra dolomitizada, conformada por agregados romboidales de dolomita debida a recristalización; con finas diseminaciones de pirita. La matriz está constituida por agregados de dolomita, también posee impregnaciones de goethita. Por sectores se aprecian vetillas e intersticios rellenos por agregados de calcita III.
	

La Tabla 5.42 a continuación nos muestra la síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-07.

Tabla 5. 42

Síntesis de descripción petrominerográfica microscópica de la muestra S-07

	Lítics / Mineral	Tamaño (mm)	%
LÍTICOS	Muestra dolomitizada , conformada principalmente por dolomita como agregados de cristales subhedrales a euhedrales, se aprecian con formas romboidales. Se presentan como recristalización del protolito, poseen granulometría variable; además con escasos intersticios rellenos por agregados de sílice y arcillas. Se encuentran finos cristales de pirita como diseminaciones y trazas de cristales de cuarzo en intersticios.	≤ 0,64	67

MATRI Z	Dolomita , agregados de cristales subhedrales a anhedrales con formas tabulares. Presentes como constituyente principal de la matriz que engloba los fragmentos líticos dolomitizados. Poseen impregnaciones de goethita.	$\leq 0,20$	26
SECUNDARIOS	Calcita III , agregados de cristales con formas anhedrales, algunos se aprecian maclados, se presentan como relleno de vetillas que cortan la secuencia de dolomita y fragmentos líticos. También ocurren como relleno en intersticios de la muestra a modo de parches.	$\leq 1,90$	6
	Goethita , se presentan a modo de impregnaciones junto con arcillas y por sectores de la muestra ocurren sobre cristales de dolomita. También como producto de alteración de la pirita, algunas conservando sus formas luego de reemplazarlas en su totalidad.	$\leq 0,24$	1

Comparación de fotomicrografías del prospecto Soloco

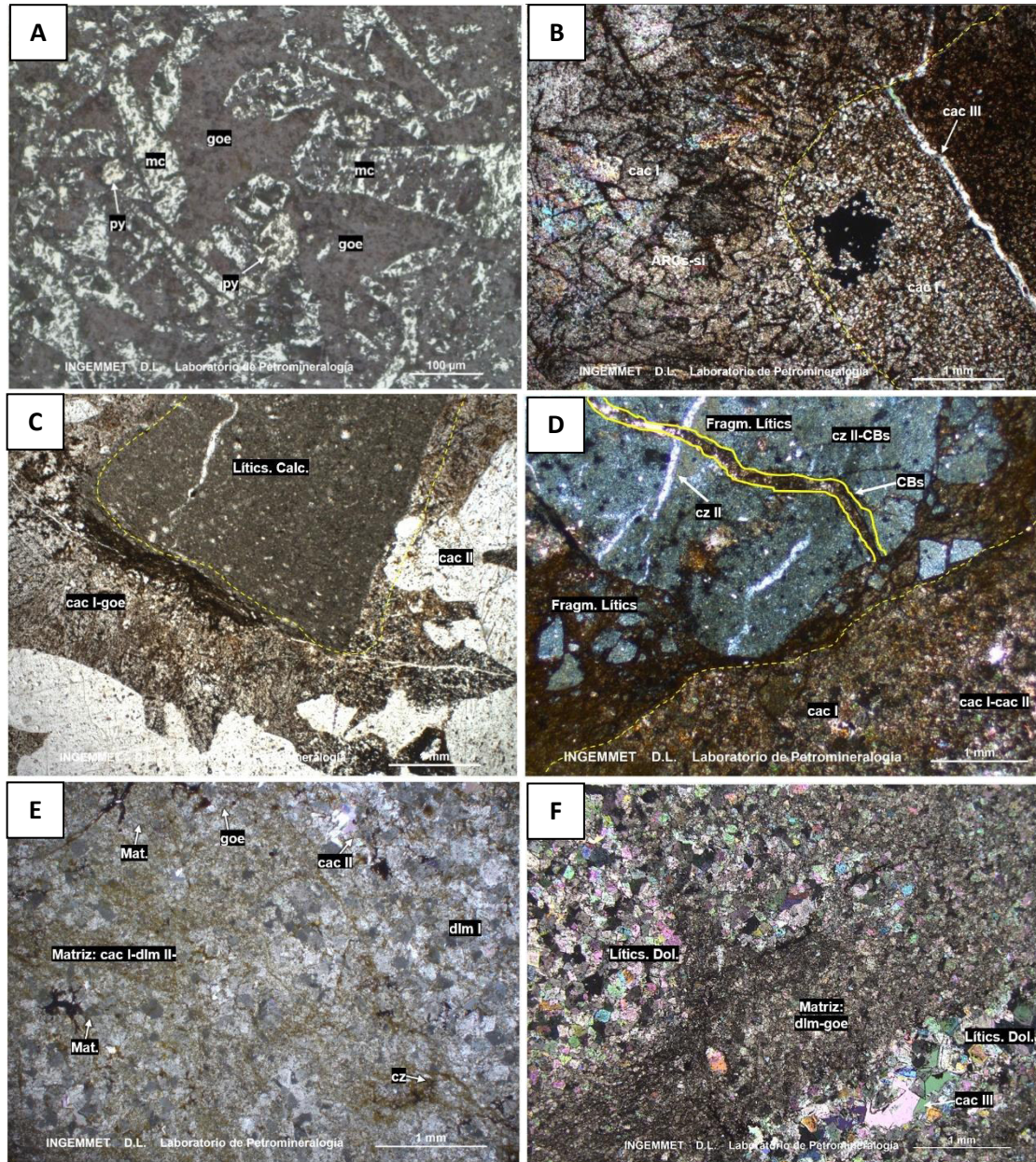


Figura 5. 6 Fotomicrografías del prospecto Soloco

De la Figura 5.6, se tiene:

- A. Agregados de marcasita: mc y pirita: py fuertemente remplazados por goethita: goe.
- B. Sector brechoide de la muestra, se observa un fragmento lítico (derecha) conformado por moldes granulares rellenos de agregados microgranulares de calcita I: cac I; la matriz está conformada también por moldes remplazados por agregados de calcita I. Esto parece

corresponder a un proceso de desdolomitización. Se observa también una vetilla rellena de calcita III: cac III

C. Fragmento lítico calcáreo: Líticos. Calc. inmersos en agregados de calcita I con impregnaciones de goethita: cac I-goe y calcita II: cac II remplazando a calcita I.

D. Brecha, fragmento lítico silicificado que presenta fracturas de cuarzo II: cz II, y carbonatos. Los fragmentos líticos se encuentran soportadas por una matriz de granos calcita I de formas anhedrales a subhedrales, con abundantes impregnaciones de goethitas I y limonitas. Se observa un reemplazamiento de calcita II, de la matriz constituida por calcita I: cac I-cac II.

E. Fragmentos líticos compuestos por dolomita I: dlm I en matriz compuesta por calcita I: cac I y dolomita II: dlm II, teñida por limonitas: LIMs, que también se encuentra en los intersticios de dolomita I. Ocurre cuarzo: cz y calcita II: cac II relleno de espacios, y materia orgánica: Mat. org. en fracturas y de manera intersticial.

F. Fragmentos líticos dolomitizados: Líticos. Dol., en matriz conformada por agregados de dolomita con impregnaciones de goethita: dlm-goe. Se observan intersticios rellenos por agregados de calcita III: cac. III.

a. Secuencia paragenética del prospecto Soloco

El prospecto Soloco, presenta para sus muestras las siguientes secuencias paragenéticas:

- Muestra S-02: Cuarzo – marcasita – pirita – goethita
- Muestra S-03: Calcita I – calcita II – calcita III – hematita – goethita
- Muestra S-04: Calcita I – psilomelano – pirita – calcita II – hematita – goethita
- Muestra S-05: Calcita I – pirita – dolomita – pirita II – calcita II – (goethita – limonitas)
- Muestra S-06: (Calcita – cuarzo) – dolomita II – calcita II – calcita III – (goethita – limonitas)
- Muestra S-07: Dolomita – calcita III – goethita

En síntesis, en base a las descripciones macroscópicas y microscópicas, se tiene que las rocas predominantes son calizas oolíticas *packstone*, calizas micríticas y grainstones con moderada a fuerte dolomitización y un débil silicificación en las zonas de brechas y vetas. La mineralización evidenciada se encuentra conformada por agregados de calcita y dolomitas, con diseminación de pirita, abundantes óxidos de hierro, fracturas con presencia rellenas con cuarzo, y óxidos de manganeso (psilomelano).

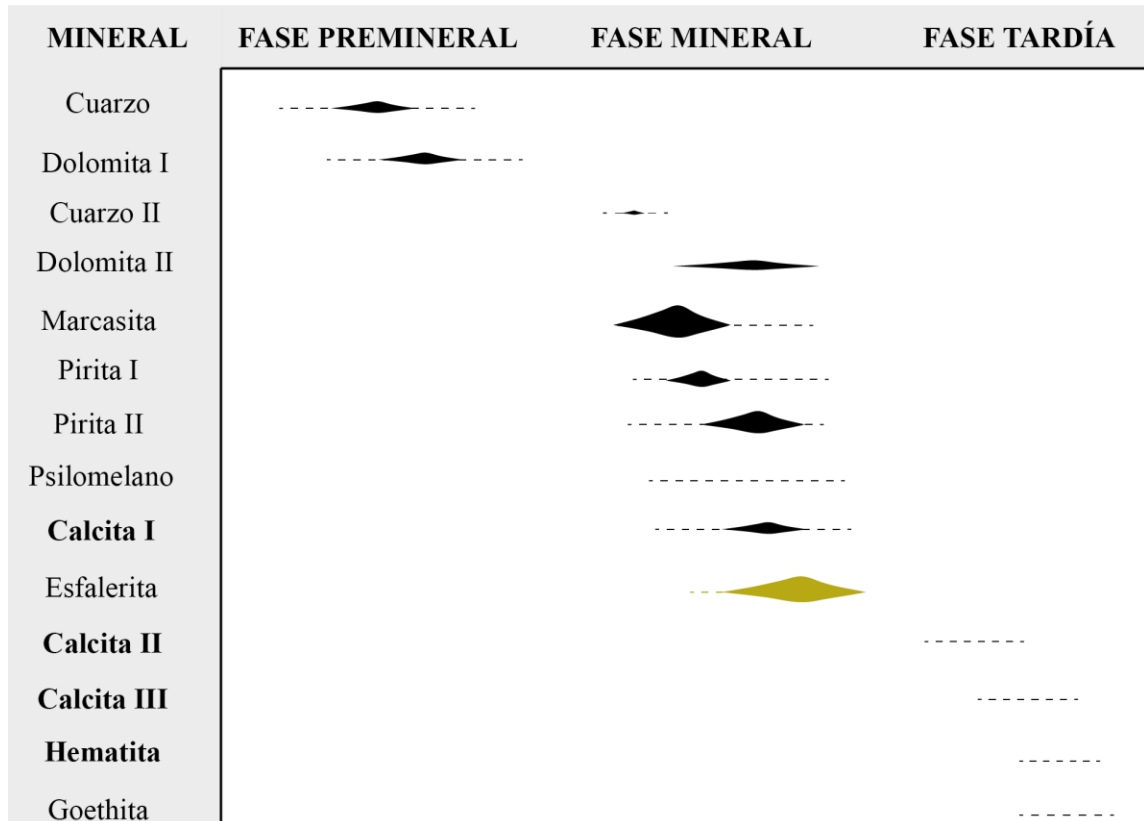


Figura 5. 7. Secuencia paragenética del prospecto Soloco

5.2 Resultados geoquímicos

El número de análisis de roca total es insuficiente para realizar un estudio estadístico de correlación, por lo que el estudio de correlación se realizará con la química mineral obtenida con el EPMA, especialmente los resultados de elementos críticos (Ga, Ge, In, Cd) en los diferentes minerales de las secuencias paragenéticas. Los resultados

geoquímicos de roca total, así como la relación de muestras y sus códigos originales de campo se encuentran en la Tabla 5.43.

En el yacimiento Cañón Florida los valores más altos de Ga en roca total se dan para las muestras CF-KM-05 (18.80 ppm) de mineralización masiva de galena y esfalerita, la esfalerita es la II (61% en la muestra), anhedral a subhedral, a manera de relleno, CF-SJ-04, 05 y 06 (9.50, 14.10 y 15.20 ppm) de mineralización semimasiva, venillas y diseminada de esfalerita II, la cual se encuentra anhedral a subhedral, en casos zonada. En geoquímica de roca total no se han detectado valores de Ge. Los valores de In no son importantes ya que son menores a 0.5 ppm. Los valores de Ag se encuentran relacionados a altos valores de Pb y los de Cd a altos valores de Zn, ambos relacionados al estilo de mineralización masiva y semimasiva de esfalerita II y galena II, sin embargo, debido al número de datos de roca total ($n < 30$), el procesamiento estadístico correlacional se hará con los resultados de geoquímica mineral.

En el proyecto Florcita los valores más altos de Ga en roca total se dan para la muestra F-01 (14.10 ppm) de mineralización a manera de cemento de brechas. En geoquímica de roca total no se han detectado valores de Ge; sin embargo, se esperan encontrar en la geoquímica mineral de las esfaleritas. Los valores más importantes de In se dan para el proyecto Florcita, muestras F-01 y F-02 (13.60 y 4.10 ppm) presentando ambas un sulfuro secundario a manera de agregados criptocristalinos en relleno de microfracturas de dolomita II. La geoquímica de roca total no presenta valores importantes de Ag. Los valores más altos de Cd se encuentran relacionados a los valores más altos de Zn.

En el prospecto Soloco los valores de Ga no son superiores a 10 ppm, por lo que no se consideran indicios de mineralización importante. En geoquímica de roca total no se han detectado valores de Ge. No presenta mineralización de In ni Ag. Se presentan altos valores de Ba (1089 ppm) y Cd (1395 ppm) relacionadas a valores de Zn superiores a 10% (muestra S-01). Se han encontrado principalmente sulfuros como la pirita (parches y vetillas), marcasita (subhedral tabular) y la esfalerita como fuente de Zn.

Tabla 5. 43
Resultados geoquímicos de roca total

CÓDIGO	Código_original	Sector	Inclusiones	Este	Norte	Zona	Estilo de mineralización	Fe_ppm	Mg_%	Mg_ppm	Mn_ppm	Al_%	Al_ppm	Ca_%	Pb_ppm	Zn_ppm	Cu_ppm	Ga_ppm	In_ppm	Ag_ppm	Cd_ppm	Ba_ppm	Sb_ppm	As_ppm
CF-KM-01	12g-MMT-098	Cañón Florida-Karen Milagros	Si	824545	9353444	17	Esfalerita en Venillas y diseminado	27900.00	4.32	43200.00	1800.00	0.01	50.00	7.96	59315.00	> 100 000	199.00	7.10	0.10	42.50	999.00	2.50	113.00	35.00
CF-KM-02	12g-MMT-099	Cañón Florida-Karen Milagros	Si	824914	9353527	17	Diseminación débil de esfalerita	17600.00	8.79	87900.00	5800.00	0.06	600.00	26.50	209.00	1678.00	1.00	0.15	0.10	1.40	6.00	184.00	5.00	31.00
CF-KM-03	12g-MMT-100	Cañón Florida-Karen Milagros	Si	824914	9353527	17	Masivo Esfalerita +- Galena	33500.00	2.81	28100.00	1700.00	0.09	900.00	5.41	40883.00	> 100 000	144.00	4.40	0.10	45.80	1177.00	9.00	197.00	87.00
CF-KM-04	12g-MMT-052	Cañón Florida-Karen Milagros	No	824368	9353929	17	Masivo Esfalerita +- Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF-KM-05	12g-MMT-044	Cañón Florida-Karen Milagros	Si	824899	9353389	17	Masivo Galena + Esfalerita	35500.00	2.24	22400.00	1300.00	0.01	100.00	4.68	1200.00	> 100 000	360.00	18.80	0.10	8.50	1277.00	2.50	27.00	62.00
CF-KM-06	12g-MMT-059	Cañón Florida-Karen Milagros	Si	824656	9353505	17	Esfalerita Semimasiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF-SJ-01	12g-MMT-027	Cañón Florida-San Jorge	No	824210	9352070	17	Masivo Esfalerita +- Galena	18900.00	5.51	55100.00	2400.00	0.05	500.00	10.27	33580.00	> 100 000	303.00	4.70	0.10	25.90	777.00	2.50	10.00	20.00
CF-SJ-02	12g-MMT-029	Cañón Florida-San Jorge	Si	824210	9352070	17	Masivo Esfalerita +- Galena	25900.00	1.26	12600.00	800.00	0.06	600.00	2.53	33435.00	> 100 000	348.00	4.30	0.10	101.40	1159.00	2.50	13.00	25.00
CF-SJ-03	12g-MMT-036	Cañón Florida-San Jorge	No	824210	9352070	17	Diseminación débil de esfalerita	36200.00	10.48	104800.00	4600.00	0.39	3900.00	19.69	3131.00	58873.00	12.00	1.70	0.10	7.10	125.00	9.00	14.00	109.00
CF-SJ-04	12g-MMT-048	Cañón Florida-San Jorge	No	824210	9352129	17	Esfalerita en Venillas y diseminado	36600.00	8.11	81100.00	2700.00	0.20	2000.00	14.93	19361.00	> 100 000	53.00	9.50	0.10	14.70	379.00	2.50	90.00	2456.00
CF-SJ-05	12g-MMT-063	Cañón Florida-San Jorge	No	824168	9352196	17	Esfalerita Semimasiva	26200.00	4.73	47300.00	2000.00	0.08	800.00	8.81	41.00	> 100 000	341.00	14.10	0.40	16.00	846.00	2.50	4.00	21.00
CF-SJ-06	12g-MMT-064	Cañón Florida-San Jorge	Si	824168	9352196	17	Esfalerita en Venillas y diseminado	26100.00	7.56	75600.00	3400.00	0.08	800.00	14.05	43.00	> 100 000	161.00	15.20	0.10	19.20	591.00	2.50	5.00	16.00
F-01	13h-MMT-044	Florcita	No	177691	9927712	18	Brecha/Parches/crustiforme	50300.00	3.20	32000.00	700.00	0.70	7000.00	6.52	254.00	> 100 000	682.00	14.10	13.60	16.80	1406.00	2.50	1.00	14.00
F-02	13h-MMT-049	Florcita	Si	177691	9327712	18	Brecha/masiva/reemplazamiento	26900.00	4.89	48900.00	1200.00	0.39	3900.00	12.98	133.00	> 100 000	481.00	4.10	4.10	8.40	1528.00	59.00	1.00	5.00
F-03	13h-MMT-052	Florcita	Si	177691	9327712	18	Brecha/relleno	36900.00	6.43	64300.00	1400.00	0.28	2800.00	12.18	63.00	> 100 000	69.00	3.00	1.00	2.40	573.00	7.00	1.00	6.00
F-04	13h-MMT-055	Florcita	No	177691	9327712	18	Brecha/relleno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-01	13h-MMT-059	Soloco	No	195114	9306566	18	-	62300.00	0.13	1300.00	1800.00	0.58	5800.00	0.34	4515.00	> 100 000	1.00	5.10	0.10	2.80	1395.00	1089.00	1.00	12.00
S-02	13h-MMT-062	Soloco	No	195151	9306575	18	Diseminado/relleno	444400.00	0.05	500.00	50.00	0.31	3100.00	1.06	2318.00	4478.00	10.00	6.20	0.10	0.60	10.00	341.00	1.00	20.00
S-03	13h-RMT-002	Soloco	Si	193800	9303800	18	Reemplazamiento	51300.00	0.13	1300.00	6400.00	0.61	6100.00	33.73	22.00	76.00	5.00	1.90	0.10	0.25	0.50	354.00	1.00	17.00
S-04	13h-RMT-004	Soloco	Si	194360	9303553	18	Brecha/relleno	10000.00	0.13	1300.00	900.00	0.63	6300.00	35.38	21.00	41.00	5.00	1.60	0.10	0.25	0.50	66.00	1.00	8.00
S-05	13h-RMT-014	Soloco	Si	194360	9307057	18	Brecha/reemplazamiento	38200.00	0.78	7800.00	2700.00	1.11	11100.00	31.83	46.00	977.00	7.00	2.90	0.10	0.25	3.00	451.00	1.00	15.00
S-06	13h-RMT-015	Soloco	No	194360	9307057	18	Relleno	26100.00	0.40	4000.00	2600.00	0.79	7900.00	35.20	33.00	573.00	8.00	2.10	0.10	0.25	3.00	184.00	1.00	12.00
S-07	13h-RMT-016	Soloco	No	194360	9307057	18	Diseminado	20500.00	10.27	102700.00	1700.00	0.11	1100.00	26.76	35.00	5.00	3.00	0.30	0.10	0.25	0.50	80.00	1.00	6.00

5.3 Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas

5.3.1 Proyecto Cañón Florida

Las 12 muestras estudiadas fueron tomadas de los sondajes diamantinos de las áreas San Jorge y Karen Milagros, en cristales de dolomita, calcita, cuarzo y esfaleritas a lo largo de las zonas mineralizadas, en los múltiples eventos de mineralización con el fin de determinar la evolución del fluido mineralizante y establecer las características microtermométricas del mismo.

Las inclusiones de fluidos evidenciadas en el proyecto fueron de tipo bifásicas primarias (BIP-P) ricas en agua (Lw) con temperaturas de homogenización (T_h) de 470 a 110°C y salinidades de 0.88 a 26.8 % peso equivalente NaCl.

Tabla 5.44
Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas de las muestras del proyecto Cañón Florida

Muestra	Sondaje	Mineral	Salinidad (%wt Eq. NaCl)	Th (°C)	IF Primaria	IF Secundaria
CF-KM-01	V-454 (Tramo 77.40 - 77.65)	Esfalerita I	26.8	470	X	-
			26.19	320	X	-
			26.8	330	X	-
			26.19	-	X	-
			25.58	-	X	-
CF-KM-03	V-289 (Tramo 158.40 - 158.60)	Esfalerita II	-	220	X	-
			-	190	X	-
			24.34	195	X	-
			26.19	172	X	-
			25.58	180	X	-
			22.38	205	X	-
			24.96	185	X	-
CF-KM-05	V-367 (Tramo 283.70 - 284.00)	Esfalerita II	18.63	140	X	-
			11.7	150	X	-
			7.86	135	X	-
			9.21	220	X	-
CF-KM-06	V-427 (Tramo 120.85 - 120.98)	Esfalerita II	-	130	X	-
			7.17	115	X	-
			-	110	X	-
		Calcita II	-	195	X	-
			3.39	157	X	-
			-	178	X	-
CF-KM-02	V-289 (Tramo 158.40 - 158.60)	Calcita II	-	180	X	-
			0.88	190	X	-
			2.57	240	X	-
			1.74	225	X	-
			6.45	230	X	-
CF-KM-05	V-367 (Tramo 283.70 - 284.00)	Calcita III	4.96	200	X	-
			4.96	268	X	-
			1.74	335	X	-
			3.39	330	X	-
			6.45	310	X	-
			3.06	300	X	-
			7.17	360	X	-
			1.74	316	X	-
			1.4	397	X	-
15.96	396	X	-			
CF-SJ-02	V-465 (Tramo 112.80 - 113.00)	Calcita II	-	155	X	-
			-	170	X	-
			1.4	168	X	-
		Esfalerita II	-	172	X	-
			5.71	165	X	-
			4.96	170	X	-
			4.18	180	X	-
CF-SJ-06	V-270 (Tramo 103.080 - 103.90)	Esfalerita II	4.96	120	X	-
			-	130	X	-
			5.71	125	X	-

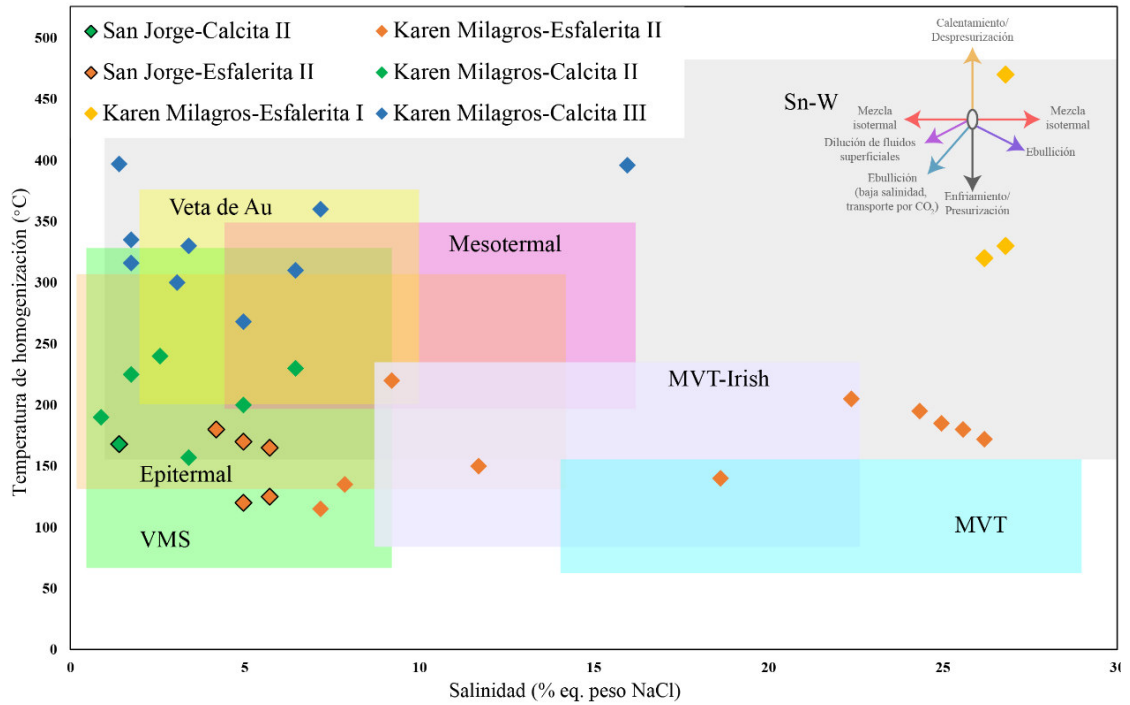


Figura 5. 8. Diagrama de Wilkinson (2008) para los resultados microtermométricos del proyecto Cañón Florida

De la Figura 5.8 se tienen las siguientes interpretaciones:

Sector Karen Milagros

- Dolomitización: Mezcla isotérmica (temperaturas de homogenización varían desde 138 °C a 295 °C y salinidades de 0.88 a 4.96 %peso equivalente de NaCl)
- Esfalerita masiva y semimasiva: Mezcla isotérmica y ebullición (temperaturas de homogenización entre 115°C a 280°C y salinidades de 1.74 a 11.7 % peso equivalente NaCl)
- Venillas tardías de calcita: Procesos de calentamiento (temperaturas de homogenización (Th) que varían de 157°C a 397 °C y salinidades de 0.88 a 7.17 % peso equivalente NaCl).

Sector San Jorge

- Esfalerita masiva y semimasiva: Mezcla isotérmica y ebullición (temperaturas de homogenización de 120 a 180°C y salinidades de 4.18 a 5.71% peso equivalente NaCl).
- Venillas tardías de calcita: Procesos de ebullición (temperaturas de homogenización (Th) que varían de 168 °C a 310°C con salinidades de 0.7 a 6.45% peso equivalente NaCl)
- Evento tardío de cuarzo: Procesos de ebullición (presentan temperaturas de homogenización (Th) de 165 a 190° y salinidades de 1.74 a 4.96 % peso equivalente de NaCl)

Las texturas masivas de mineralización son causadas en condiciones de ebullición de los fluidos mineralizantes.

Los eventos tardíos de carbonatos marcan en Karen Milagros procesos de calentamiento, y en San Jorge procesos de ebullición.

5.3.2 Proyecto Florcita

Los estudios de inclusiones de fluidos se realizaron en 2 muestras de sondajes diamantinos, sobre mineral de esfalerita y dolomita. Las inclusiones de fluidos halladas son del tipo bifásicas primarias (BIF-P) ricas en agua (Lw), con temperaturas de homogenización (Th) en el rango de 120°C a 305°C y salinidades de entre 5.71 a 27.41 %peso equivalente de NaCl, en la que se pueden evidenciar dos familias de inclusiones en los minerales de esfalerita, el primero con Th° de 220° a 305° y salinidades de 24.96 a 26.8 %wt NaCl eq. denotando una tendencia de enfriamiento, mientras que la segunda familia de inclusiones presenta Th° de 120° a 165°C con salinidades en el rango de 21.68 a 27.41%wt. NaCl Eq. Mostrando una ligera tendencia de mezcla de fluidos isothermal. Por otro lado, las inclusiones halladas en la matriz de dolomita en la brecha mineralizada presentan Th° del rango de 210° a 260°C con salinidades de 5.71 a 9.21%wt. NaCl Eq., cuyo *trend* evidencia un proceso de dilución de fluidos. El segundo grupo de inclusiones de fluidos en las dolomitas de la matriz presentan Th° de 130° a 265°C con salinidades en

el rango de 18.63 a 23.05%wt. NaCl Eq. Mostrando una tendencia característica de un proceso de enfriamiento de fluidos. (Tabla 5.45 y Figura 5.9)

Tabla 5.45

Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas de las muestras del proyecto Florcita

Muestra	Sondaje	Mineral	Salinidad (%wt Eq. NaCl)	Th (°C)	Primaria	Secundaria
F-02	FL-03 (Tramo 11820-11740)	Dolomita II	7.86	130	X	-
			22.38	165	X	-
			20.97	155	X	-
			19.45	148	X	-
			21.68	143	X	-
			18.63	190	X	-
			20.22	160	X	-
			21.68	170	X	-
			20.22	172	X	-
			19.45	140	X	-
			19.05	142	X	-
			19.45	130	X	-
			22.38	235	X	-
			18.63	243	X	-
		21.68	226	X	-	
		23.05	265	X	-	
		20.22	280	X	-	
		19.45	170	X	-	
		20.22	207	X	-	
		18.63	130	X	-	
		19.45	150	X	-	
		25.58	165	X	-	
		24.34	125	X	-	
		23.7	130	X	-	
		24.96	138	X	-	
		24.34	140	X	-	
		23.7	132	X	-	
		23.7	128	X	-	
23.05	135	X	-			
24.96	145	X	-			
F-03	FL-04 (Tramo 8995-90.15)	Esfalerita I	21.68	145	X	-
			23.05	160	X	-
			24.96	165	X	-
			25.58	145	X	-
			26.19	140	X	-

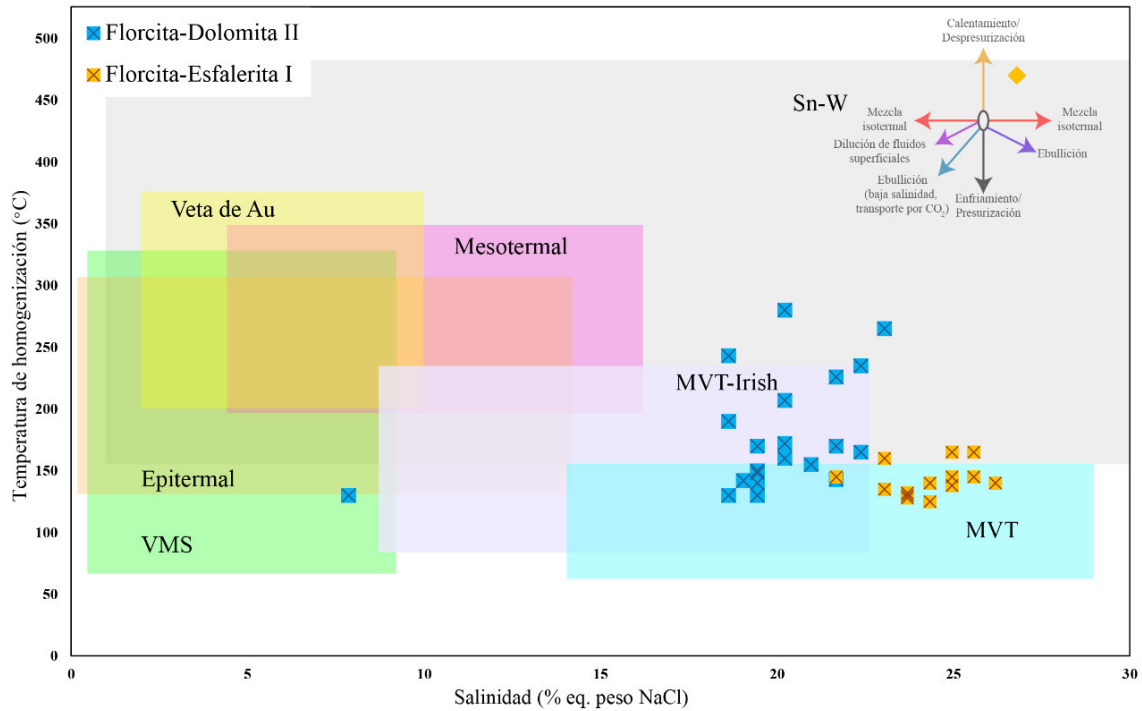


Figura 5. 9 Diagrama de Wilkinson (2008) para los resultados microtermométricos del proyecto Florcita

5.3.3 Prospecto Soloco

Para el presente trabajo se tomaron ocho (8) muestras correspondientes a brechas monomícticas, con relleno de calcita, venillas tardías de calcita y una estructura vetiforme de calcita masiva.

Las inclusiones de fluidos en el cemento de las brechas monomícticas fueron del tipo bifásicas primarias y secundarias (BIF-P y BIF-S) ricas en agua (Lw). Las Inclusiones tipo primarias presentan dos poblaciones bien definidas, la primera con temperaturas de homogenización de 165 a 273°C y salinidades de 0.18 a 0.88 % peso equivalente de NaCl, la segunda presenta temperaturas de homogenización de 135 a 198°C y salinidades de 22.38 a 25.58% peso equivalente de NaCl. Las inclusiones del tipo bifásicas secundarias presentan temperaturas de homogenización de 140° a 270°C y salinidades de 0.18 a 1.4% Peso equivalente de NaCl.

Las inclusiones de fluidos encontrados en el evento de relleno de espacios abiertos fueron del tipo Bifásicas primarias con temperaturas de homogenización en el rango de 140 a 310°C y salinidades de 0.18 a 0.35% peso equivalente NaCl.

Tabla 5.46
Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas de las muestras del prospecto Soloco

Muestra	Sondaje	Mineral	Salinidad (%wt Eq. NaCl)	Th (°C)	Primaria	Secundaria
S-03	-	Calcita I	0.35	205	-	X
	-		0.53	210	-	X
	-		0.35	160	-	X
	-	Calcita III	0.53	212	X	-
	-		0.18	273	X	-
	-		0.88	165	X	-
	-		0.35	195	X	-
	-		0.53	200	X	-
	-		0.18	230	X	-
	-		0.7	227	X	-
S-04	-	Calcita II	0.7	195	X	-
	-		0.35	165	X	-
	-		0.53	175	X	-
	-		1.4	140	X	-
	-		0.88	160	X	-
	-		1.22	225	X	-
	-		0.35	180	X	-
	-		24.34	188	X	-
	-		24.21	135	X	-
	-		25.58	161	X	-
	-		22.38	190	X	-
	-		22.38	198	X	-
	-		22.71	194	X	-
	-		23.7	193	X	-
	-		22.38	145	X	-
S-05	-	Calcita II	0.35	175	X	-
	-		0.18	165	X	-
	-		0.53	160	X	-
	-		0.35	170	X	-
	-		0.35	210	X	-
	-		0.53	213	X	-
	-		0.7	245	X	-
	-		0.7	235	X	-
	-		0.88	240	X	-
	-		0.53	255	X	-
-	0.35	270	X	-		

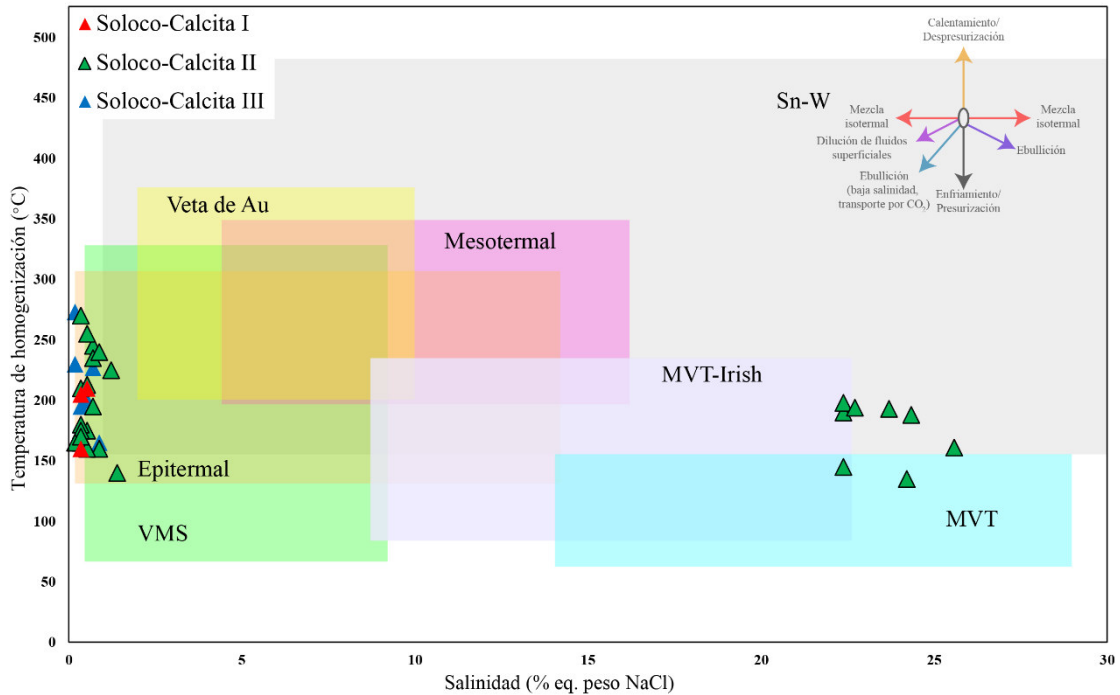


Figura 5. 10 Diagrama de Wilkinson (2008) para los resultados microtermométricos del prospecto Soloco

Para el cemento de brechas monomícticas se tienen condiciones microtermométricas de mezcla isotérmica y ebullición en ambiente MVT (*Inclusiones primarias*, dos poblaciones bien definidas, la primera con temperaturas de homogenización de 165 a 273°C y salinidades de 0.18 a 0.88% peso equivalente de NaCl, la segunda presenta temperaturas de homogenización de 135 a 198°C y salinidades de 22.38 a 25.58% peso equivalente de NaCl.) Se tienen también condiciones de calentamiento/presurización (*Inclusiones secundarias*, temperaturas de homogenización de 140° a 270°C y salinidades de 0.18 a 1.4% Peso equivalente de NaCl.) Para el relleno de calcita se tienen condiciones microtermométricas de calentamiento/presurización (temperaturas de homogenización en el rango de 140 a 310°C y salinidades de 0.18 a 0.35% peso equivalente NaCl. Las venillas de calcita muestran condiciones microtermométricas de calentamiento/presurización (*Inclusiones secundarias*, temperaturas de homogenización en el rango de 160° a 210°C y con salinidades de 0.18 a 0.53% peso equivalente de NaCl).

En síntesis, los carbonatos dan características de mezcla isotérmica de fluidos y ebullición, con presencia de esfalerita diseminada para las inclusiones fluidas primarias del cemento de brecha.

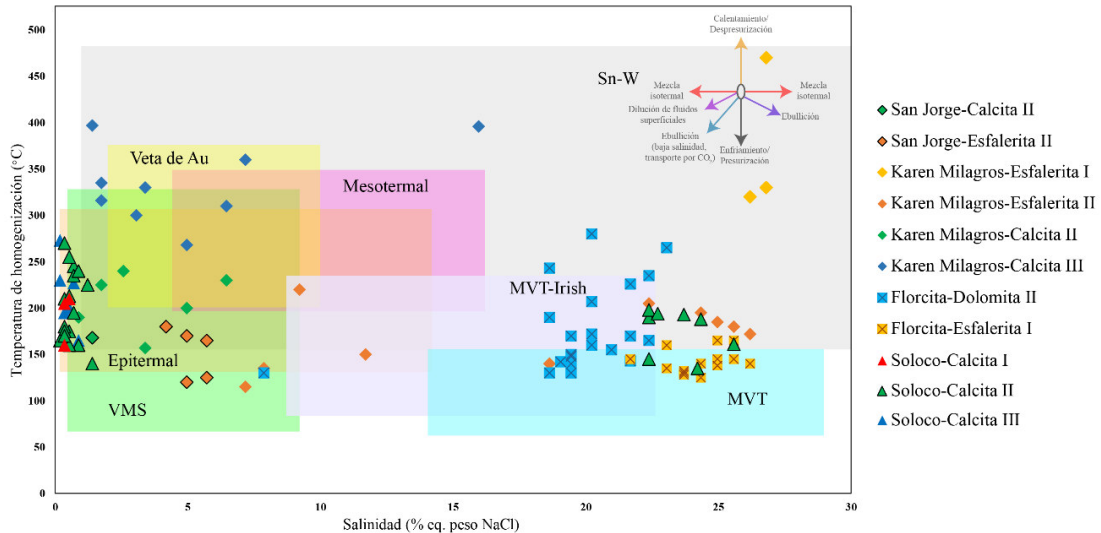


Figura 5. 11 Diagrama de Wilkinson (2008) para todas las muestras de los yacimientos Cañón Florida, Florcita y Soloco

5.4 Resultados de microsonda electrónica (Electron Probe Micro Analysis-EPMA)

Romarenko et al. (2012) muestran que, tras calculados los límites de detección mediante técnicas muy desarrolladas para el EPMA, se demuestra que límites de detección alrededor de 0.0005 wt% o 5 ppm son los que se deben considerar para los elementos de número atómico entre 22 y 29.

Se analizaron los elementos S, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Hg, Pb, siendo en total 18 elementos.

Se han retirado aquellas mediciones cuyo porcentaje en peso sea superior a 102% o inferior a 98%. Se ha recalculado al 100% con los datos resultantes.

5.4.1 Proyecto Cañón Florida

Respecto a los resultados del proyecto Cañón Florida, se sintetizan algunas observaciones respecto a elementos detectados y no detectados a continuación.

Esfalerita II

- Ninguna esfalerita (ZnS) albergó Co, Ni, As.
- Solo 01 esfalerita de Cañón Florida-San Jorge (12g-MMT-063) albergó Te (80 ppm) pero el wt% de la medición fue de 90.294%, por lo que la lectura fue descartada.

Galena II

- Ninguna galena (PbS) albergó Co, Ni, Cu, Ga, In, Sn o Hg.
- Solo 02 (12g-MMT-048 y 12g-MMT-036) de Cañón Florida-San Jorge albergaron Ge (530 y 140 ppm respectivamente), sin embargo, el wt% fue 71.804% y 106.646% respectivamente, por lo que las lecturas fueron descartadas.
- Solo 02 muestras (12g-MMT-048 y 12g-MMT-063) de Cañón Florida-San Jorge albergaron Se (280 y 690 ppm respectivamente), sin embargo, el wt% fue de 69.636 y 81.588% respectivamente, por lo que las lecturas fueron descartadas.
- Solo 01 (12g-MMT-044) de Cañón Florida-Karen Milagros albergó Cd (430 ppm), sin embargo, el wt% fue 106.807%, por lo que la lectura fue descartada.

Pirita II

- Solo 01 pirita (12g-MMT-063) de Cañón Florida-San Jorge albergó Se (1040 ppm), sin embargo, el wt% fue 95.787%, por lo que la lectura fue descartada.
- Solo 01 pirita (12g-MMT-063) de Cañón Florida-San Jorge albergó Te (60 ppm), sin embargo, el wt% fue 96.021%, por lo que la lectura fue descartada.

Boulangerita

- Ninguna boulangerita ($Pb_5Sb_4S_{11}$) albergó Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Se, Ag, Cd, In, Te, Hg.

A continuación, se presentan las tablas 5.47, 5.48 y 5.49 las cuales contienen la mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la esfalerita II, galena II y pirita II del proyecto Cañón Florida. El límite de detección del Ge es 60 ppm, del Ga es 50 ppm y del In es 60 ppm.

Tabla 5. 47

Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la esfalerita II del proyecto Cañón Florida

	Esfalerita II	Karen Milagros				San Jorge			
Variable	Valores (wt%)	CF-KM-03	CF-KM-04	CF-KM-05	CF-KM-06	CF-SJ-03	CF-SJ-04	CF-SJ-05	CF-SJ-06

S	Mínimo	33.0230	32.1840	32.3980	33.1750	33.3470	32.1670	32.7110	32.5210
	Mediana	33.5330	32.6540	33.2560	33.7920	33.8550	33.3920	33.5660	33.2750
	Máximo	34.3910	33.1680	33.8930	34.4170	34.9340	34.9690	34.3770	33.8930
Fe	Mínimo	0.0100	1.5560	0.0780	0.3740	0.1310	1.5240	0.0900	0.0850
	Mediana	2.6870	3.1670	4.4110	4.3980	3.1950	4.3340	2.5460	3.2530
	Máximo	4.5010	6.4890	8.3510	12.3550	8.8330	15.0100	5.5090	9.2480
Co	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ni	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Cu	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	0.0097	0.0468	d.l.d.	0.0140	0.0247	0.0097
	Máximo	0.0136	0.1158	0.1192	0.2861	0.0679	0.1085	0.1719	0.1466
Zn	Mínimo	61.1470	59.2110	57.0240	53.3380	55.7860	49.7250	60.0520	56.2710
	Mediana	63.9650	63.0020	61.7500	61.5330	62.7370	61.2460	63.4670	62.5120
	Máximo	66.4950	64.9270	66.4960	66.5400	65.3420	65.0400	66.2700	67.0150
Ga	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0105	0.0062	0.0980	0.0104	0.0091	0.0220	0.0106	0.0412
Ge	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.0148	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	0.0915	0.0325	0.1484	0.0529	0.0408	0.0917	0.0813
As	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Se	Mínimo	0.2046	0.0800	0.1110	0.2004	0.2103	0.1027	0.2408	d.l.d.
	Mediana	0.2944	0.1286	0.1711	0.2459	0.2528	0.1700	0.2795	0.1970
	Máximo	0.3201	0.1594	0.2201	0.2979	0.2929	0.2850	0.4014	0.2335
Ag	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.0209	0.0222	d.l.d.	0.0192	d.l.d.
	Máximo	0.0299	0.0179	d.l.d.	0.0691	0.0557	0.0394	0.0563	0.1135
Cd	Mínimo	0.1151	0.0323	0.0762	0.1421	0.0918	0.1018	0.1005	0.0965
	Mediana	0.1700	0.1060	0.1981	0.2035	0.1649	0.1485	0.1447	0.2058
	Máximo	0.2314	0.3898	0.3263	0.3644	0.2961	0.2859	0.3754	0.4774
In	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0087	d.l.d.	d.l.d.	0.0114	0.0071	0.0115	0.0132	0.0081
Sn	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0095	d.l.d.	0.0080	0.0066	0.0080	0.0534	0.0123	0.0075
Sb	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.0139	0.0125	0.0196	0.0148	d.l.d.
Te	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Hg	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0197	0.0160	0.0220	0.0237	0.0172	0.0189	0.0185	0.0191
Pb	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	0.0148	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0598	0.0400	d.l.d.	0.0351	0.0394	0.0387	0.0363	d.l.d.

*d.l.d.: Debajo del límite de detección

La tabla 5.47 permite señalar que la muestra CF-KM-06 presenta el valor más alto de Cu (2861 ppm), Ge (1484 ppm), In (114 ppm) y Hg (237 ppm).

Tabla 5. 48

Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la galena II del proyecto Cañón Florida

Galena II		Karen Milagros				San Jorge	
Variable	Valores (wt%)	CF-KM-03	CF-KM-04	CF-KM-05	CF-KM-06	CF-SJ-03	CF-SJ-04
S	Mínimo	13.3680	13.0710	13.2660	13.6540	13.4260	13.2380
	Mediana	13.6990	13.3030	13.5540	13.6540	13.8400	13.2380
	Máximo	14.1300	13.4730	13.5810	13.6540	14.3990	13.2380
Fe	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	0.0138	d.l.d.	d.l.d.	0.5106
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	0.0254	d.l.d.	0.0130	0.5106
	Máximo	d.l.d.	0.0228	0.0444	d.l.d.	1.2980	0.5106
Co	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ni	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Cu	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Zn	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	0.5320	0.0493	0.1640	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	0.0366	0.7240	0.0493	0.5560	d.l.d.
	Máximo	0.0911	0.0912	1.5840	0.0493	4.4570	d.l.d.
Ga	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ge	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
As	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.6130
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.4940	0.6130
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.8480	0.6130
Se	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ag	Mínimo	0.0347	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	0.0761	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.1076	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.0296	d.l.d.
Cd	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
In	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Sn	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Sb	Mínimo	0.0554	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.4300
	Mediana	0.0714	d.l.d.	0.0216	d.l.d.	0.4427	0.4300
	Máximo	0.1081	d.l.d.	0.0420	d.l.d.	0.5910	0.4300
Te	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0215	0.0179	0.0140	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Hg	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Pb	Mínimo	84.5350	85.9930	86.0460	88.0370	80.6390	84.9900
	Mediana	87.0170	87.5020	87.0990	88.0370	86.2250	84.9900
	Máximo	88.0340	88.4170	87.4940	88.0370	87.6000	84.9900

*d.l.d.: Debajo del límite de detección

Tabla 5. 49

Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la pirita II del proyecto Cañón Florida

Pirita II		Karen Milagros				San Jorge			
Variable	Valores (wt%)	CF-KM-05	CF-KM-04	CF-KM-06	CF-KM-03	CF-SJ-03	CF-SJ-04	CF-SJ-05	CF-SJ-06
S	Mínimo	52.676	52.174	53.378	52.762	53.731	51.377	53.304	52.337
	Mediana	53.397	52.877	54.092	54.16	53.92	54.186	54.593	53.562
	Máximo	54.532	53.426	54.537	55.441	54.876	55.681	55.735	54.062
Fe	Mínimo	44.565	44.543	44.982	44.403	45.178	44.071	43.965	44.337
	Mediana	45.669	45.853	45.978	45.047	45.85	45.502	45.214	45.584
	Máximo	46.115	46.282	46.739	46.413	46.737	47.024	46.161	46.492

Co	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ni	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.10241	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.03748	0.020135	d.l.d.	d.l.d.
Cu	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.11447	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.1909	0.01741	0.04563
Zn	Mínimo	d.l.d.	0.0305	d.l.d.	0.713	0.0347	d.l.d.	d.l.d.	0.1094
	Mediana	0.1962	0.4753	0.153	1.137	0.4041	0.0303	0.196	0.5084
	Máximo	1.3291	1.0671	1.217	1.389	0.6986	1.0918	1.658	0.8676
Ga	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	0.006676	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	0.006891	0.00727	0.010181	d.l.d.	0.00779	0.006581	0.006393	0.00717
	Máximo	0.012368	0.011425	0.01168	0.00676	0.01349	0.013607	0.012828	0.00988
Ge	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.006669	0.006958	0.01002	d.l.d.	0.00797	0.007472	0.014255	0.007436
As	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	0.0218	d.l.d.	d.l.d.	0.1102	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.8088	0.2804	0.1536	d.l.d.	0.544	2.099	0.5311	0.264
Se	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ag	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	0.01772	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.01703	d.l.d.
	Máximo	0.04537	d.l.d.	0.02937	0.02123	0.02889	0.03234	0.03262	0.01727
Cd	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.00624	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.009915	d.l.d.	0.007376	0.02497	0.006398	0.013056	0.01573	0.00963
In	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	0.006353	0.02367	d.l.d.	0.01453	0.01866	0.007428
Sn	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.02056	d.l.d.	0.014332	0.01532	d.l.d.
Sb	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.08402	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.02814	0.09596	d.l.d.
Te	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Hg	Mínimo	0.016224	0.015433	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	0.021173	0.022066	0.01967	0.0171	0.02009	0.02139	0.02083	0.02166
	Máximo	0.026785	0.029016	0.02576	0.05214	0.02766	0.04217	0.03941	0.02414
Pb	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	0.038	0.0345	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	0.0763	0.086	0.1003	0.0864	0.0315	0.02714	0.0508
	Máximo	0.1568	0.2205	0.2814	0.1432	0.2967	0.2244	0.11797	0.1722

*d.l.d.: Debajo del límite de detección

La tabla 5.49 permite destacar los valores máximos de Ge en la muestra CF-KM-06 de Karen Milagros (0.01002 wt% o 100.2 ppm) y CF-SJ-05 de San Jorge (0.014255 wt% o 142.55 ppm).

Las medianas de las abundancias de los elementos de la esfalerita II, galena II y pirita II para el proyecto Cañón Florida se representan a manera de barras en la figura 5.12.

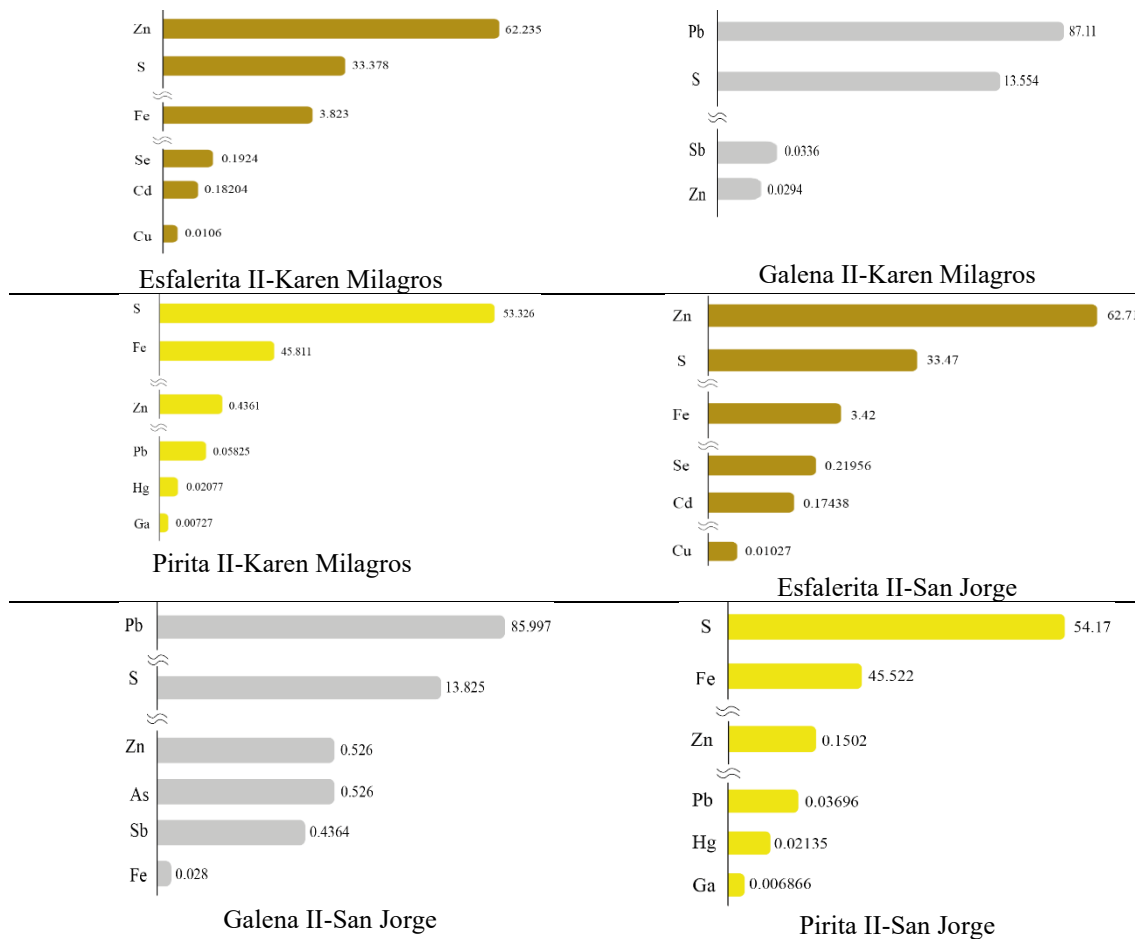


Figura 5. 12 Medianas de las abundancias de los elementos de la esfalerita II, galena II y pirita II para el proyecto Cañón Florida

De la figura 5.12, destaca que el Fe, Se, Cd, Cu se encuentran como elementos que conforman en su mayoría las esfaleritas de Karen Milagros y San Jorge. Las galenas presentan también Zn, Sb y en el caso del sector San Jorge presentan adicionalmente As y Fe. Las piritas contienen Zn, Pb, Hg y Ga.

El porcentaje de datos censurados para cada mineral y elemento, así como la prueba de valores atípicos de Grubbs, pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, histograma de datos sin normalizar y empleo de estimador de máxima verosimilitud para cálculo de media y desviación estándar en los casos que corresponda, se indicarán en cada caso a continuación.

a. Sector Karen Milagros

La tabla 5.50 presenta el número de datos censurados de cada lectura elemental por mineral del proyecto Cañón Florida-sector Karen Milagros.

Porcentaje de datos censurados

Tabla 5. 50

Número y porcentaje de datos censurados para los 18 elementos que se han medido en wt% para los minerales presentes en el Sector Karen Milagros

Cañón Florida-Karen Milagros																		
S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Hg	Pb	
Número de datos censurados																		
Ef II	0	0	95	95	37	0	76	68	95	0	66	0	88	92	94	95	88	83
Gn II	0	19	25	25	25	11	25	25	25	14	25	25	25	11	16	25	0	
Py II	0	0	49	47	45	4	7	44	33	49	44	44	47	48	49	2	16	
Blg	0	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	0	0	5	5	0
Porcentaje de datos censurados																		
Ef II	0	0	100	100	39	0	80	72	100	0	69	0	93	97	99	100	93	87
Gn II	0	76	100	100	100	44	100	100	100	100	56	100	100	100	44	64	100	0
Py II	0	0	100	96	92	8	14	90	67	100	84	90	96	98	98	100	4	33
Blg	0	100	100	100	100	100	100	100	80	100	100	100	100	0	0	100	100	0

De la tabla 5.50, se tiene que:

Esfalerita II

- La esfalerita II puede ser estudiada mediante el **S, Fe, Cu, Zn, Ga, Ge, Se, Ag, Cd**.
- Los elementos **In, Sn, Sb, Hg, Pb** superan el 80% de datos censurados, mientras que el **Co, Ni, As** se encuentran censurados en su totalidad.

Galena II

- La galena II puede ser estudiada mediante los elementos **S, Fe, Zn, Sb, Te, Pb**, siendo que todos estos elementos tienen menos del 80% de datos censurados, se puede aplicar estimación de Máxima Verosimilitud para obtener sus estadísticos
- Los elementos **Co, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Se, Ag, Cd, In, Sn, Hg** se encuentran todos por debajo del límite de detección, por lo que no se puede trabajar con ellos.

Pirita II

- La pirita II puede ser estudiada mediante los elementos **S, Fe, Zn, Ga, As, Hg, Pb**.

- Los elementos **Cu, Ge, Ag, Cd** presentan valores de censura superiores al 80%, por lo que pueden interpretarse a través de sus percentiles superiores, y el resto de interpretaciones provenientes del resto de sus estadísticos deben ser tratadas con cautela.
- Los elementos **Co, Ni, Se, In, Sn, Sb, Se** presentan más del 95% de sus datos censurados, y en casos el 100%, por lo que de estos solo se tiene el reporte de la presencia de dichos elementos en determinadas mediciones.

Boulangierita

- La boulangierita, al registrar solo 5 mediciones, solo permitirá reportar su presencia, mas no interpretaciones estadísticas.

Pruebas de valores atípicos de Grubbs

Se realizó la prueba de valores atípicos de Grubbs (1950) para los elementos que componen los minerales detectados en Cañón Florida-Karen Milagros.

Para todos los casos se tiene el siguiente criterio de decisión:

Hipótesis nula (Ho)	Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal
Hipótesis alterna (Ha)	El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

G: Estadístico de la prueba de Grubbs

P= Valor correspondiente al estadístico G.

A continuación, se muestran los resultados para la prueba de valores atípicos de Grubbs (1950) para Ln(S+1), Ln(Fe+1), Ln(Cu+1), Ln(Zn+1), Ln(Ga+1), Ln(Ge+1), Ln(As+1), Ln(Se+1), Ln(Ag+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Te+1), Ln(Sb+1), Ln(Sn+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en Cañón Florida-Karen Milagros.

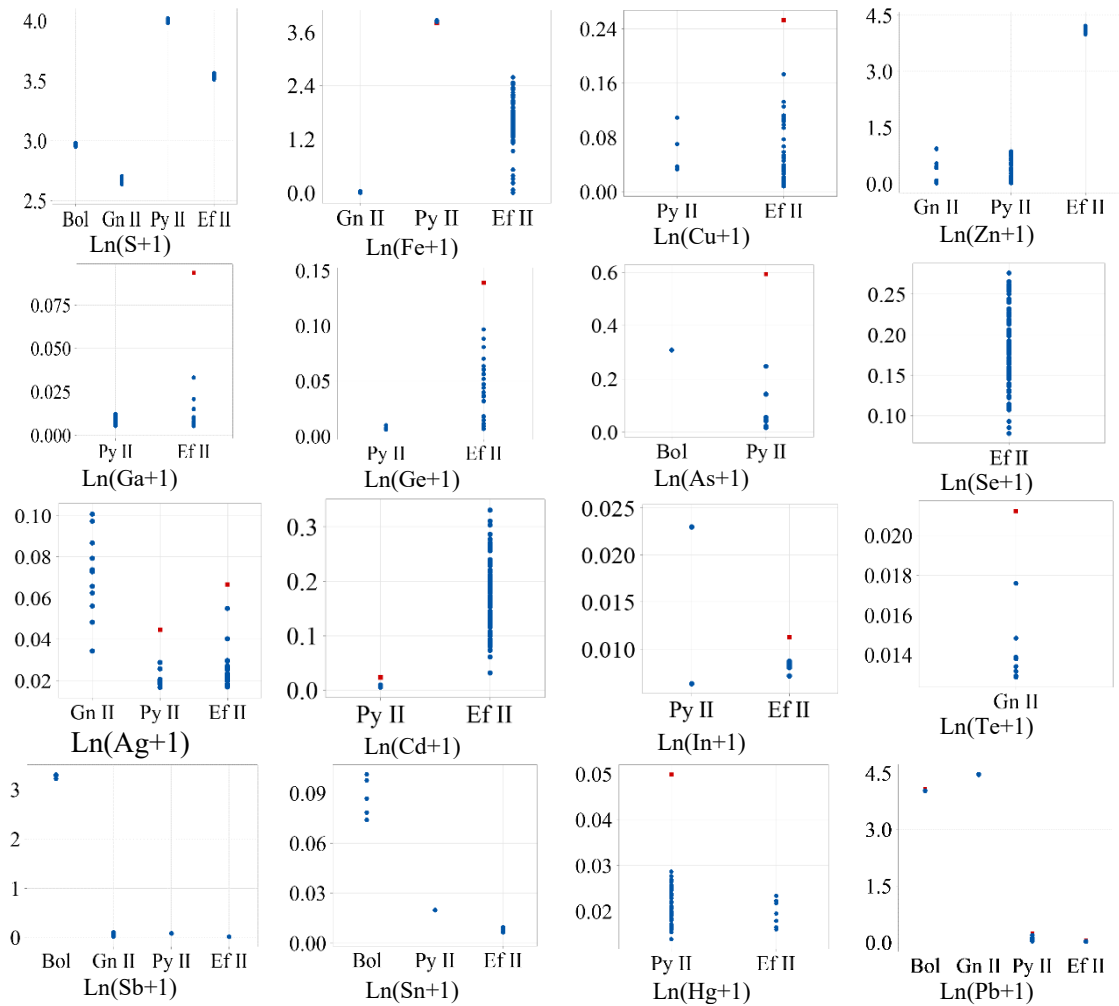
Tabla 5. 51

Prueba de Grubbs para Ln(S+1), Ln(Fe+1), Ln(Cu+1), Ln(Zn+1), Ln(Ga+1), Ln(Ge+1), Ln(As+1), Ln(Se+1), Ln(Ag+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Te+1), Ln(Sb+1), Ln(Sn+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en Cañón Florida-Karen Milagros

Variable	Mineral	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P	Atípico
Ln(S+1)	Gn II	25	2.67	0.02	2.64	2.70	2.17	0.59	
	Py II	49	4.00	0.01	3.98	4.02	2.59	0.37	
	Ef II	95	3.54	0.01	3.51	3.56	2.39	1.00	
Ln(Fe+1)	Gn II	6	0.03	0.01	0.01	0.04	1.43	0.72	
	Py II	49	3.85	0.01	3.80	3.86	3.85	0.00	3.80
	Ef II	95	1.57	0.53	0.01	2.59	2.95	0.25	
Ln(Cu+1)	Py II	4	0.06	0.04	0.03	0.11	1.32	0.47	
	Ef II	58	0.05	0.05	0.01	0.25	4.10	0.00	0.25
Ln(Zn+1)	Gn II	14	0.27	0.33	0.01	0.94	2.01	0.42	
	Py II	45	0.41	0.26	0.01	0.86	1.74	1.00	
	Ef II	95	4.14	0.05	3.99	4.22	3.26	0.08	
Ln(Ga+1)	Py II	42	0.01	0.00	0.01	0.01	2.23	0.93	
	Ef II	19	0.01	0.02	0.01	0.09	3.89	0.00	0.09
Ln(Ge+1)	Py II	5	0.01	0.00	0.01	0.01	1.69	0.08	
	Ef II	27	0.05	0.03	0.01	0.14	3.00	0.03	0.14
Ln(As+1)	Blg	1	0.31	*	0.31	0.31	*	*	
	Py II	16	0.10	0.15	0.02	0.59	3.40	0.00	0.59
Ln(Se+1)	Ef II	95	0.18	0.05	0.08	0.28	2.18	1.00	
Ln(Ag+1)	Gn II	11	0.07	0.02	0.03	0.10	1.80	0.58	
	Py II	8	0.02	0.01	0.02	0.04	2.22	0.02	0.04
	Ef II	29	0.03	0.01	0.02	0.07	3.70	0.00	0.07
Ln(Cd+1)	Py II	5	0.01	0.01	0.01	0.02	1.75	0.02	0.02
	Ef II	95	0.17	0.06	0.03	0.33	2.54	0.93	
Ln(In+1)	Py II	2	0.01	0.01	0.01	0.02	*	*	
	Ef II	7	0.01	0.00	0.01	0.01	2.11	0.02	0.01
Ln(Te+1)	Gn II	9	0.01	0.00	0.01	0.02	2.28	0.03	0.02
Ln(Sb+1)	Blg	5	3.28	0.03	3.22	3.30	1.71	0.06	
	Gn II	14	0.06	0.02	0.02	0.10	1.88	0.64	
	Py II	1	0.08	*	0.08	0.08	*	*	
	Ef II	1	0.01	*	0.01	0.01	*	*	
Ln(Sn+1)	Blg	5	0.09	0.01	0.07	0.10	1.16	1.00	
	Py II	1	0.02	*	0.02	0.02	*	*	
	Ef II	3	0.01	0.00	0.01	0.01	1.00	1.00	
Ln(Hg+1)	Py II	47	0.02	0.01	0.01	0.05	5.07	0.00	0.05
	Ef II	7	0.02	0.00	0.02	0.02	1.28	1.00	
Ln(Pb+1)	Blg	5	4.04	0.02	4.02	4.07	1.73	0.04	4.07
	Gn II	25	4.47	0.01	4.45	4.48	2.75	0.07	
	Py II	33	0.09	0.05	0.04	0.24	3.31	0.01	0.24
	Ef II	12	0.04	0.01	0.03	0.06	2.56	0.02	0.06

La representación gráfica de la prueba de valores atípicos se muestra en la figura 5.13

Figura 5. 13
Gráfica de prueba de valores atípicos de Grubbs (1950)



Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk

A continuación, se harán las pruebas de normalidad para garantizar la bondad del ajuste a la distribución lognormal que se asumirá.

No se considerarán los valores censurados para esta prueba, pero sí se han considerado los valores atípicos.

Las hipótesis (nula, H_0 y alternativa, H_a) para las pruebas de normalidad serán las siguientes:

Hipótesis nula (H_0)	Los datos tienen una distribución normal
Hipótesis alterna (H_a)	Los datos no tienen una distribución normal
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Si la significancia (p)

$p < 0.05$ rechazar H_0 y aceptar H_a

$p > 0.05$ rechazar H_a aceptar H_0

La tabla 5.52 muestra los resultados obtenidos de las pruebas de normalidad.

Tabla 5. 52

Resultados de pruebas de normalidad para distribución de la paragénesis de Cañón Florida-Karen Milagros

		Pruebas de normalidad						
		Mineral	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
			Estadístico	gl	p	Estadístico	gl	p
Ln(S+1)	Gn II	0.09	25	0.20*	0.98	25	0.80	
	Py II	0.05	49	0.20*	0.99	49	0.98	
	Ef II	0.05	95	0.20*	0.99	95	0.90	
Ln(Fe+1)	Gn II	0.25	6	0.20*	0.93	6	0.57	
	Py II	0.13	49	0.04	0.90	49	0.00	
	Ef II	0.15	95	0.00	0.91	95	0.00	
Ln(Cu+1)	Py II	0.26	4	.	0.89	4	0.40	
	Ef II	0.21	58	0.00	0.78	58	0.00	
Ln(Zn+1)	Gn II	0.35	14	0.00	0.74	14	0.00	
	Py II	0.10	45	0.20*	0.94	45	0.02	
	Ef II	0.16	95	0.00	0.93	95	0.00	
Ln(Ga+1)	Py II	0.13	42	0.09	0.94	42	0.04	
	Ef II	0.34	19	0.00	0.48	19	0.00	
Ln(Ge+1)	Py II	0.29	5	0.20	0.85	5	0.19	
	Ef II	0.11	27	0.20*	0.93	27	0.06	
Ln(As+1)	Py II	0.37	16	0.00	0.56	16	0.00	
Ln(Se+1)	Ef II	0.08	95	0.20*	0.98	95	0.16	
	Gn II	0.09	11	0.20*	0.98	11	0.97	
Ln(Ag+1)	Py II	0.28	8	0.08	0.78	8	0.02	
	Ef II	0.26	29	0.00	0.67	29	0.00	
	Py II	0.34	5	0.05	0.71	5	0.01	
Ln(Cd+1)	Ef II	0.07	95	0.20*	0.98	95	0.21	
	Py II	0.26	2	
Ln(In+1)	Ef II	0.32	7	0.03	0.80	7	0.04	
	Ef II	0.18	3	.	1000.00	3	1000.00	
Ln(Sb+1)	Gn II	0.13	14	0.20*	0.97	14	0.92	
Ln(Te+1)	Gn II	0.30	9	0.02	0.74	9	0.00	
Ln(Hg+1)	Py II	0.12	47	0.13	0.77	47	0.00	
	Ef II	0.20	7	0.20*	0.92	7	0.45	
Ln(Pb+1)	Gn II	0.13	25	0.20*	0.91	25	0.03	
	Py II	0.14	33	0.13	0.87	33	0.00	
	Ef II	0.20	12	0.20*	0.82	12	0.02	

Esfalerita II

- En la Esfalerita II: $\text{Ln}(\text{S}+1)$, $\text{Ln}(\text{Ge}+1)$, $\text{Ln}(\text{Se}+1)$, $\text{Ln}(\text{Cd}+1)$, $\text{Ln}(\text{Hg}+1)$ tienen un $p > 0.05$, por lo que se ajustan a una distribución normal. $\text{Ln}(\text{Hg}+1)$ tiene solo 7 grados de libertad, por lo que sus interpretaciones deben tomarse con cautela. Para el resto de elementos tales como el $\text{Ln}(\text{Zn}+1)$, para quien se esperaba obtener una distribución normal debido a ser un componente mayoritario de la esfalerita, no se ha obtenido el resultado esperado en la prueba de normalidad.

Galena II

- En la Galena II: $\text{Ln}(\text{S}+1)$, $\text{Ln}(\text{Fe}+1)$, $\text{Ln}(\text{Ag}+1)$, $\text{Ln}(\text{Sb}+1)$, tienen un $p > 0.05$, por lo que se ajustan a una distribución normal. Sin embargo, dado que $\text{Ln}(\text{Pb}+1)$ no se ajusta, se recurrirá al histograma y reconocimiento visual para un mayor criterio.

Pirita II

- En la Pirita II: $\text{Ln}(\text{S}+1)$, $\text{Ln}(\text{Cu}+1)$, $\text{Ln}(\text{Ge}+1)$, tienen un $p > 0.05$, por lo que se ajustan a una distribución normal. Sin embargo, dado que $\text{Ln}(\text{Fe}+1)$ no se ajusta, se recurrirá al histograma y reconocimiento visual para un mayor criterio.

Para discernir sobre el comportamiento de la distribución de los demás elementos, de manera visual, gráfica, también se cuenta con los histogramas de los datos sin normalizar.

Histogramas

a. Mineral: Esfalerita II

Se han realizado los histogramas de los elementos que pueden ser estudiados debido al porcentaje de datos no censurados, que componen la esfalerita II del sector Karen Milagros del proyecto Cañón Florida.

Los gráficos de In, Hg, Pb se presentan debido a que son elementos de interés en las interpretaciones, sin embargo, deben considerarse con cautela.

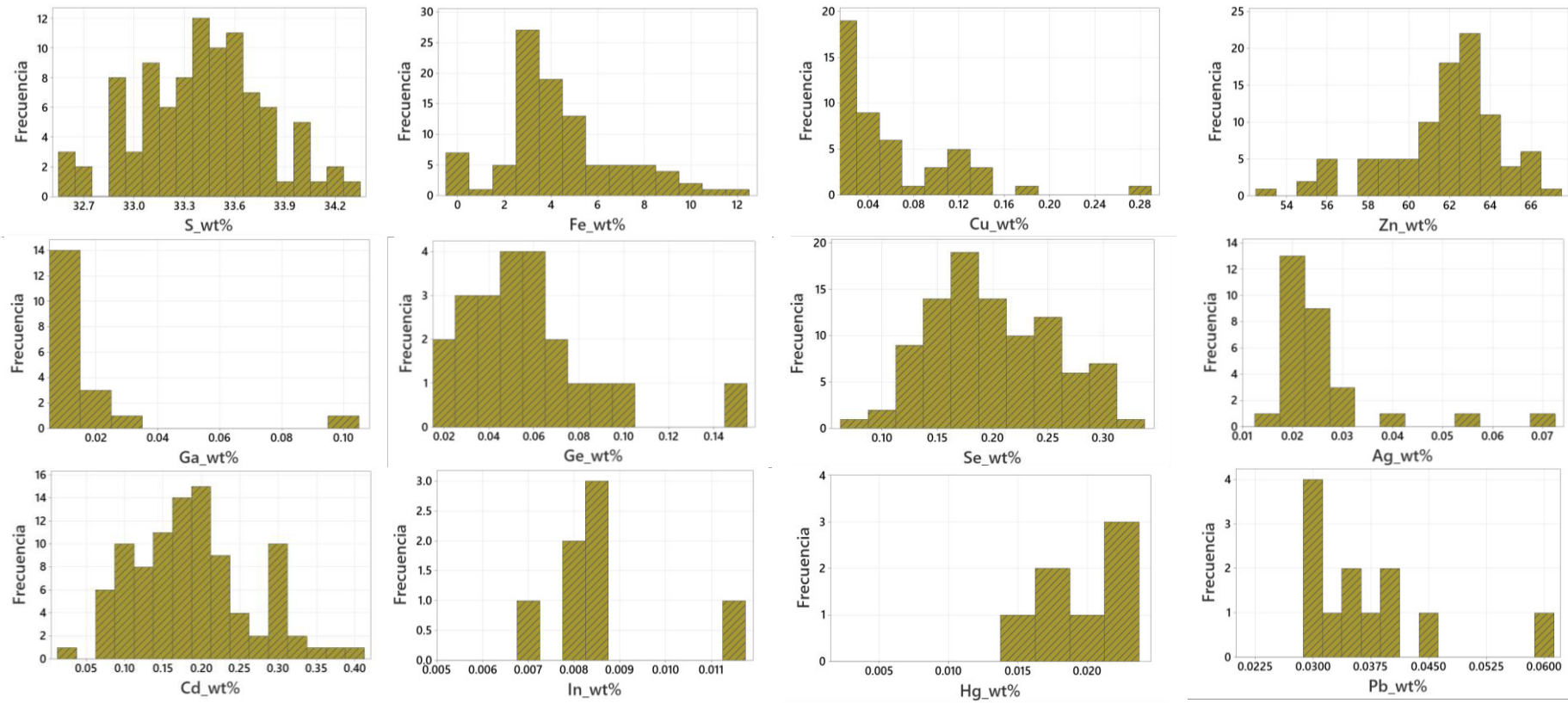


Figura 5. 14
Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Esfalerita II, Cañón Florida-Sector Karen Milagros

b. Mineral: Galena II

Se han realizado los histogramas de los elementos que pueden ser estudiados debido al porcentaje de datos no censurados, que componen la galena II del sector Karen Milagros del proyecto Cañón Florida.

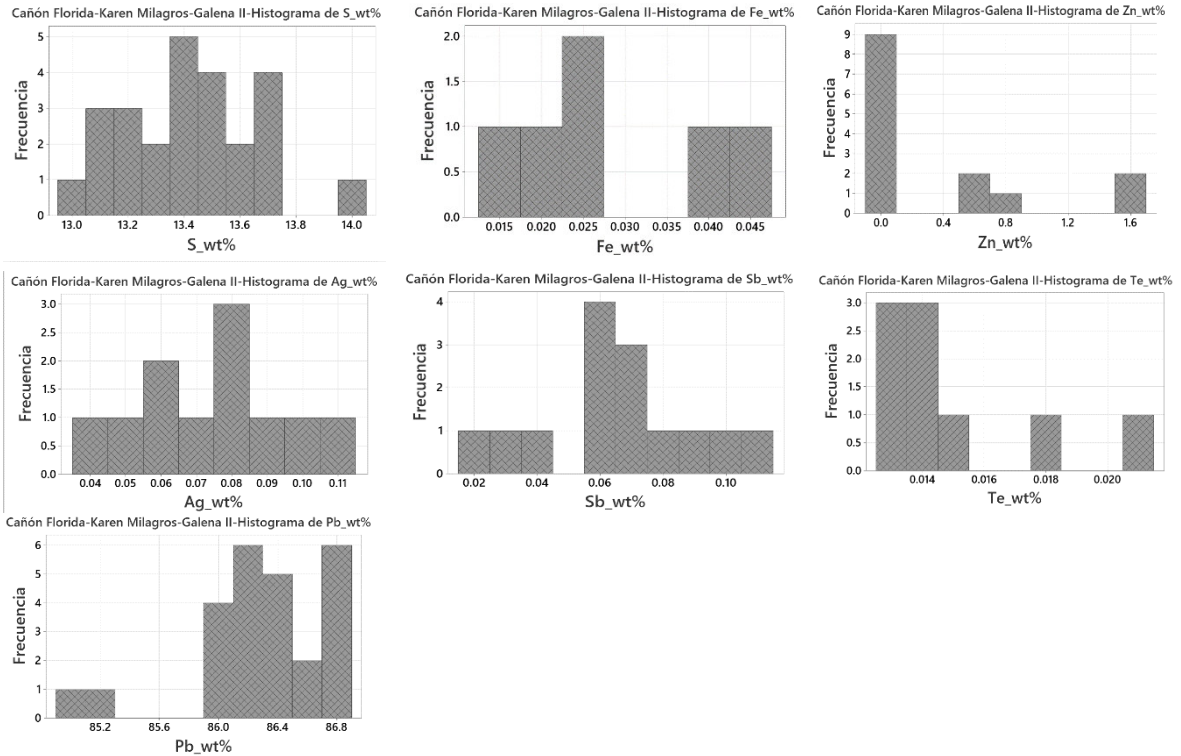


Figura 5. 15 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Galena II, Cañón Florida-Sector Karen Milagros

De los histogramas, se tiene que la mayoría de los elementos (a excepción del S) no tienen una distribución normal.

c. Mineral: Pirita II

Se han realizado los histogramas de los elementos que pueden ser estudiados debido al porcentaje de datos no censurados, que componen la pirita II del sector Karen Milagros del proyecto Cañón Florida.

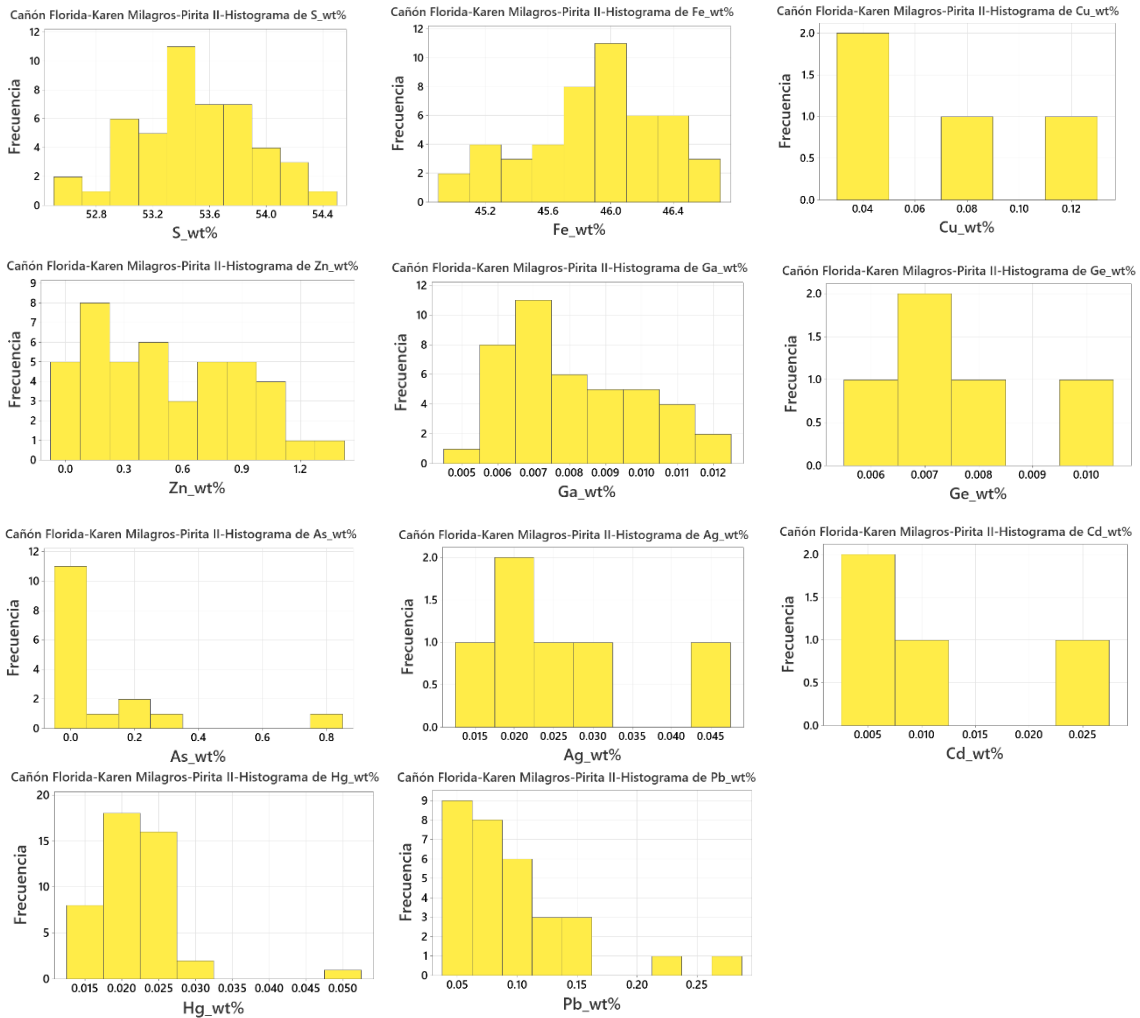


Figura 5. 16 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Galena II, Cañón Florida-Sector Karen Milagros

De los histogramas, se tiene que la mayoría de los elementos (a excepción del S) no tienen una distribución normal.

Estimador de Máxima Verosimilitud y cálculo de media y desviación estándar

Para el cálculo de media y desviación estándar se empleará estimación de Máxima Verosimilitud según sea el caso. Ya que se ha realizado el previo reconocimiento de los valores atípicos, estos no se computarán para las pruebas de normalidad y estimación de Máxima Verosimilitud, pero serán incluidos para el procesamiento posterior.

En caso no existan valores censurados y/o atípicos, se calculará la media y la desviación estándar de la manera convencional.

La tabla 5.53 presenta las medias y desviación estándar, indicando en cada caso cómo fueron calculadas.

Tabla 5. 53

Resultados de media y desviación estándar obtenidos mediante fórmula tradicional y mediante estimador de máxima verosimilitud

	Mineral	\bar{x}	σ	Uso de estimador
	Gn II	2.6686	0.0167	No
Ln(S+1)	Ef II	3.5381	0.0110	No
	Py II	3.9985	0.0083	No
	Gn II	0.00647	0.01283	No *
Ln(Fe+1)	Ef II	1.5687	0.5286	No
	Py II	3.846	0.0115865	Sí
Ln(Cu+1)	Py II	0.00509	0.01937	No *
	Ef II	0.011	0.057167	Sí
	Gn II	0.1507	0.2805	No *
Ln(Zn+1)	Ef II	4.1379	0.0452	No
	Py II	0.361	0.293151	Sí
	Ef II	0.002056	0.005107	No *
Ln(Ga+1)	Py II	0.01	0.0038136	Sí
Ln(Ge+1)	Py II	0.000766	0.002337	No *
	Ef II	0.01183	0.02320	No *
Ln(As+1)	Py II	0.02028	0.04566	No *
Ln(Se+1)	Ef II	0.17991	0.04691	No
	Ef II	0.00735	0.01194	No *
Ln(Ag+1)	Gn II	0.03112	0.03813	No *
	Py II	0.00337	0.00789	No *
Ln(Cd+1)	Py II	0.000739	0.002262	No *
	Ef II	0.17107	0.06281	No *
Ln(In+1)	Ef II	0.000586	0.002096	No *
	Py II	0.000597	0.003380	No *
Ln(Te+1)	Gn II	0.00502	0.00688	No *
Ln(Sb+1)	Gn II	0.018	0.0582043	Sí
	Py II	0.02	0.0057543	Sí
Ln(Hg+1)	Ef II	0.001445	0.005203	No *
	Gn II	4.4691	0.00531	No
Ln(Pb+1)	Ef II	0.00428	0.01146	No *
	Py II	0.042	0.0712642	Sí

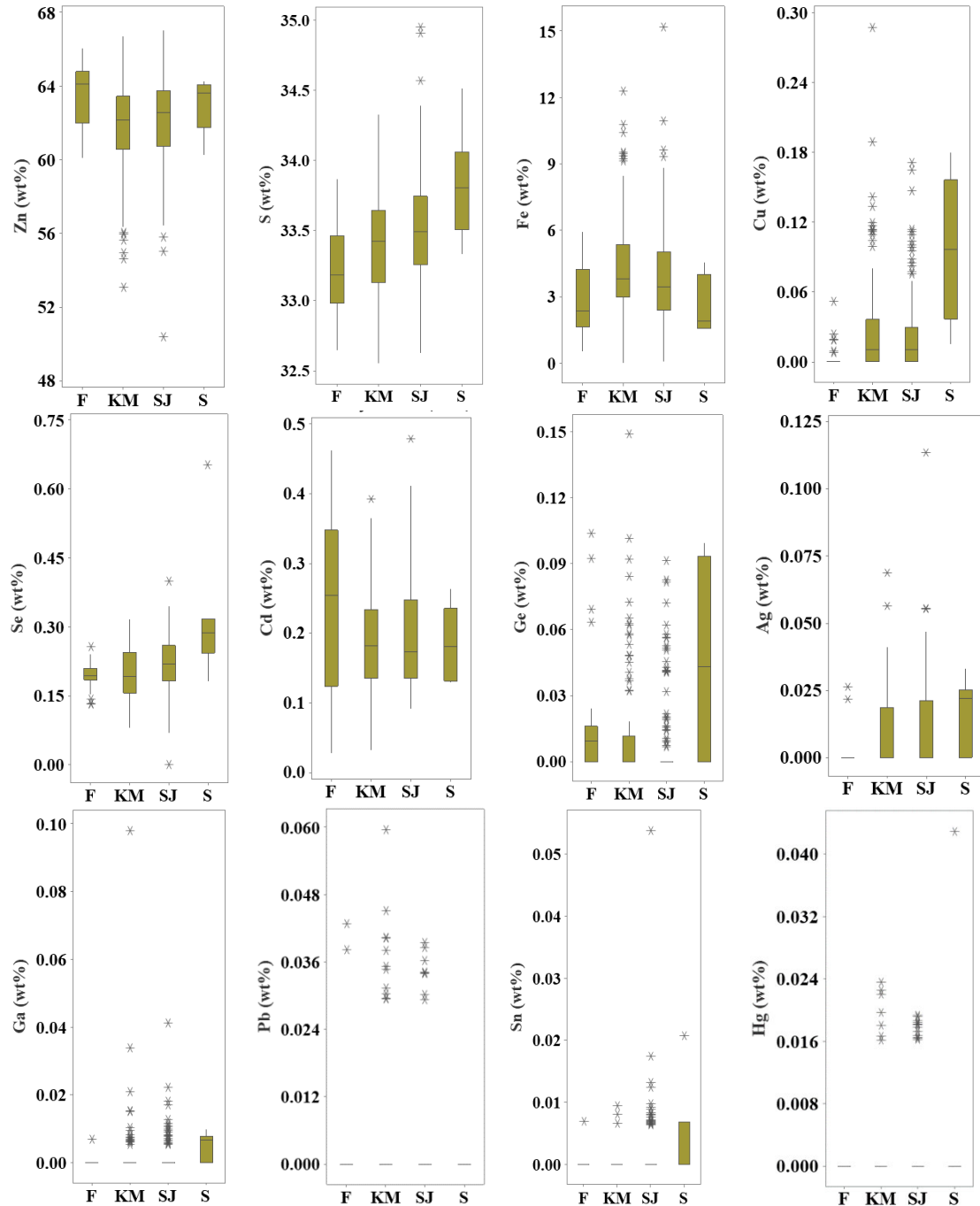
*Ef II: Esfalerita II. Gn II: Galena II. Py II: Pirita II.

En los casos en los que no se empleó MLE, es debido a ausencia de valores censurados.

*Se empleó el MLE, pero ya que la bondad del ajuste a la distribución lognormal escogida no fue buena, no resultó el MLE en la estimación de los estadísticos (generó $\bar{x} \leq 0$), por lo que se calculó el estadístico tradicionalmente, reemplazando valores atípicos por el promedio entre máximo y mínimo, excluyéndolos.

**Se tiene Shapiro-Wilk

Las figuras 5.17, 5.18 y 5.19 presentan los boxplots, valores atípicos y comparación gráfica de las medianas de las composiciones de la esfalerita II, galena II y pirita II, respectivamente, del proyecto cañón Florida-sector Karen Milagros.



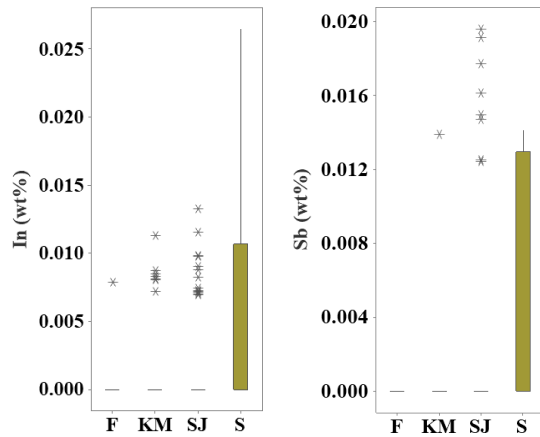
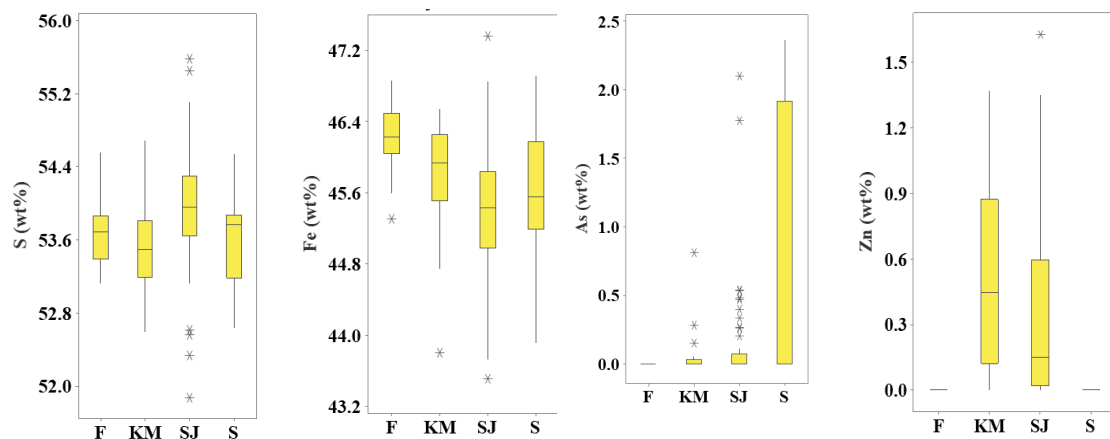


Figura 5.17 Box plots de composición de esfaleritas de los proyectos Cañón Florida, Florcita y Prospecto Soloco

F: Florcita. KM: Karen Milagros-Cañón Florida. SJ: San Jorge-Cañón Florida. S: Soloco.

La figura 5.17 permite reconocer lo siguiente:

- Las esfaleritas de Cañón Florida contienen más Fe que las de Florcita y Soloco
- Las esfaleritas de Soloco tienen mayor contenido de Cu.
- Las esfaleritas del sector Karen Milagros tienen los valores atípicos más altos de Ge, Ga, Pb, sin embargo, las esfaleritas de Soloco presentan el valor mediano más alto de Ge.
- Las esfaleritas de Cañón Florida tienen los valores más altos de Ag.
- El valor atípico más alto de Hg en esfaleritas se presenta en Soloco, sin embargo, en Cañón Florida se observan gran cantidad de valores atípicos.
- El In y Sb parecen estar relacionados, ya que se observa que a mayores valores de In, mayores valores de Sb, particularmente para San Jorge y Soloco.



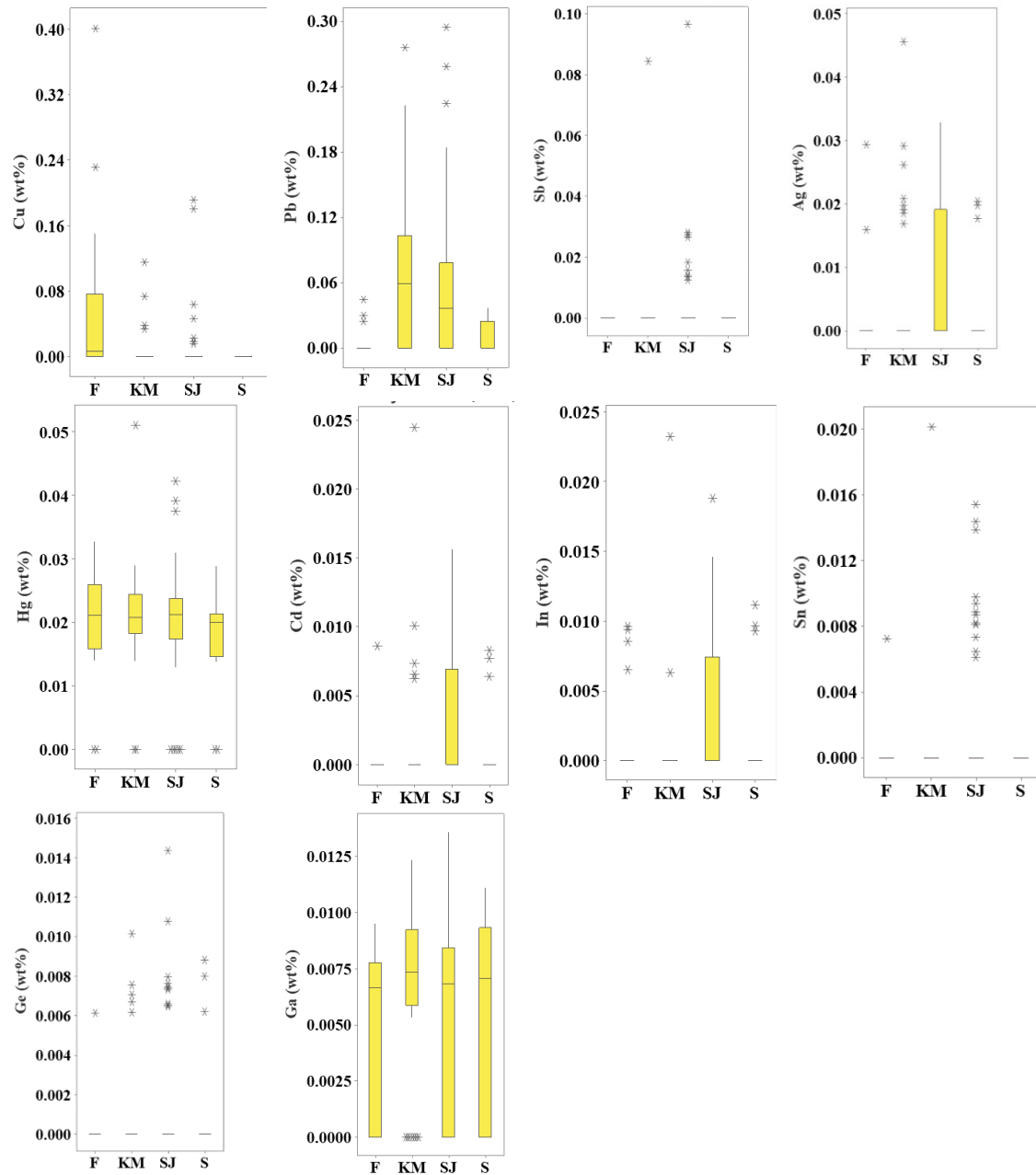


Figura 5. 18 Box plots de composición de piritas de los proyectos Cañón Florida, Florcita y Prospecto Soloco

La figura 5.18 permite reconocer lo siguiente:

- Las piritas con mayor contenido de Fe se encuentran en Florcita.
- Las piritas de Soloco son las que presentan mayor contenido de As, seguidas de las de San Jorge.
- Las piritas de Cañón Florida son las que tienen mayor contenido de Zn.
- Las piritas de Florcita son las que presentan valores atípicos de Cu más altos.
- Las piritas de Cañón Florida son las que presentan valores más altos de Pb, Sb, Hg, Ag, In, Cd, Sn, Ge, siendo las del sector San Jorge las que presentan los mayores valores atípicos de Ge.

- No hay diferencias significativas entre los contenidos de Ga.

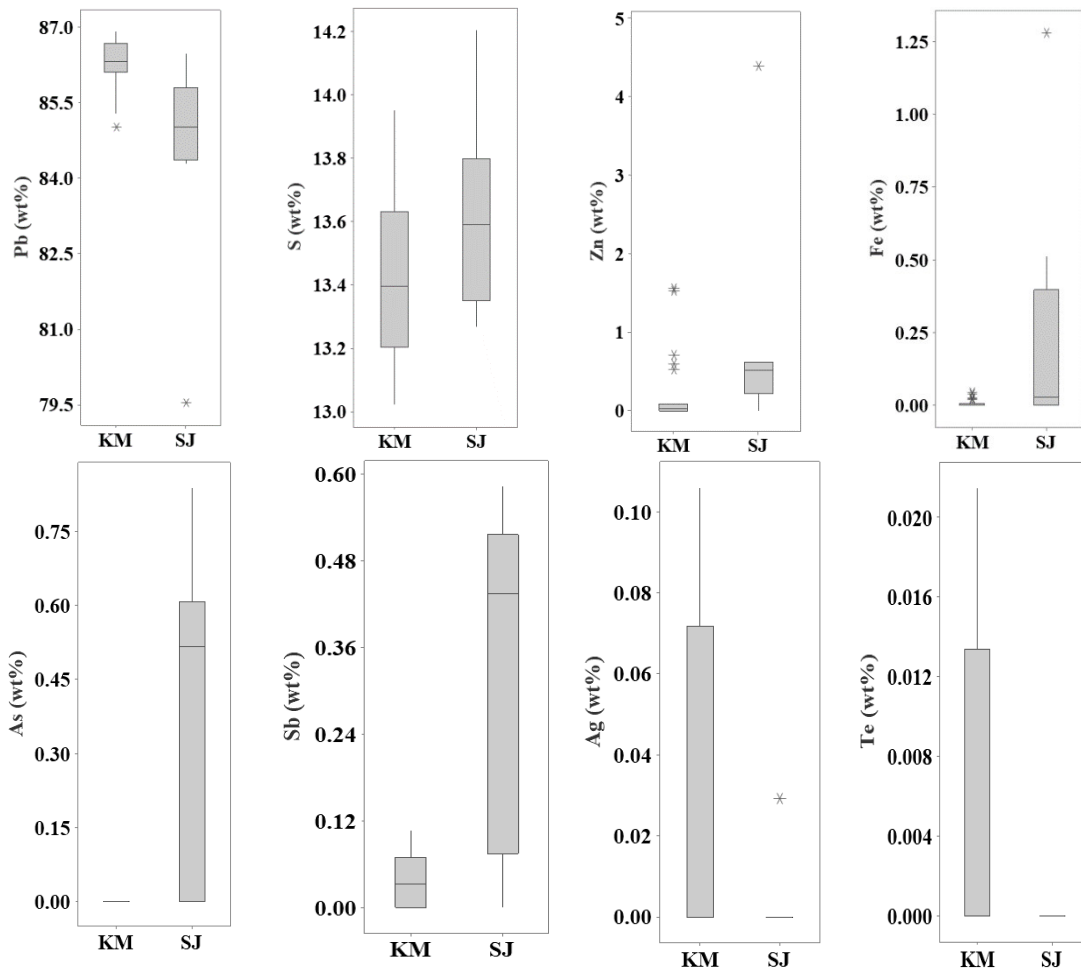


Figura 5.19 Box plots de composición de galenas de los proyectos Cañón Florida, Florcita y Prospecto Soloco

La figura 5.19 permite reconocer lo siguiente:

- Las piritas con mayor contenido de Fe se encuentran en Florcita.
- Las piritas de Soloco son las que presentan mayor contenido de As, seguidas de las de San Jorge.
- Las piritas de Cañón Florida son las que tienen mayor contenido de Zn.
- Las piritas de Florcita son las que presentan valores atípicos de Cu más altos.
- Las piritas de Cañón Florida son las que presentan valores más altos de Pb, Sb, Hg, Ag, In, Cd, Sn, Ge, siendo las del sector San Jorge las que presentan los mayores valores atípicos de Ge.
- No hay diferencias significativas entre los contenidos de Ga.

b. *Sector San Jorge*

Porcentaje de datos censurados

La Tabla 5.54 presenta el número de datos censurados de cada lectura elemental por mineral del proyecto Cañón Florida-sector San Jorge.

Tabla 5. 54

Número y porcentaje de datos censurados para los 18 elementos que se han medido en wt% para los minerales presentes en el Sector San Jorge

Cañón Florida – San Jorge																		
S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Hg	Pb	
Número de datos censurados																		
Gn II	0	3	8	8	8	1	8	8	3	8	7	8	8	8	1	8	8	0
Py II	0	0	65	62	58	15	17	53	44	65	40	45	44	52	56	65	5	20
Ef II	0	0	149	149	54	0	121	116	149	1	102	0	134	123	141	149	134	140
Porcentaje de datos censurados																		
Gn II	0	38	100	100	100	13	100	100	38	100	88	100	100	100	13	100	100	0
Py II	0	0	100	95	89	23	26	82	68	100	62	69	68	80	86	100	8	31
Ef II	0	0	100	100	36	0	81	78	100	0.67	68	0	90	83	95	100	90	94

De la tabla 5.54, se tiene que:

Esfalerita II

- La esfalerita II puede ser estudiada mediante el **S, Fe, Cu, Zn, Ga, Ge, Se, Ag, Cd**.
- Los elementos **In, Sn, Sb, Hg, Pb** superan el 80% de datos censurados, mientras que el **Co, Ni, As** se encuentran censurados en su totalidad.

Galena II

- La galena II puede ser estudiada mediante los elementos **S, Fe, Zn, As, Sb, Pb**, siendo que todos estos elementos tienen menos del 80% de datos censurados, se puede aplicar estimación de Máxima Verosimilitud para obtener sus estadísticos
- Los elementos **Co, Ni, Cu, Ga, Ge, Se, Ag, Cd, In, Sn, Hg** se encuentran todos por debajo del límite de detección, por lo que no se puede trabajar con ellos.

Pirita II

- La pirita II puede ser estudiada mediante los elementos **S, Fe, Zn, Ga, As, Hg, Pb, In.**
- Los elementos **Cu, Ge, Ag, Cd** presentan valores de censura superiores al 80%, por lo que pueden interpretarse a través de sus percentiles superiores, y el resto de interpretaciones provenientes del resto de sus estadísticos deben ser tratadas con cautela.
- Los elementos **Co, Ni, Se, Sn, Sb, Se** presentan más del 95% de sus datos censurados, y en casos el 100%, por lo que de estos solo se tiene el reporte de la presencia de dichos elementos en determinadas mediciones.

Pruebas de valores atípicos de Grubbs

Se realizó la prueba de valores atípicos de Grubbs (1950) para los elementos que componen los minerales detectados en Cañón Florida-San Jorge.

Para todos los casos se tiene el siguiente criterio de decisión:

Hipótesis nula (Ho)	Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal
Hipótesis alterna (Ha)	El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

G: Estadístico de la prueba de Grubbs

P= Valor correspondiente al estadístico G.

A continuación, se muestran los resultados para la prueba de valores atípicos de Grubbs (1950) para Ln(S+1), Ln(Fe+1), Ln(Cu+1), Ln(Zn+1), Ln(Ga+1), Ln(Ge+1), Ln(As+1), Ln(Se+1), Ln(Ag+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Te+1), Ln(Sb+1), Ln(Sn+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en Cañón Florida-San Jorge.

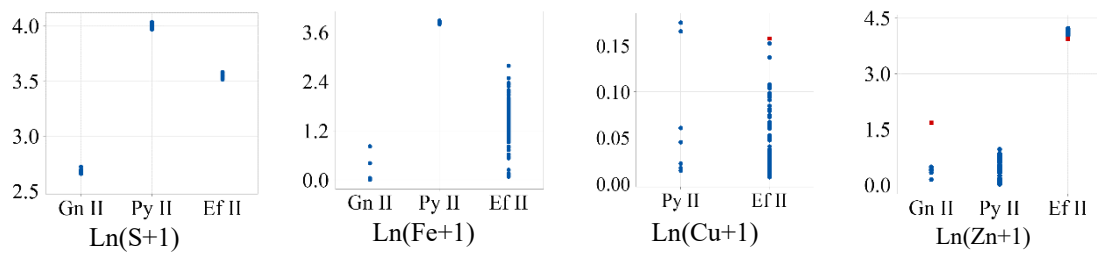
Tabla 5. 55

Prueba de Grubbs para Ln(S+1), Ln(Fe+1), Ln(Cu+1), Ln(Zn+1), Ln(Ga+1), Ln(Ge+1), Ln(As+1), Ln(Se+1), Ln(Ag+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Te+1), Ln(Sb+1), Ln(Sn+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en Cañón Florida-San Jorge

Variable	Mineral	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P	Atípico
Ln(S+1)	Gn II	8	2.6825	0.0207	2.6579	2.7215	1.88	0.231	

	Py II	65	4.0069	0.0123	3.9679	4.0358	3.17	0.065	
	Ef II	149	3.5416	0.0118	3.5153	3.5821	3.44	0.068	
Ln(Fe+1)	Gn II	5	0.269	0.351	0.013	0.824	1.58	0.233	
	Py II	65	3.8367	0.016	3.7958	3.8787	2.63	0.46	
	Ef II	149	1.4517	0.5037	0.0818	2.7856	2.72	0.887	
Ln(Cu+1)	Py II	7	0.0715	0.0695	0.0145	0.1751	1.49	0.763	
	Ef II	95	0.03607	0.034	0.00749	0.15792	3.58	0.02	0.157919
Ln(Zn+1)	Gn II	7	0.568	0.506	0.15	1.686	2.21	0.001	1.68567
	Py II	50	0.3556	0.2771	0.0167	0.9657	2.2	1	
	Ef II	149	4.1459	0.0393	3.9394	4.2197	5.26	0	3.93938
Ln(Ga+1)	Py II	48	0.008044	0.002237	0.005117	0.013484	2.43	0.592	
	Ef II	28	0.0106	0.00715	0.00527	0.04038	4.17	0	0.0403847
Ln(Ge+1)	Py II	12	0.008007	0.002277	0.006434	0.01425	2.74	0.004	0.0142505
	Ef II	33	0.03697	0.02349	0.0066	0.08754	2.15	0.868	
Ln(As+1)	Gn II	5	0.4772	0.0805	0.396	0.6097	1.65	0.132	
	Py II	21	0.3219	0.353	0.0172	1.1327	2.3	0.299	
Ln(Se+1)	Ef II	148	0.19806	0.04411	0.06739	0.33697	3.15	0.204	
Ln(Ag+1)	Gn II	1	0.028758	*	0.028758	0.028758	*	*	
	Py II	25	0.02228	0.00543	0.01586	0.03231	1.85	1	
	Ef II	47	0.02951	0.01483	0.01689	0.1076	5.26	0	0.107601
Ln(Cd+1)	Py II	20	0.009853	0.002926	0.006146	0.015517	1.94	0.87	
	Ef II	149	0.17602	0.06318	0.08782	0.3911	3.4	0.078	
Ln(In+1)	Py II	21	0.009571	0.003101	0.006775	0.018617	2.92	0.019	0.0186173
	Ef II	15	0.008581	0.00186	0.006894	0.013176	2.47	0.075	
Ln(Sb+1)	Gn II	7	0.3194	0.1532	0.0185	0.4593	1.96	0.082	
	Py II	9	0.02731	0.02511	0.01239	0.09223	2.59	0	0.0922321
	Ef II	8	0.015767	0.002718	0.012356	0.019401	1.34	1	
Ln(Sn+1)	Py II	13	0.009544	0.003	0.006089	0.015303	1.92	0.508	
	Ef II	26	0.01004	0.00898	0.00639	0.05239	4.72	0	0.052393
Ln(Hg+1)	Py II	60	0.021964	0.005712	0.012944	0.041467	3.41	0.02	0.0414665
	Ef II	15	0.017489	0.001058	0.016051	0.01911	1.53	1	
Ln(Pb+1)	Gn II	8	4.4483	0.0254	4.3887	4.4712	2.34	0.003	4.38873
	Py II	45	0.07811	0.05589	0.02511	0.25852	3.23	0.027	0.25852
	Ef II	9	0.03388	0.00325	0.02895	0.03875	1.51	1	

La representación gráfica de la prueba de valores atípicos se muestra en la figura 5.20



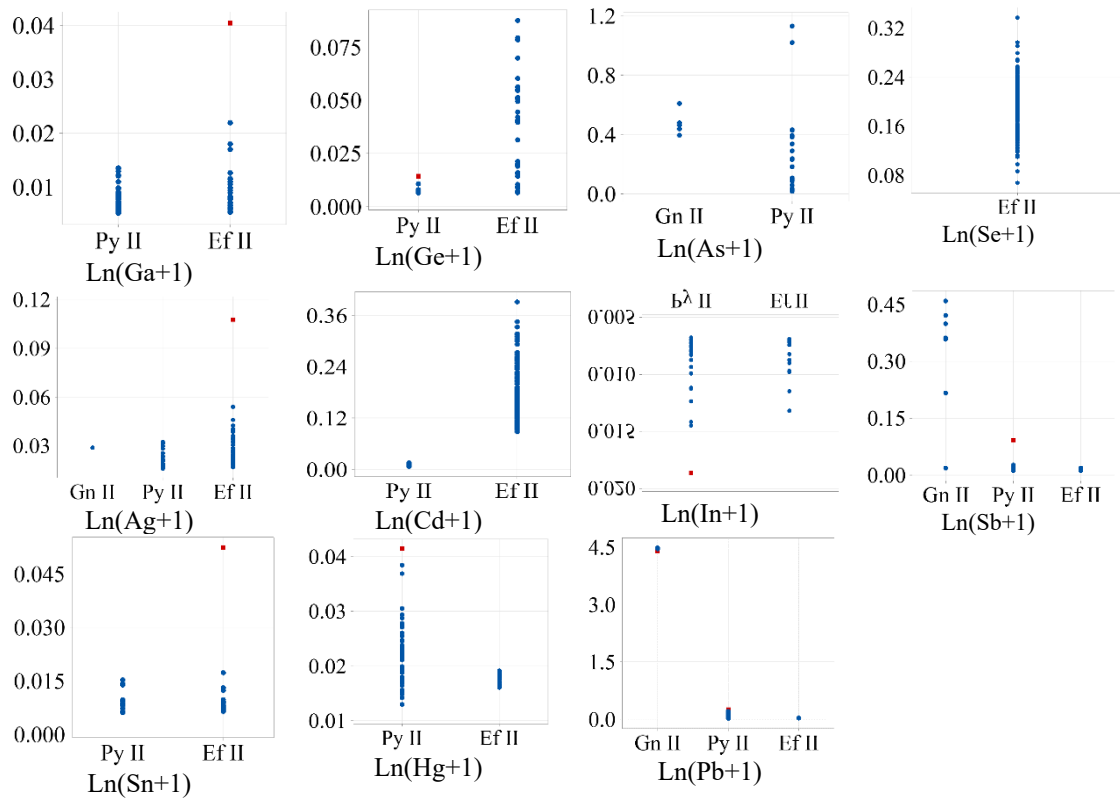


Figura 5. 20 Representación gráfica de prueba de valores atípicos de Grubbs

Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk

Se procedió a aplicar la prueba de normalidad según el índice de Kolmogorov-Smirnov:

Tabla 5. 56

Resultados de pruebas de normalidad para distribución de la paragénesis de Cañón Florida-San Jorge

Pruebas de normalidad							
Mineral	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	p	
Ln(S+1)	Gn II	0.15	8.00	.200*	0.95	8.00	0.67
	Py II	0.08	76.00	.200*	0.98	76.00	0.19
	Ef II	0.06	156.00	.200*	0.98	156.00	0.03
Ln(Fe+1)	Gn II	0.33	5.00	0.07	0.80	5.00	0.08
	Py II	0.10	65.00	.200*	0.98	65.00	0.57
	Ef II	0.09	149.00	0.00	0.96	149.00	0.00
Ln(Cu+1)	Py II	0.28	7.00	0.12	0.78	7.00	0.03
	Ef II	0.20	95.00	0.00	0.79	95.00	0.00
Ln(Zn+1)	Gn II	0.42	7.00	0.00	0.67	7.00	0.00
	Py II	0.16	50.00	0.00	0.92	50.00	0.00
	Ef II	0.08	149.00	0.03	0.93	149.00	0.00
Ln(Ga+1)	Py II	0.12	48.00	0.08	0.91	48.00	0.00

	Ef II	0.25	28.00	0.00	0.67	28.00	0.00
Ln(Ge+1)	Py II	0.35	12.00	0.00	0.67	12.00	0.00
	Ef II	0.17	33.00	0.02	0.93	33.00	0.03
Ln(As+1)	Gn II	0.29	5.00	0.19	0.89	5.00	0.37
	Py II	0.24	21.00	0.00	0.76	21.00	0.00
Ln(Se+1)	Ef II	0.05	148.00	.200*	0.99	148.00	0.55
Ln(Ag+1)	Py II	0.16	25.00	0.12	0.90	25.00	0.02
	Ef II	0.20	47.00	0.00	0.65	47.00	0.00
Ln(Cd+1)	Py II	0.12	20.00	.200*	0.93	20.00	0.17
	Ef II	0.11	149.00	0.00	0.93	149.00	0.00
Ln(In+1)	Py II	0.23	21.00	0.01	0.81	21.00	0.00
	Ef II	0.20	15.00	0.10	0.85	15.00	0.02
Ln(Sn+1)	Py II	0.24	13.00	0.04	0.85	13.00	0.03
	Ef II	0.36	26.00	0.00	0.39	26.00	0.00
Ln(Sb+1)	Gn II	0.31	7.00	0.04	0.83	7.00	0.09
	Py II	0.39	9.00	0.00	0.61	9.00	0.00
Ln(Hg+1)	Ef II	0.14	8.00	.200*	0.93	8.00	0.47
	Py II	0.14	60.00	0.01	0.92	60.00	0.00
Ln(Pb+1)	Ef II	0.13	15.00	.200*	0.93	15.00	0.25
	Gn II	0.34	8.00	0.01	0.73	8.00	0.01
Ln(Pb+1)	Py II	0.18	45.00	0.00	0.82	45.00	0.00
	Ef II	0.21	9.00	.200*	0.93	9.00	0.48

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

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Histogramas

a. Mineral: Esfalerita II

Se han realizado los histogramas de los elementos que pueden ser estudiados debido al porcentaje de datos no censurados, que componen la esfalerita II del sector San Jorge del proyecto Cañón Florida.

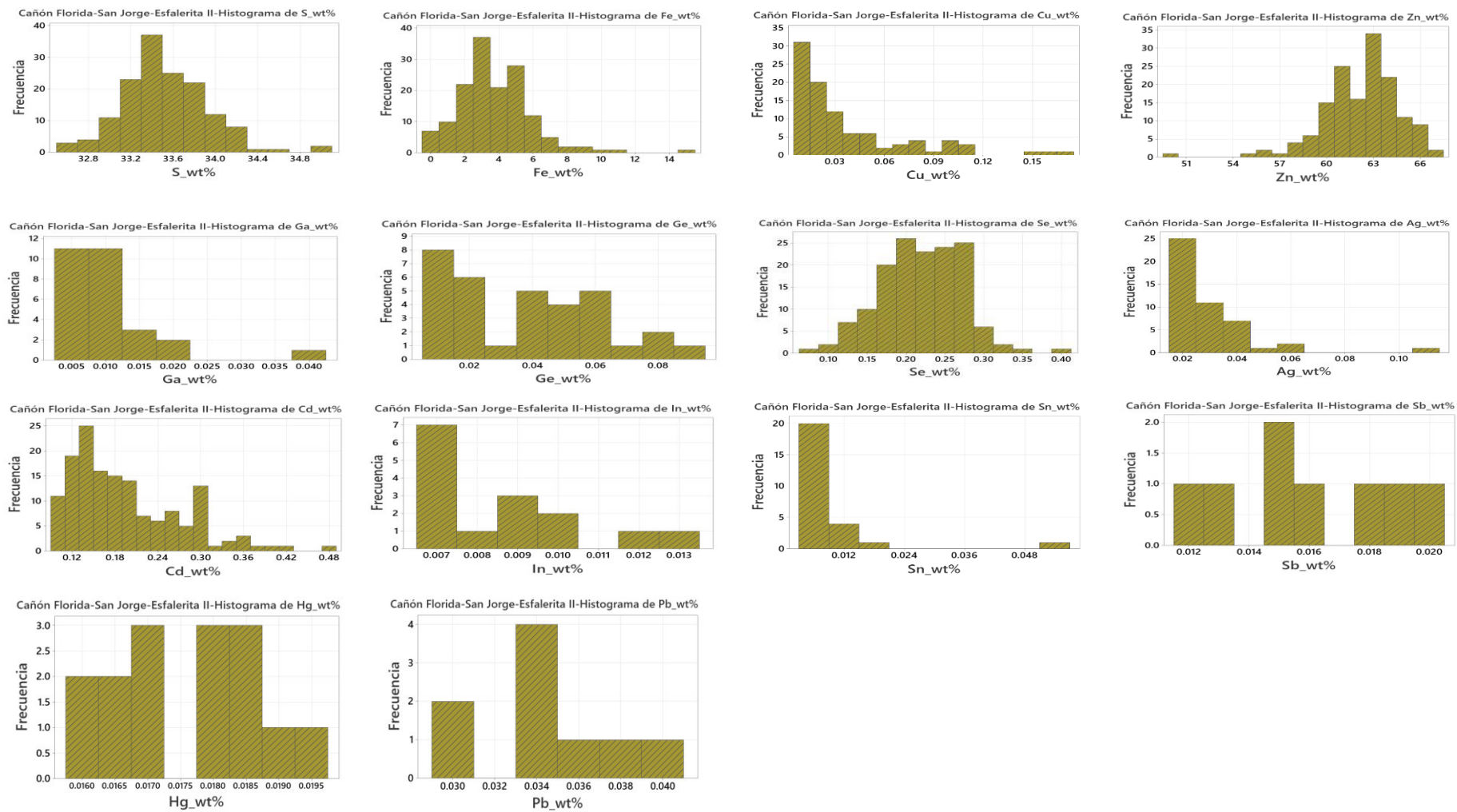


Figura 5. 21 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Esfalerita II, Cañón Florida-Sector San Jorge

De los histogramas, se tiene que la mayoría de los elementos (a excepción del S) no tienen una distribución normal.

b. Mineral: Galena II

Se han realizado los histogramas de los elementos que pueden ser estudiados debido al porcentaje de datos no censurados, que componen la galena II del sector San Jorge del proyecto Cañón Florida.

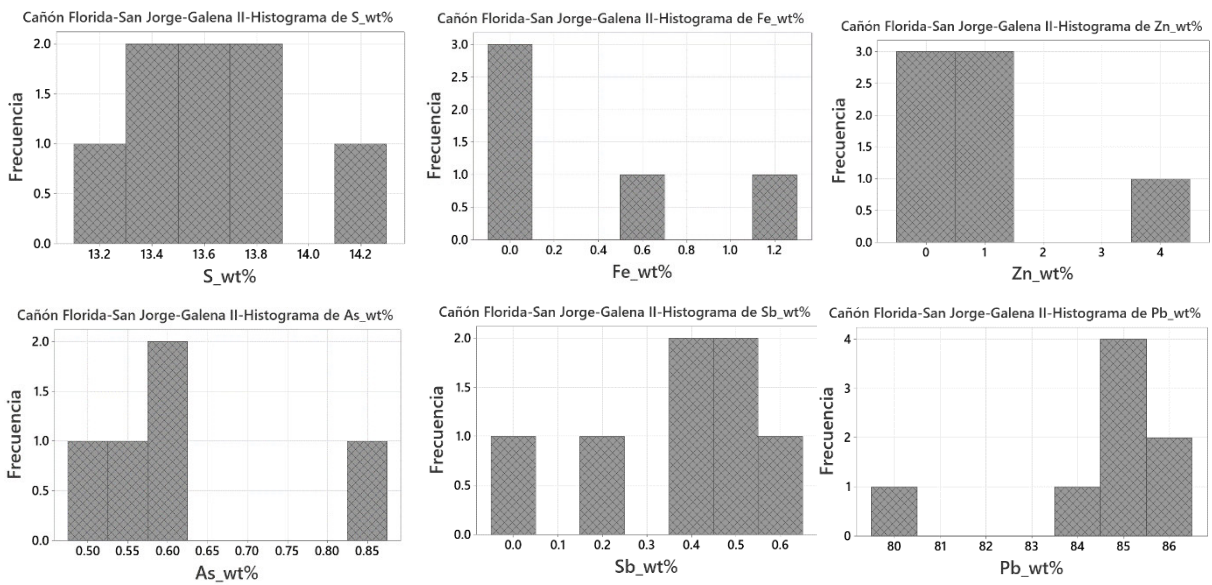


Figura 5. 22 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Galena II, Cañón Florida-Sector San Jorge

De los histogramas, se tiene que la mayoría de los elementos (a excepción del S) no tienen una distribución normal.

c. Mineral: Pirita II

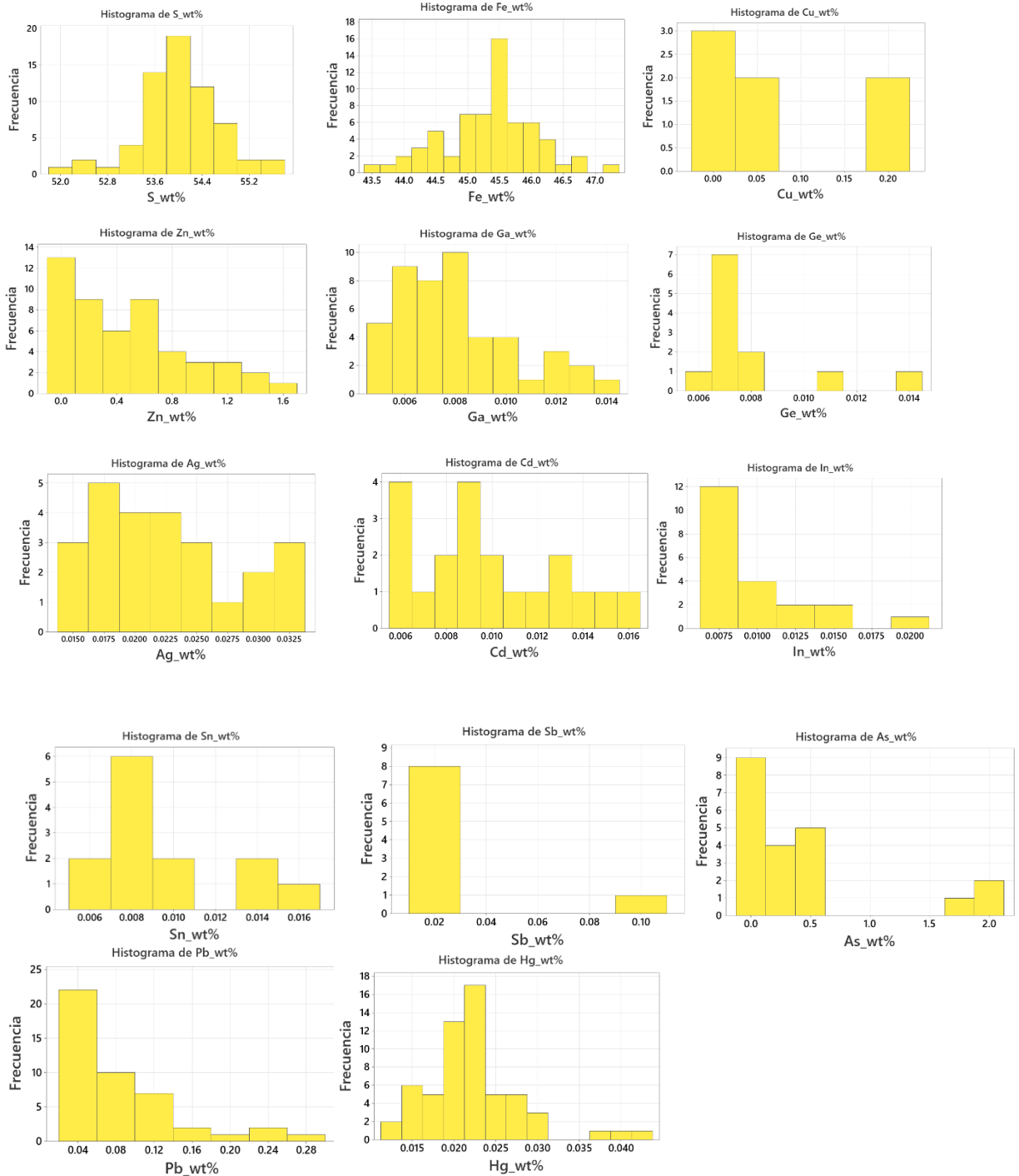


Figura 5. 23 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Pirita II, Cañón Florida-Sector San Jorge

Estimador de Máxima Verosimilitud y cálculo de media y desviación estándar

Para el cálculo de media y desviación estándar se empleará estimación de Máxima Verosimilitud según sea el caso. Ya que se ha realizado el previo reconocimiento de los valores atípicos, estos no se computarán para las pruebas de normalidad y estimación de Máxima Verosimilitud, pero serán incluidos para el procesamiento posterior.

En caso no existan valores censurados y/o atípicos, se calculará la media y la desviación estándar de la manera convencional.

La tabla 5.57 presenta las medias y desviación estándar, indicando en cada caso cómo fueron calculadas.

Tabla 5. 57

Resultados de media y desviación estándar obtenidos mediante fórmula tradicional y mediante estimador de máxima verosimilitud

	Mineral	\bar{x}	σ	Uso de estimador
Ln(S+1)	Gn II	2.6825	0.0207	No
	Ef II	3.5416	0.0118	No
	Py II	4.0069	0.0123	No
Ln(Fe+1)	Gn II	0.057	0.394528	Sí
	Ef II	1.4517	0.5037	No
	Py II	3.8367	0.0160	No
Ln(Cu+1)	Py II	0.0077	0.03087	No *
	Ef II	0.011	0.0454529	Sí
Ln(Zn+1)	Gn II	0.315	0.196356	Sí
	Ef II	4.1465	0.0367	No
	Py II	0.225	0.348927	Sí
Ln(Ga+1)	Ef II	0.001867	0.00439	No *
	Py II	0.01	0.0052584	Sí
Ln(Ge+1)	Py II	0.001358	0.000362	No *
	Ef II	0.00819	0.01888	No *
Ln(As+1)	Py II	0.1040	0.2489	No *
	Gn II	0.215	0.361095	Sí
Ln(Se+1)	Ef II	0.19673	0.04686	No
	Ef II	0.00865	0.01390	No *
Ln(Ag+1)	Gn II	0.00359	0.01017	No *
	Py II	0.00865	0.01390	No *
Ln(Cd+1)	Py II	0.003032	0.004852	No *
	Ef II	0.17602	0.06318	No
Ln(In+1)	Ef II	0.000864	0.002653	No *
	Py II	0.002850	0.004454	No
Ln(Sb+1)	Gn II	0.2795	0.1813	No
	Py II	0.019944	0.007659	No
Ln(Hg+1)	Ef II	0.001761	0.005290	No *
	Gn II	4.4568	0.0892	No
Ln(Pb+1)	Ef II	0.002046	0.008133	No *
	Py II	0.039	0.0783874	Sí

En los casos en los que no se empleó MLE, es debido a ausencia de valores censurados.

*Se empleó el MLE, pero ya que la bondad del ajuste a la distribución lognormal escogida no fue buena, no resultó el MLE en la estimación de los estadísticos (generó $\bar{x} \leq 0$), por lo que se calculó el estadístico tradicionalmente, reemplazando valores atípicos por el promedio entre máximo y mínimo, excluyéndolos.

**Se tiene Shapiro-Wilk

5.4.2 Proyecto Florcita

a. Porcentaje de datos censurados

La Tabla 5.58 presenta el número de datos censurados de cada lectura elemental por mineral del proyecto Florcita.

Tabla 5. 58

Número y porcentaje de datos censurados para los 18 elementos que se han medido en wt% para los minerales presentes en el proyecto Florcita

		Florcita																	
		S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Hg	Pb
		Número de datos censurados																	
Ef I		0	0	33	33	26	0	32	12	33	0	31	0	32	32	33	33	33	31
Py		0	0	21	20	11	22	7	21	22	22	20	21	18	21	22	22	2	18
		Porcentaje de datos censurados																	
Ef I		0	0	100	100	79	0	97	36	100	0	94	0	97	97	100	100	100	94
Py		0	0	96	91	50	100	32	96	100	100	91	96	82	96	100	100	9	82

De la tabla 5.58, se tiene que:

Esfalerita I

- La esfalerita I puede ser estudiada mediante el **S, Fe, Cu, Zn, Ge, Se, Cd**.
- Los elementos **Ga, Ag, In, Sn, Pb** superan el 80% de datos censurados, mientras que el **Co, Ni, As, Sb, Te, Hg** se encuentran censurados en su totalidad.

Pirita

- La pirita puede ser estudiada mediante los elementos **S, Fe, Zn, Cu, Ga, In, Hg, Pb**.
- Los elementos **Ni, Ag** presentan valores de censura superiores al 80%, por lo que pueden interpretarse a través de sus percentiles superiores, y el resto de interpretaciones provenientes del resto de sus estadísticos deben ser tratadas con cautela.
- Los elementos **Co, Ge, Cd, Sn, Sb, Se** presentan más del 95% de sus datos censurados, y en casos el 100%, por lo que de estos solo se tiene el reporte de la presencia de dichos elementos en determinadas mediciones.

Tabla 5. 59
Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la pirita II del proyecto Florcita

FLORCITA		Pirita		Esfalerita I	
Variable	Valores (wt%)	F-03	F-04	F-03	F-04
S	Mínimo	52.2090	53.0380	32.7000	32.4310
	Mediana	52.9230	53.4380	32.8640	33.0840
	Máximo	54.7880	54.3200	33.3030	33.7580
Fe	Mínimo	45.4970	44.9350	2.2490	0.5240
	Mediana	46.2410	46.0430	2.8430	2.1520
	Máximo	46.5270	47.0320	5.8840	5.8330
Co	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	0.0067	d.l.d.	d.l.d.
Ni	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	0.0211	d.l.d.	d.l.d.
Cu	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	0.0122	0.0063	0.0075	d.l.d.
	Máximo	0.0443	0.4011	0.0235	0.0513
Zn	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	59.5060	59.6960
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	62.3820	63.9320
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	64.0260	65.9100
Ga	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	0.0071	0.0063	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0093	0.0090	d.l.d.	0.0068
Ge	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	0.0136	0.0081
	Máximo	0.0060	d.l.d.	0.0182	0.1037
As	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Se	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	0.1521	0.1319
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	0.1908	0.1952
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	0.2539	0.2398
Ag	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0295	0.0158	d.l.d.	0.0263
Cd	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	0.0549	0.0290
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	0.2530	0.2061
	Máximo	0.0086	d.l.d.	0.2963	0.4621
In	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	0.0047	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0095	0.0084	d.l.d.	0.0078
Sn	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0073	d.l.d.	0.0068	d.l.d.
Sb	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Te	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Hg	Mínimo	d.l.d.	0.0139	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	0.0140	0.0213	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0327	0.0270	d.l.d.	d.l.d.
Pb	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	0.0440	d.l.d.	0.0426

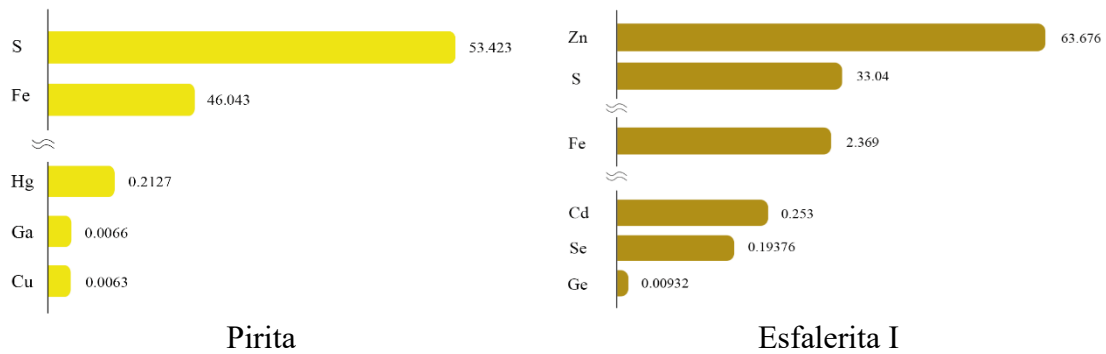


Figura 5. 24 Medianas de las abundancias de los elementos de la pirita y esfalerita I para el proyecto Florcita

b. Pruebas de valores atípicos de Grubbs

A continuación, se muestran los resultados para la prueba de valores atípicos de Grubbs (1950) para $\text{Ln}(\text{S}+1)$, $\text{Ln}(\text{Fe}+1)$, $\text{Ln}(\text{Cu}+1)$, $\text{Ln}(\text{Zn}+1)$, $\text{Ln}(\text{Ga}+1)$, $\text{Ln}(\text{Ge}+1)$, $\text{Ln}(\text{Se}+1)$, $\text{Ln}(\text{Cd}+1)$, $\text{Ln}(\text{In}+1)$, $\text{Ln}(\text{Hg}+1)$, $\text{Ln}(\text{Pb}+1)$ en los minerales detectados en el proyecto Florcita.

Tabla 5. 60

Prueba de Grubbs para $\text{Ln}(\text{S}+1)$, $\text{Ln}(\text{Fe}+1)$, $\text{Ln}(\text{Cu}+1)$, $\text{Ln}(\text{Zn}+1)$, $\text{Ln}(\text{Ga}+1)$, $\text{Ln}(\text{Ge}+1)$, $\text{Ln}(\text{Se}+1)$, $\text{Ln}(\text{Cd}+1)$, $\text{Ln}(\text{In}+1)$, $\text{Ln}(\text{Hg}+1)$, $\text{Ln}(\text{Pb}+1)$ en los minerales detectados en el proyecto Florcita

Variable	Mineral	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P	Atípico
$\text{Ln}(\text{S}+1)$	Py	22	4.0014	0.00678	3.9913	4.0174	2.37	0.249	*
	Ef I	33	3.5323	0.00876	3.5158	3.5514	2.18	0.802	*
$\text{Ln}(\text{Fe}+1)$	Py	22	3.8551	0.00797	3.8353	3.8685	2.48	0.163	*
	Ef I	33	1.2958	0.4072	0.4223	1.9381	2.14	0.888	*
$\text{Ln}(\text{Cu}+1)$	Py	22	0.0488	0.0850	0.0000	0.3375	3.40	0.001	0.337520
	Ef I	33	0.00414	0.01034	0.00000	0.05015	4.45	0.000	0.050150
$\text{Ln}(\text{Zn}+1)$	Ef I	33	4.1644	0.0272	4.1129	4.2056	1.89	1.000	*
$\text{Ln}(\text{Ga}+1)$	Py	22	0.005020	0.003621	0.000000	0.009458	1.39	1.000	*
$\text{Ln}(\text{Ge}+1)$	Ef I	33	0.01626	0.02519	0.00000	0.09879	3.28	0.010	0.098793
$\text{Ln}(\text{Se}+1)$	Ef I	33	0.17759	0.02379	0.12407	0.22882	2.25	0.652	*
$\text{Ln}(\text{Cd}+1)$	Ef I	33	0.2075	0.1040	0.0285	0.3796	1.72	1.000	*
$\text{Ln}(\text{In}+1)$	Py	22	0.001543	0.003391	0.000000	0.009577	2.37	0.249	*
$\text{Ln}(\text{Hg}+1)$	Ef I	33	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	*	*	*
	Py	22	0.00241	0.00965	0.00000	0.04204	4.10	0.000	0.042036
$\text{Ln}(\text{Pb}+1)$	Ef I	33	0.00577	0.01289	0.00000	0.04343	2.92	0.0220	0.043426
	Py	22	0.00577	0.01289	0.00000	0.04343	2.92	0.0220	0.043426

La representación gráfica de la prueba de valores atípicos se muestra en la figura 5.25

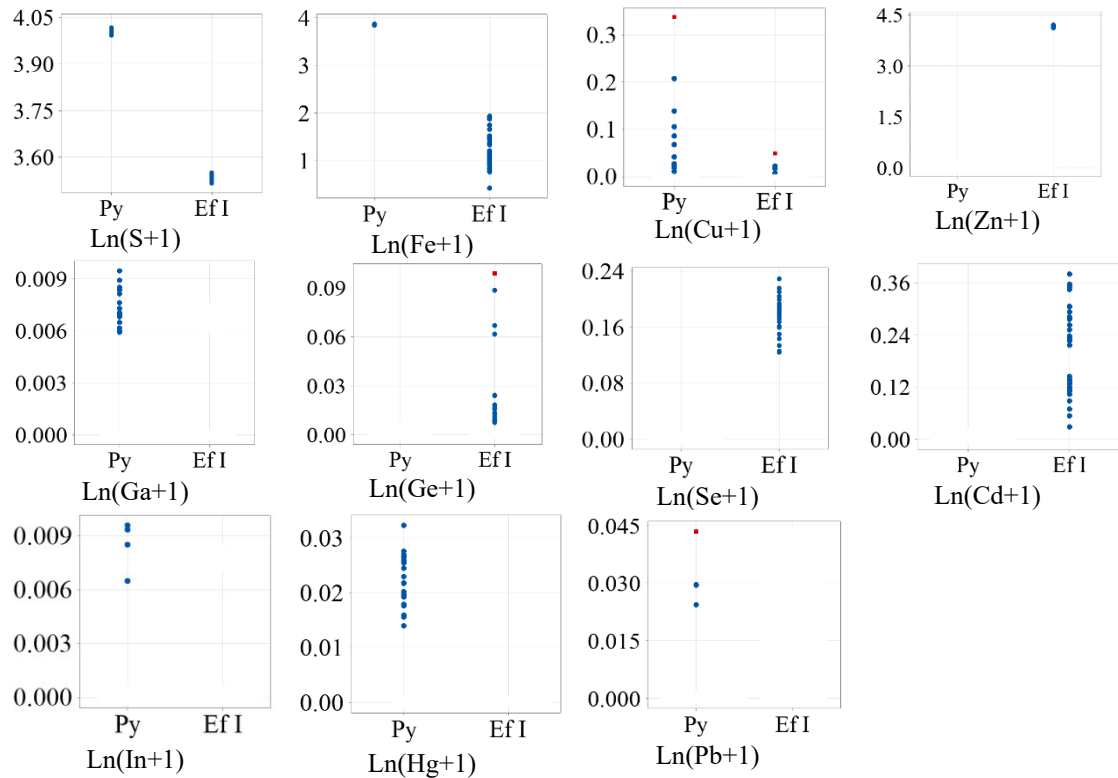


Figura 5. 25 Representación gráfica de prueba de valores atípicos de Grubbs

c. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk

Se procedió a aplicar la prueba de normalidad según el índice de Kolmogorov-Smirnov:

Tabla 5. 61

Resultados de pruebas de normalidad para distribución de la paragénesis del proyecto Florcita

Mineral		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p	Estadístico	gl	p
Ln(S+1)	Py	0.133	22	0.200*	0.952	22	0.351
	Ef I	0.083	33	0.200*	0.986	33	0.931
Ln(Fe+1)	Py	0.125	22	0.200*	0.968	22	0.654
	Ef I	0.106	33	0.200*	0.949	33	0.123
Ln(Cu+1)	Py	0.196	11	0.200*	0.819	11	0.017
	Ef I	0.251	7	0.200*	0.793	7	0.035
Ln(Zn+1)	Ef I	0.184	33	0.006	0.899	33	0.005
Ln(Ga+1)	Py	0.145	15	0.200*	0.949	15	0.511
Ln(Ge+1)	Ef I	0.366	21	0.000	0.646	21	0.000
Ln(Se+1)	Ef I	0.160	33	0.031	0.960	33	0.262

Ln(Cd+1)	Ef I	0.181	33	0.007	0.929	33	0.033
Ln(In+1)	Py	0.256	4	*	0.865	4	0.278
Ln(Hg+1)	Py	0.117	20	0.200*	0.963	20	0.607
Ln(Pb+1)	Py	0.351	4	*	0.858	4	0.253

d. *Histogramas*

Mineral: Esfalerita I

Se han realizado los histogramas de los elementos que pueden ser estudiados debido al porcentaje de datos no censurados, que componen la esfalerita I del proyecto Florcita.

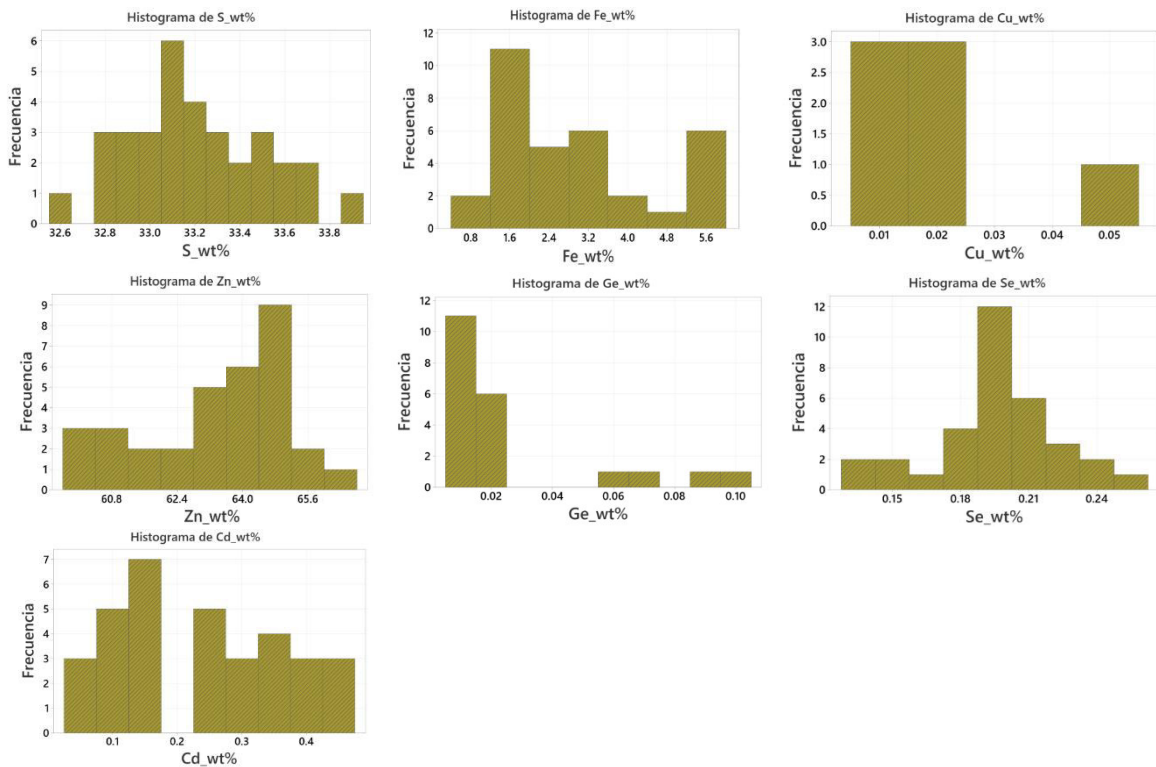


Figura 5. 26 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Esfalerita I, Florcita

Mineral: Pirita

Se han realizado los histogramas de los elementos que pueden ser estudiados debido al porcentaje de datos no censurados, que componen la pirita del proyecto Florcita.

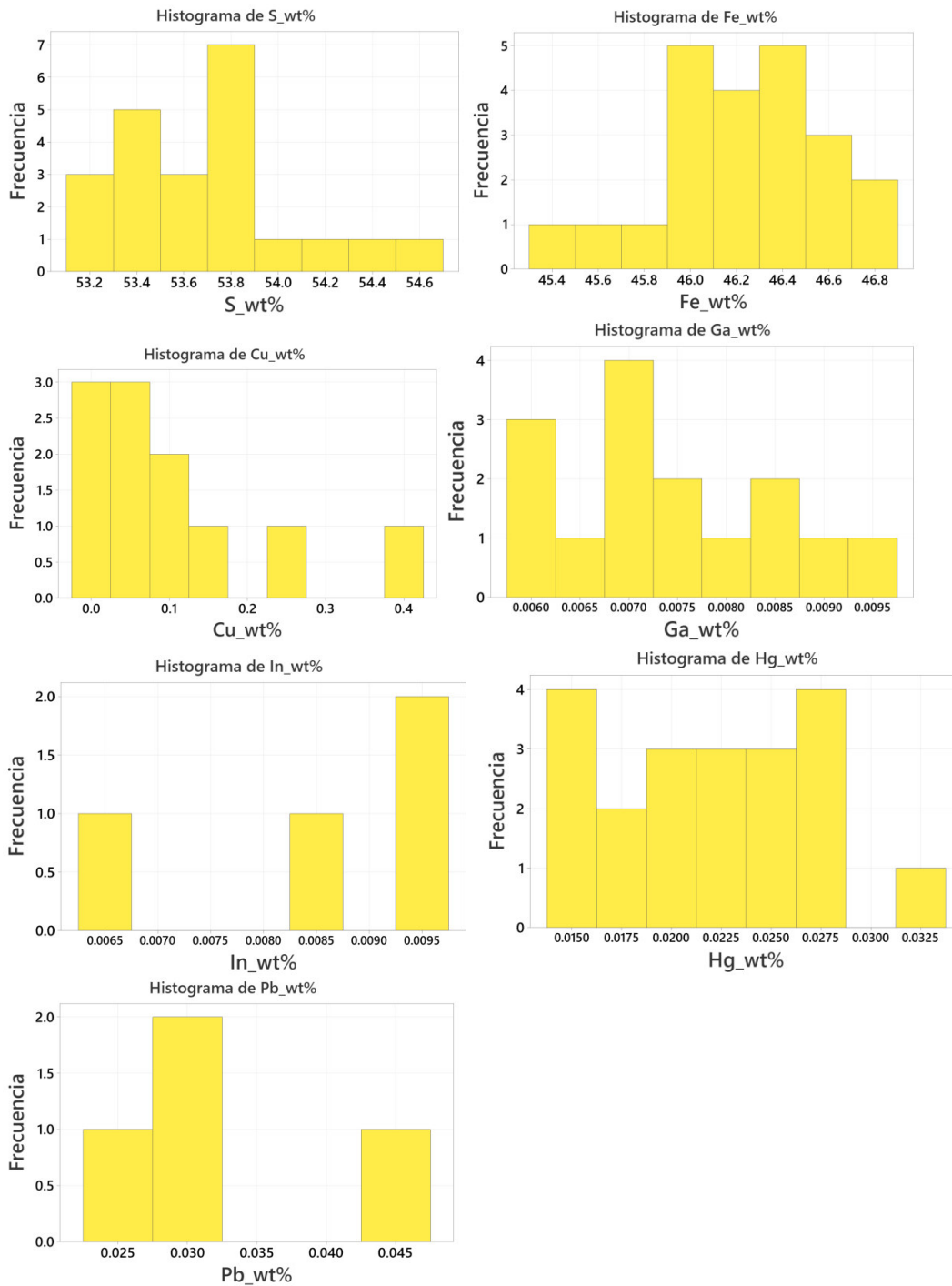


Figura 5. 27 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Pirita, Florcita

e. Estimador de Máxima Verosimilitud y cálculo de media y desviación estándar

Para el cálculo de media y desviación estándar se empleará estimación de Máxima Verosimilitud según sea el caso. Ya que se ha realizado el previo reconocimiento de los

valores atípicos, estos no se computarán para las pruebas de normalidad y estimación de Máxima Verosimilitud, pero serán incluidos para el procesamiento posterior.

En caso no existan valores censurados y/o atípicos, se calculará la media y la desviación estándar de la manera convencional.

La tabla 5.62 presenta las medias y desviación estándar, indicando en cada caso cómo fueron calculadas.

Tabla 5. 62

Resultados de media y desviación estándar obtenidos mediante fórmula tradicional y mediante estimador de máxima verosimilitud

	Mineral	\bar{x}	σ	Uso de estimador
Ln(S+1)	Py I	3.5323	0.00876	No
	Py	4.0014	0.00678	No
Ln(Fe+1)	Py I	1.2958	0.4072	No
	Py	3.8551	0.00797	No
Ln(Cu+1)	Py I	0.00270	0.00631	No*
	Py	0.0351	0.0567	No*
Ln(Zn+1)	Py I	4.1644	0.0272	No
Ln(Ge+1)	Py I	0.01368	0.02070	No*
Ln(Se+1)	Py I	0.17759	0.02379	No
Ln(Cd+1)	Py I	0.2075	0.1040	No
Ln(In+1)	Py	0.001543	0.003391	No*
Ln(Hg+1)	Py	0.01983	0.00796	No
Ln(Pb+1)	Py	0.00577	0.01289	No*

5.4.3 Prospecto Soloco

a. Porcentaje de datos censurados

La Tabla 5.63 presenta el número de datos censurados de cada lectura elemental por mineral del prospecto Soloco.

Tabla 5. 63

Número y porcentaje de datos censurados para los 18 elementos que se han medido en wt% para los minerales presentes en el prospecto Soloco

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Hg	Pb
	Número de datos censurados																	
Sp	0	0	7	7	0	0	3	2	7	0	3	0	5	5	5	7	6	7
Py II	0	0	19	19	19	19	5	16	10	19	16	16	16	19	19	19	2	14

Porcentaje de datos censurados																		
Sp	0	0	100	100	0	0	43	29	100	0	43	0	71	71	71	100	86	100
Py II	0	0	100	100	100	100	26	84	53	100	84	84	84	100	100	100	11	74

Esfalerita

- La esfalerita puede ser estudiada mediante el **S, Fe, Cu, Zn, Ga, Ge, Se, Ag, Cd, In, Sn, Sb**.
- El **Hg** supera el 80% de datos censurados, mientras que el **Co, Ni, As, Te, Pb** se encuentran censurados en su totalidad.

Pirita II

- La pirita II puede ser estudiada mediante los elementos **S, Fe, Zn, Ga, Hg, Pb**.
- Los elementos **Ge, Cd, In, Ag** presentan valores de censura superiores al 80%, por lo que pueden interpretarse a través de sus percentiles superiores, y el resto de interpretaciones provenientes del resto de sus estadísticos deben ser tratadas con cautela.
- Los elementos **Co, Ni, Cu, Zn, Se, Sn, Sn, Se** te encuentran censurados en su totalidad.

Tabla 5. 64

Mediana, máximo y mínimo de resultados de EPMA para la esfalerita y pirita II del prospecto Soloco

Variable	Soloco	Esfalerita	Pirita II	
	Valores (wt%)	S-04	S-02	S-04
S	Mínimo	32.8540	52.4580	52.1990
	Mediana	33.5030	53.4500	53.6420
	Máximo	34.0160	53.8820	54.5400
Fe	Mínimo	1.5530	44.7750	43.2430
	Mediana	1.8670	45.9860	45.0600
	Máximo	4.4860	46.7880	45.5690
Co	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ni	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Cu	Mínimo	0.0152	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	0.0952	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.1780	d.l.d.	d.l.d.
Zn	Mínimo	59.3900	d.l.d.	d.l.d.
	Mediana	62.7220	d.l.d.	d.l.d.

	Máximo	63.8680	d.l.d.	d.l.d.
	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ga	Mediana	0.0067	0.0063	0.0090
	Máximo	0.0099	0.0111	0.0109
	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ge	Mediana	0.0428	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0984	d.l.d.	0.0088
	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	0.0310
As	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	1.8950
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	2.3230
	Mínimo	0.1795	d.l.d.	d.l.d.
Se	Mediana	0.2839	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.6440	d.l.d.	d.l.d.
	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Ag	Mediana	0.0220	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0328	d.l.d.	0.0204
	Mínimo	0.1286	d.l.d.	d.l.d.
Cd	Mediana	0.1787	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.2597	0.0081	d.l.d.
	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
In	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0261	0.0110	d.l.d.
	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Sn	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0205	d.l.d.	d.l.d.
	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Sb	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	0.0139	d.l.d.	d.l.d.
	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Te	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
	Mínimo	d.l.d.	0.0137	d.l.d.
Hg	Mediana	d.l.d.	0.0189	0.0199
	Máximo	0.0423	0.0290	0.0286
	Mínimo	d.l.d.	d.l.d.	d.l.d.
Pb	Mediana	d.l.d.	d.l.d.	0.0250
	Máximo	d.l.d.	d.l.d.	0.0371

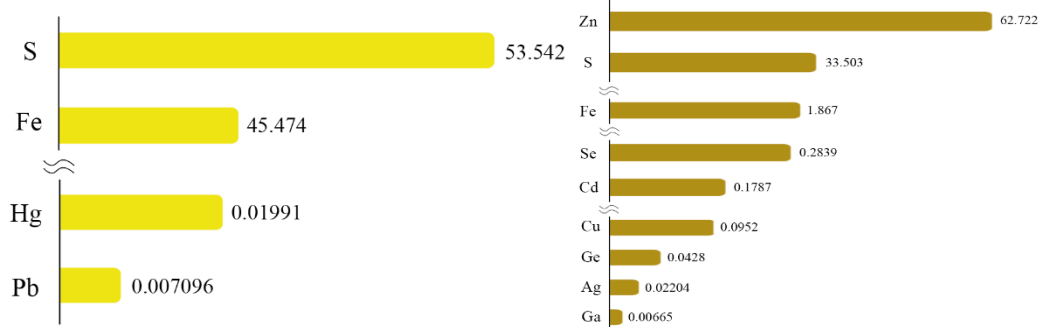


Figura 5. 28 Medianas de las abundancias de los elementos de pirita II y esfalerita para el prospecto Soloco

b. Pruebas de valores atípicos de Grubbs

A continuación, se muestran los resultados para la prueba de valores atípicos de Grubbs (1950) para $\text{Ln}(S+1)$, $\text{Ln}(Fe+1)$, $\text{Ln}(Cu+1)$, $\text{Ln}(Zn+1)$, $\text{Ln}(Ga+1)$, $\text{Ln}(Ge+1)$,

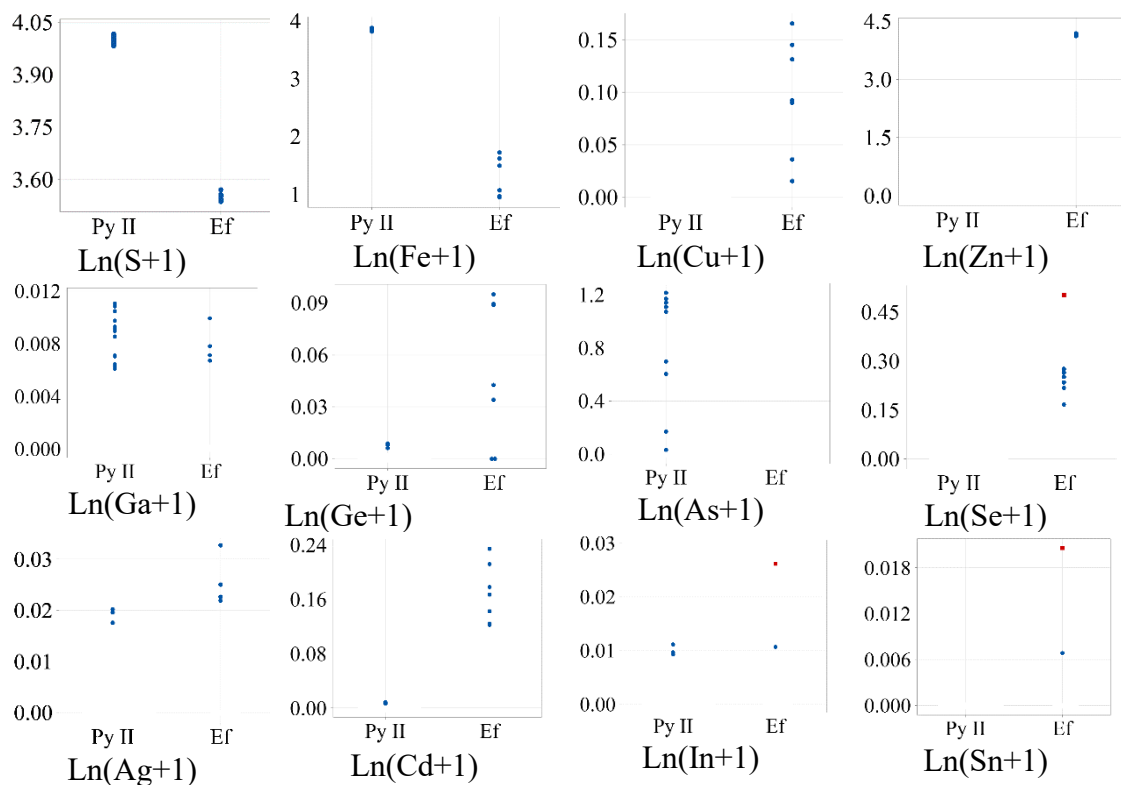
Ln(Se+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en el prospecto Soloco.

Tabla 5. 65

Prueba de Grubbs para Ln(S+1), Ln(Fe+1), Ln(Cu+1), Ln(Zn+1), Ln(Ga+1), Ln(Ge+1), Ln(Se+1), Ln(Cd+1), Ln(In+1), Ln(Hg+1), Ln(Pb+1) en los minerales detectados en el prospecto Soloco

Variable	Mineral	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P	Atípico
Ln(S+1)	Py II	19	4.0010	0.00973	3.9822	4.0171	1.94	0.804	
	Ef	7	3.5500	0.0112	3.5360	3.5699	1.77	0.264	
Ln(Fe+1)	Py II	19	3.8422	0.0177	3.8048	3.8694	2.11	0.481	
	Ef	7	1.247	0.343	0.944	1.714	1.36	1.000	
Ln(Cu+1)	Ef	7	0.0964	0.0557	0.0153	0.1654	1.46	0.840	
Ln(Zn+1)	Ef	7	4.1558	0.0238	4.1151	4.1782	1.71	0.351	
Ln(Ga+1)	Py II	19	0.006176	0.004088	0.000000	0.011045	1.51	1.000	
	Ef	7	0.00451	0.00434	0.000000	0.00993	1.25	1.000	
Ln(Ge+1)	Py II	19	0.001208	0.002901	0.000000	0.008797	2.62	0.068	
	Ef	7	0.0499	0.0415	0.0000	0.0948	1.20	1.000	
Ln(As+1)	Py II	19	0.379	0.509	0.000	1.214	1.64	1.000	
Ln(Se+1)	Ef	7	0.2738	0.1072	0.1671	0.5028	2.14	0.011	0.502789
Ln(Ag+1)	Ef	7	0.01459	0.01409	0.000000	0.03270	1.28	1.000	
Ln(Cd+1)	Ef	7	0.1682	0.0429	0.1221	0.2338	1.53	0.676	
Ln(In+1)	Ef	7	0.00524	0.01001	0.000000	0.02610	2.08	0.024	0.026096
Ln(Sn+1)	Ef	7	0.00392	0.00777	0.000000	0.02056	2.14	0.009	0.020558
Ln(Sb+1)	Ef	7	0.00384	0.00657	0.000000	0.01402	1.55	0.633	
Ln(Hg+1)	Py II	19	0.01828	0.00786	0.000000	0.02854	2.33	0.229	
Ln(Pb+1)	Py II	19	0.00800	0.01394	0.000000	0.03654	2.05	0.588	

La representación gráfica de la prueba de valores atípicos se muestra en la figura 5.29



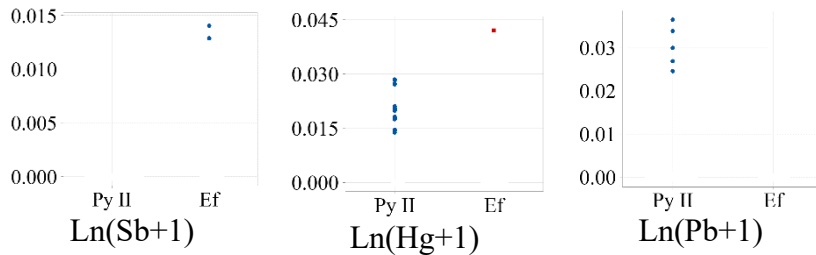


Figura 5. 29 Representación gráfica de prueba de valores atípicos de Grubbs

c. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk

Se procedió a aplicar la prueba de normalidad según el índice de Kolmogorov-Smirnov:

Tabla 5. 66

Resultados de pruebas de normalidad para distribución de la paragénesis del prospecto Soloco

Pruebas de normalidad							
Mineral		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p	Estadístico	gl	p
Ln(S+1)	Py I	0.22	8.00	.200*	0.96	8.00	0.77
Ln(Fe+1)	Py I	0.14	19.00	.200*	0.95	19.00	0.35
	Ef	0.28	7.00	0.11	0.81	7.00	0.05
Ln(Cu+1)	Ef	0.17	7.00	.200*	0.94	7.00	0.65
Ln(Zn+1)	Ef	0.28	7.00	0.11	0.87	7.00	0.18
Ln(Ga+1)	Py I	0.19	14.00	0.18	0.90	14.00	0.12
	Ef	0.28	4.00	.	0.88	4.00	0.33
Ln(Ge+1)	Py I	0.26	3.00	.	0.96	3.00	0.60
	Ef	0.34	5.00	0.06	0.79	5.00	0.07
Ln(As+1)	Py I	0.28	9.00	0.04	0.83	9.00	0.05
Ln(Se+1)	Ef	0.35	7.00	0.01	0.77	7.00	0.02
Ln(Ag+1)	Py I	0.31	3.00	.	0.90	3.00	0.39
	Ef	0.30	4.00	.	0.83	4.00	0.18
Ln(Cd+1)	Py I	0.27	3.00	.	0.95	3.00	0.56
	Ef	0.16	7.00	.200*	0.93	7.00	0.52
Ln(In+1)	Py I	0.32	3.00	.	0.89	3.00	0.34
	Ef	0.26	2.00	.			
Ln(Hg+1)	Py I	0.21	17.00	0.05	0.89	17.00	0.06
Ln(Pb+1)	Py I	0.16	5.00	.200*	0.97	5.00	0.85

d. Histogramas

Mineral: Pirita II

Se han realizado los histogramas de los elementos que pueden ser estudiados debido al porcentaje de datos no censurados, que componen la pirita II del prospecto Soloco.

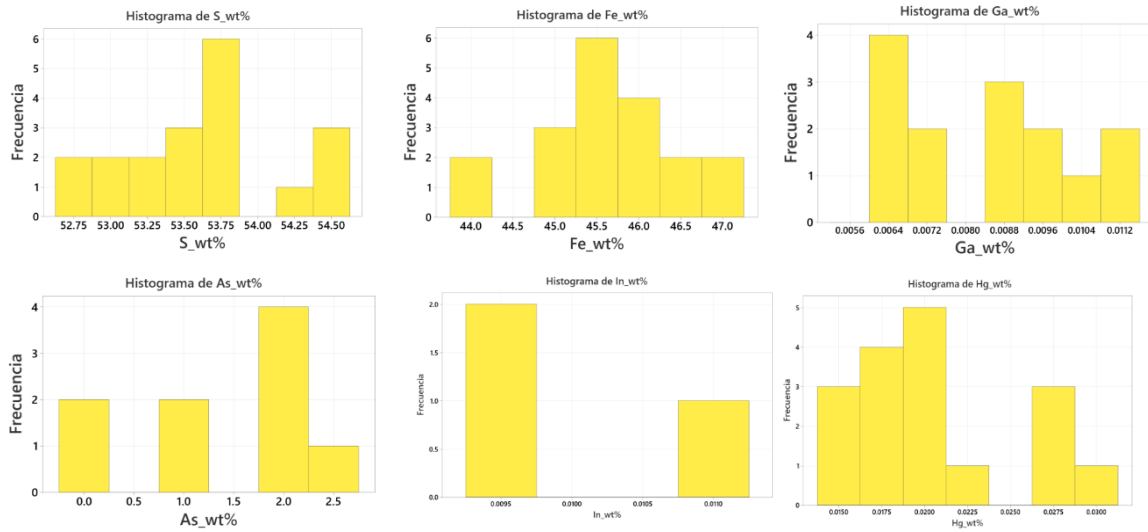


Figura 5. 30 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de Pirita II, Soloco

Mineral: Esfalerita

Se han realizado los histogramas de los elementos que pueden ser estudiados debido al porcentaje de datos no censurados, que componen la esfalerita del prospecto Soloco.

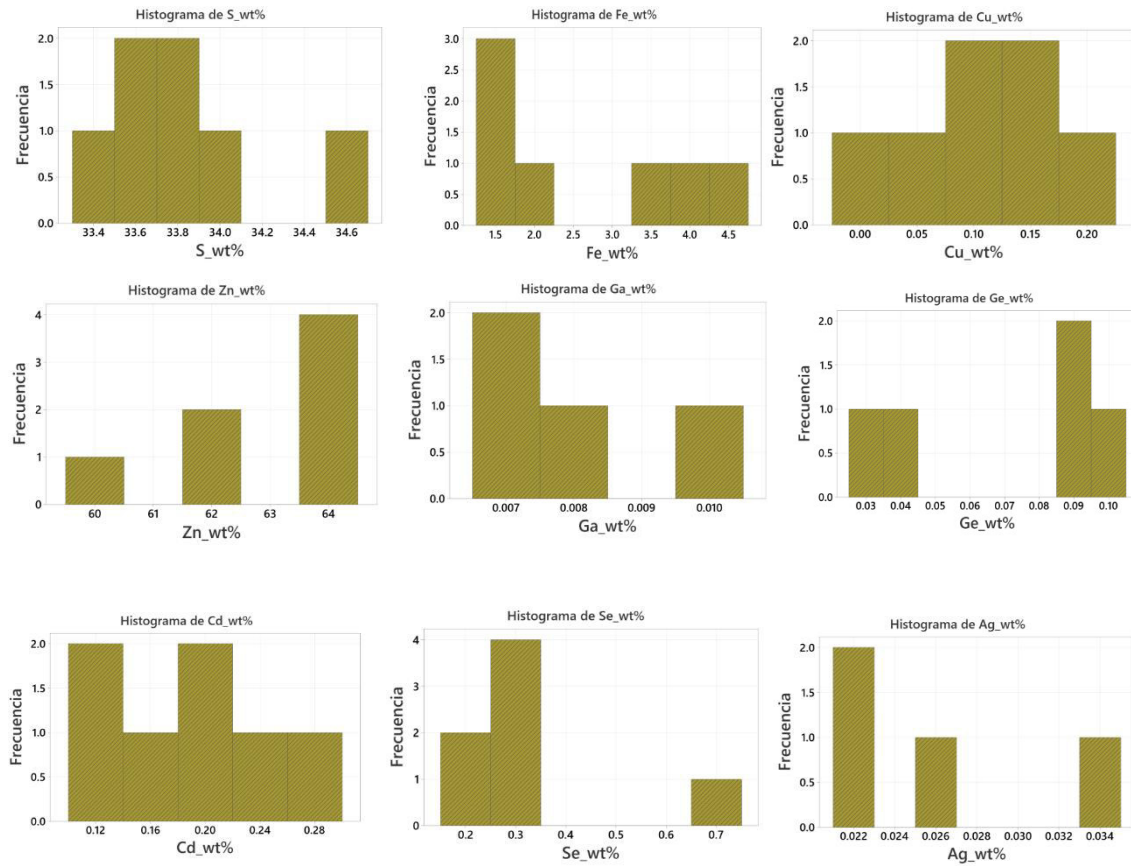


Figura 5. 31 Histograma de resultados sin normalizar de composición (wt%) de esfalerita, Soloco

e. Estimador de Máxima Verosimilitud y cálculo de media y desviación estándar

Para el cálculo de media y desviación estándar se empleará estimación de Máxima Verosimilitud según sea el caso. Ya que se ha realizado el previo reconocimiento de los valores atípicos, estos no se computarán para las pruebas de normalidad y estimación de Máxima Verosimilitud, pero serán incluidos para el procesamiento posterior.

En caso no existan valores censurados y/o atípicos, se calculará la media y la desviación estándar de la manera convencional.

La tabla 5.67 presenta las medias y desviación estándar, indicando en cada caso cómo fueron calculadas.

Tabla 5. 67

Resultados de media y desviación estándar obtenidos mediante fórmula tradicional y mediante estimador de máxima verosimilitud

	Mineral	\bar{x}	σ	Uso de estimador
Ln(S+1)	Ef	3.55	0.0112	no
	Py II	4.0010	0.00973	no
	Ef	1.247	0.343	no

Ln(Fe+1)	Py II	3.8422	0.0177	no
Ln(Cu+1)	Ef	0.0964	0.0557	no
Ln(Zn+1)	Ef	4.1558	0.0238	no
Ln(Ga+1)	Ef	0.009	0.0062620	si
	Py II	0.01	0.0052400	si
Ln(Ge+1)	Ef	0.042	0.0514973	si
Ln(As+1)	Py II	0.009	0.907676	si
Ln(Se+1)	Ef	0.2738	0.1072	no
Ln(Ag+1)	Ef	0.01459	0.01409	no*
Ln(Cd+1)	Ef	0.1682	0.0429	no
Ln(In+1)	Ef	0.0524	0.01001	no*
Ln(Sn+1)	Ef	0.00392	0.00777	no*
Ln(Sb+1)	Ef	0.00384	0.00657	no*
Ln(Hg+1)	Py II	0.01828	0.00786	no*
Ln(Pb+1)	Py II	0.00800	0.01394	no*

5.4. Interpretación de resultados

En este apartado se realizará la interpretación de los resultados obtenidos, en función de los objetivos inicialmente planteados.

5.4.1 Asociaciones geoquímicas y su relación con las características petromineralógicas de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco





Dado que los elementos de interés (Ge, Ga, In, Ag) se albergan en la esfalerita, se observará si las características petromineralógicas de la esfalerita guardan relación con los resultados obtenidos para composición geoquímica mineral por microsonda electrónica.

a. Cañón Florida

Las características petromineralógicas de la mineralización principal de Cañón Florida, conformada en ambos sectores (Karen Milagros y San Jorge) por la esfalerita II, así como los resultados composicionales de Ge, Ga, In, Ag, Fe y Cd por microsonda electrónica se presentan en la tabla 5.68

Tabla 5. 68

Síntesis de características petromineralógicas y composición geoquímica mineral por microsonda electrónica para la esfalerita II del proyecto Cañón Florida – Sector Karen Milagros

			
CF-KM-03 Esfalerita II Anhedral Tamaño: <3 mm Abundancia: 58% Color: Zonado naranja-amarillento Ge: d.l.d Ga: <d.l.d.-105 ppm] In: <d.l.d.-87 ppm] Ag: <d.l.d.-299 ppm] Fe: [0.01-4.5%] Cd: [1151-2314 ppm] Estilo de mineralización: Masivo de esfalerita y galena	CF-KM-04 Esfalerita II Anhedral Tamaño: <1.56 mm Abundancia: 67% Color: Marrón Ge: <d.l.d.-915 ppm] Ga: <d.l.d.-62 ppm] In: d.l.d. Ag: <d.l.d.-179 ppm] Fe: [1.556-6.489%] Cd: [323-3898 ppm] Estilo de mineralización: Masivo de esfalerita y galena	CF-KM-05 Esfalerita II Anhedral a subhedral Tamaño: <2.46 mm Abundancia: 61% Color: Zonado naranja-amarillento. Ge: <d.l.d.-325 ppm] Ga: <d.l.d.-980 ppm] In: d.l.d. Ag: d.l.d. Fe: [0.07-8.35%] Cd: [762-3263 ppm] Estilo de mineralización: Masivo de galena y esfalerita	CF-KM-06 Esfalerita II Anhedral a subhedral Tamaño: <3.45 mm Abundancia: 58% Color: Zonado Naranja-amarillento. Ge: <d.l.d.-1484 ppm] Ga: <d.l.d.-104 ppm] In: <d.l.d.-114 ppm] Ag: <d.l.d.-691 ppm] Fe: [0.37-12.35%] Cd: [1421-3644 ppm] Estilo de mineralización: Semimasivo de esfalerita

De la tabla 5.68, se puede reconocer que el mayor contenido de Ge se encuentra en la esfalerita de estilo de mineralización semimasivo. Gran parte de esta muestra se encuentra rellena por calcita II, posterior al evento de esfalerita II. Además, la esfalerita que presenta estos valores máximos de Ge presenta también los mayores tamaños, alcanzando en casos 3.45 mm; sin embargo, la esfalerita de la muestra CF-KM-04 que alcanza tamaños menores a 1.56 mm también presenta altos valores de Ge (915 ppm), por lo que no existe una correlación robusta entre el tamaño del cristal y el contenido de Ge. No se puede concluir a su vez una correlación entre el idiomorfismo y el tamaño del cristal, ya que cristales predominantemente anhedrales como en la muestra CF-KM-04 presentan altos valores de Ge, así como cristales anhedrales a subhedrales de la muestra CF-KM-05 también presentan altos valores de Ge. El porcentaje de abundancia de esfalerita, así como el color, no guardan correlación con la composición de Ge.

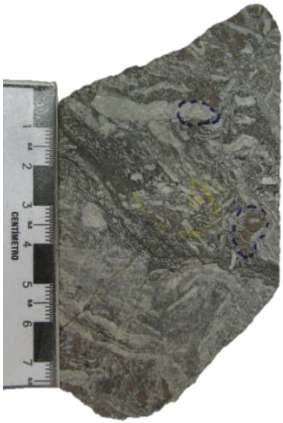



Respecto al Ga, se puede discriminar que la esfalerita II con mayor contenido de Ga es aquella que se encuentra proporcionalmente subordinada a la galena II, tal como sucede en la muestra CF-KM-05. Las demás características petromineralógicas no guardan correlación con la composición de Ga.

Se han alcanzado valores detectables de In (de 87 y 114 ppm como máximo para las muestras CF-KM-03 y CF-KM-06, respectivamente, y ambas muestras presentan a su vez los cristales más grandes de esfalerita II (de hasta 3 y 3.45 mm, respectivamente) por lo que podría existir una correlación entre el tamaño de cristal y el contenido de In: a cristales más grandes, la posibilidad de encontrar mayores contenidos de In es mayor. Los mayores valores de Ag también guardan una relación con el tamaño del cristal, al igual que el In. El Cd y Fe no guardan ninguna relación evidente con las características petromineralógicas.

Las características petromineralógicas de la esfalerita II para el sector San Jorge, así como los resultados composicionales de Ge, Ga, In, Ag, Fe y Cd por microsonda electrónica se presentan en la tabla 5.69.

Tabla 5. 69

Síntesis de características petromineralógicas y composición geoquímica mineral por microsonda electrónica para la esfalerita II del proyecto Cañón Florida – Sector San Jorge

			
CF-SJ-03	CF-SJ-04	CF-SJ-05	CF-SJ-06
Esfalerita II	Esfalerita II	Esfalerita II	Esfalerita II
Anhedral	Anhedral	Anhedral a subhedral	Anhedral a subhedral
Tamaño: <2.7 mm	Tamaño: <3.07 mm	Tamaño: <4.00 mm	Tamaño: <4.00 mm
Abundancia: 11%	Abundancia: 30%	Abundancia: 58%	Abundancia: 30%
Color: Marrón	Color: Marrón	Color: Zonado	Color: Zonado
		Color: Zonado	Color: Zonado
		Color: naranja-amarillento.	Color: naranja-amarillento.
Ge: <d.l.d.-529 ppm]	Ge: <d.l.d.-408 ppm]	Ge: <d.l.d.-917 ppm]	Ge: <d.l.d.-813 ppm]
Ga: <d.l.d.-91 ppm]	Ga: <d.l.d.-220 ppm]	Ga: <d.l.d.-106 ppm]	Ga: <d.l.d.-412 ppm]
In: <d.l.d.-71 ppm]	In: <d.l.d.-115 ppm]	In: <d.l.d.-132 ppm]	In: <d.l.d.-81 ppm]

Ag: <d.l.d.-557 ppm]	Ag: <d.l.d.-394 ppm]	Ag: <d.l.d.-563 ppm]	Ag: <d.l.d.-1135 ppm]
Fe: [0.1310-8.833%]	Fe: [1.524-15.01%]	Fe: [0.09-5.5%]	Fe: [0.08-9.248%]
Cd: [918-2961 ppm]	Cd: [1018-2859 ppm]	Cd: [1005-3754 ppm]	Cd: [965-4774 ppm]
Estilo de mineralización: Diseminado débil de esfalerita	Estilo de mineralización: Diseminado y venillas de esfalerita	Estilo de mineralización: Semimasivo de esfalerita	Estilo de mineralización: Diseminado y venillas de esfalerita

De la tabla 5.69 se observa que el mayor contenido de Ge ocurre asociado al estilo de mineralización semimasivo de esfalerita (CF-SJ-05, Ge=917 ppm), al igual que en el sector Karen Milagros. El segundo valor más alto de Ge (813 ppm) se tiene para la esfalerita de estilo de mineralización diseminado y venillas (CF-SJ-06). Respecto al tamaño, ambas muestras presentan los cristales más grandes de esfalerita (hasta 4 mm), por lo que puede existir una relación entre el tamaño del cristal y el contenido de Ge, aunque esto no se verifica para las muestras de menores contenido de Ge, por lo que la relación no es robusta. El idiomorfismo guarda relación con mayores contenidos de Ge, ya que para las muestras anhedrales a subhedrales el contenido de Ge es mayor que para las muestras anhedrales. El color, zonado naranja – amarillento para las esfaleritas de mayor contenido de Ge sugiere que su contenido de Ge controla el color de la esfalerita.



Respecto al Ga, no existe una correlación entre los valores más altos de Ga y alguna de las características petromineralógicas. La Ag presenta un comportamiento similar al Ge, por lo que guarda una relación similar con las características petromineralógicas con las cuales el Ge guarda cierta relación. El contenido de Cd parece tener un comportamiento similar a la Ag en los que respecta a su relación con las características petromineralógicas, aunque en este caso las relaciones no son tan evidentes y no se puede concluir que guarden una correlación robusta. El contenido de Fe es menor en las esfaleritas de color zonado naranja – amarillento, aunque no se puede concluir de manera robusta dado que en la muestra CF-SJ-06 con esfalerita de color zonado naranja – amarillento el contenido máximo de Fe es incluso mayor que para la esfalerita marrón de la muestra CF-SJ-03.

b. Florcita

Las características petromineralógicas de la mineralización principal de Florcita, conformada por la esfalerita I, así como los resultados composicionales de Ge, Ga, In, Ag, Fe y Cd por microsonda electrónica se presentan en la tabla 5.70

Tabla 5. 70

Síntesis de características petromineralógicas y composición geoquímica mineral por microsonda electrónica para la esfalerita I del proyecto Florcita

	
<p>F-03 Esfalerita I Anhedral a subhedral Tamaño: <4.00 mm Abundancia: 25% Color: Marrón. Ge: <d.l.d.-182 ppm] Ga: d.l.d. In: d.l.d. Ag: d.l.d. Fe: [2.2490-5.8840%] Cd: [549-2963 ppm] Estilo de mineralización: Brecha y relleno</p>	<p>F-04 Esfalerita I Anhedral a subhedral Tamaño: <4.00 mm Abundancia: 30% Color: Zonado Naranja-amarillento. Ge: <d.l.d.-1037 ppm] Ga: <d.l.d.-68 ppm] In: <d.l.d.-78 ppm] Ag: <d.l.d.-263 ppm] Fe: [0.5240-5.8330%] Cd: [290-4621 ppm] Estilo de mineralización: Brecha y relleno</p>

De la tabla 5.70 se observa que el contenido de Ge es mayor en la esfalerita de color zonado naranja – amarillento (hasta 1037 ppm). Esto también es observado parcialmente para el sector Karen Milagros de Cañón Florida y en mayor medida para el sector San Jorge de Cañón Florida. En esta esfalerita también son mayores los contenidos de Ga, In, Ag y Cd. El contenido de Fe es similar en ambas muestras, y ambas presentan el mismo estilo de mineralización y tamaño de cristales.

c. Soloco

Las características petromineralógicas de la muestra de Soloco en la que se ha reconocido presencia de esfalerita con ayuda de la microsonda electrónica, en contenidos trazas, así como la composición del principal sulfuro presente, la pirita II, en lo que respecta a contenidos de Ge, Ga, In, Ag, Fe y Cd se presentan en la tabla 5.71

Tabla 5. 71

Síntesis de características petromineralógicas y composición geoquímica mineral por microsonda electrónica para la esfalerita y pirita II del prospecto Soloco

**S-02****Pirita II**

Subhedral a anhedral

Tamaño: <1 mm

Abundancia: 20%

Color: Amarillo latón

Ge: d.l.d.

Ga: <d.l.d.-1090 ppm]

In: d.l.d.

Ag: d.l.d.

Fe: [44.7750-46.7880%]

Cd: <d.l.d.-81 ppm]

Estilo de mineralización:

Diseminado y relleno

**S-04****Esfalerita**

Anhedral

Tamaño: <0.5 mm

Abundancia: Traza (reconocido en EPMA)

Color: Marrón

Ge: <d.l.d.-984 ppm]

Ga: <d.l.d.-99 ppm]

In: <d.l.d.-261 ppm]

Ag: <d.l.d.-328 ppm]

Fe: [1.5530-4.4860%]

Cd: [1286-2597 ppm]

Estilo de mineralización:

Brecha y relleno

Dado que la presencia de esfalerita se ha reconocido solo en una muestra, no se puede hacer una comparación entre esfaleritas de este prospecto. Sin embargo, considerando el comportamiento de las esfaleritas de la región Amazonas (Cañón Florida y Florcita) como vinculados a un sistema mineral que controló la mineralización de tipo MVT en esta región, se puede comparar a esta esfalerita con las esfaleritas de los otros 2 yacimientos. Respecto al estilo de mineralización, es similar a Florcita (brecha y relleno). Los tamaños de cristales son muy pequeños, siendo que en esto no guarda correlación con los tamaños de las esfaleritas de la mineralización principal en Cañón Florida y Florcita. El contenido de Ge alcanza valores de hasta 984 ppm. Los contenidos de Ga, In y Ag son ligeramente más altos que en Florcita. No se puede concluir respecto al color ya que ha sido reconocida mediante microscopía electrónica de barrido y microsonda electrónica.

5.4.2 Asociaciones geoquímicas y su relación con la secuencia paragenética de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco

En esta sección se discutirá respecto a las asociaciones geoquímicas existentes entre los elementos analizados en la paragénesis de los 3 yacimientos, así como el posible control de la temperatura en la composición de elementos críticos.

a. Cañón Florida

A continuación se estudiarán las asociaciones geoquímicas entre los elementos analizados en la paragénesis de Cañón Florida.

Karen Milagros

Esfalerita II

Correlaciones bivariadas

Para evaluar las correlaciones multivariadas, se emplearán primero una matriz con el índice de correlación de Pearson. Respecto a los datos por debajo del límite de detección, estos se elaboraron siendo reemplazados por el 60% del límite de detección (0.001). Debido a ello, estas correlaciones serán contrastadas con otros métodos multivariados para datos censurados posteriormente.

La figura 5.32 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita II de Karen Milagros.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Cu+1)	Ln(Zn+1)	Ln(Ga+1)	Ln(Ge+1)	Ln(Se+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Cd+1)	Ln(In+1)	Ln(Sn+1)	Ln(Sb+1)	Ln(Hg+1)	Ln(Pb+1)
Ln(S+1)	1.00	0.43	0.20	-0.62	-0.09	0.08	0.44	0.52	0.27	0.34	-0.03	0.20	0.08	0.22
Ln(Fe+1)	0.43	1.00	0.20	-0.90	-0.37	0.26	-0.17	0.26	0.04	0.04	-0.19	0.09	0.03	-0.04
Ln(Cu+1)	0.20	0.20	1.00	-0.29	0.18	0.78	0.27	0.33	-0.04	0.07	0.05	-0.07	0.03	0.23
Ln(Zn+1)	-0.62	-0.90	-0.29	1.00	0.22	-0.29	-0.02	-0.45	-0.15	-0.17	0.11	-0.11	-0.16	-0.14
Ln(Ga+1)	-0.09	-0.37	0.18	0.22	1.00	-0.09	0.04	-0.07	0.12	-0.05	0.47	-0.03	0.33	-0.08
Ln(Ge+1)	0.08	0.26	0.78	-0.29	-0.09	1.00	0.04	0.37	-0.21	0.08	-0.09	-0.05	-0.11	0.26
Ln(Se+1)	0.44	-0.17	0.27	-0.02	0.04	0.04	1.00	0.47	0.19	0.28	0.22	0.07	0.12	0.35
Ln(Ag+1)	0.52	0.26	0.33	-0.45	-0.07	0.37	0.47	1.00	0.10	0.36	-0.03	0.14	0.09	0.24
Ln(Cd+1)	0.27	0.04	-0.04	-0.15	0.12	-0.21	0.19	0.10	1.00	0.18	0.16	0.05	0.18	-0.03
Ln(In+1)	0.34	0.04	0.07	-0.17	-0.05	0.08	0.28	0.36	0.18	1.00	0.21	-0.03	0.16	0.24
Ln(Sn+1)	-0.03	-0.19	0.05	0.11	0.47	-0.09	0.22	-0.03	0.16	0.21	1.00	-0.02	0.36	0.15
Ln(Sb+1)	0.20	0.09	-0.07	-0.11	-0.03	-0.05	0.07	0.14	0.05	-0.03	-0.02	1.00	-0.03	0.20
Ln(Hg+1)	0.08	0.03	0.03	-0.16	0.33	-0.11	0.12	0.09	0.18	0.16	0.36	-0.03	1.00	0.19
Ln(Pb+1)	0.22	-0.04	0.23	-0.14	-0.08	0.26	0.35	0.24	-0.03	0.24	0.15	0.20	0.19	1.00

Figura 5. 32 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita II de Karen Milagros

De estas correlaciones bivariadas se podrá interpretar: la intensidad de la correlación y el tipo de correlación (positiva, negativa).

Valor absoluto de r Fuerza de la relación

$r < 0,20$ Sin relación 0

0,20 < r < 0,5 Relación débil positiva + negativa -

0,5 < r < 0,75 Relación moderada Positiva ++ negativa --

r > 0,75 Relación fuerte positiva +++ negativa ---

Los elementos de interés son el Ga, Ge, In, Ag, por lo que se sintetizará en la tabla 5.72 la intensidad de las correlaciones y su tipo.

Las correlaciones bivariantes más fuertes son entre Cu-Ge, Ag-S, Ag-Se, Ag-Ge, Ga-Sn, Fe-S, Se-S, Pb-Se, Sn-Hg. Estas correlaciones serán contrastadas posteriormente.

Tabla 5. 72

Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de esfalerita II, sector Karen Milagros

	Ga	Ge	In	Ag	Zn	Cu	Fe	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb
Ga		0	0	0	0	0	-	0	++	0	+	0
Ge	0		0	+	-	+++	+	0	0	0	0	+
In	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	+	+
Ag	0	+	+		--	+	+	0	0	0	0	+

Respecto a las correlaciones positivas del Ga, se encuentra moderadamente relacionado al Sn y débilmente al Hg.

Respecto a las correlaciones positivas del Ge, se encuentra fuertemente relacionado al Cu, y débilmente relacionado al Fe, Ag y Pb. En sus correlaciones negativas, se encuentra débilmente relacionado al Zn.

Respecto a las correlaciones positivas del In, se encuentra débilmente correlacionado a la Ag, Sn, Hg y Pb.

Respecto a las correlaciones positivas de la Ag, se encuentra débilmente correlacionada al Ge, In, Cu, Fe. En sus correlaciones negativas, se encuentra moderadamente correlacionada al Zn.

Asociaciones multivariadas

Se ha realizado análisis cluster jerárquico, el cual se ha realizado empleando sobre la matriz obtenida al aplicar el **índice de similitud de Jaccard**, el cual es un coeficiente de asimetría que no cuenta las ocurrencias que se dan en el par ausencia/ausencia (se ha catalogado como “ausencia” a cada valor por debajo del límite de detección), por lo que no da peso a correlaciones entre especies ausentes en ambos casos. Se ha empleado el método de Ward de varianza mínima y la distancia euclídeana. El resultado del análisis clúster jerárquico, para la esfalerita II de Karen Milagros se muestra en la figura 5.33.

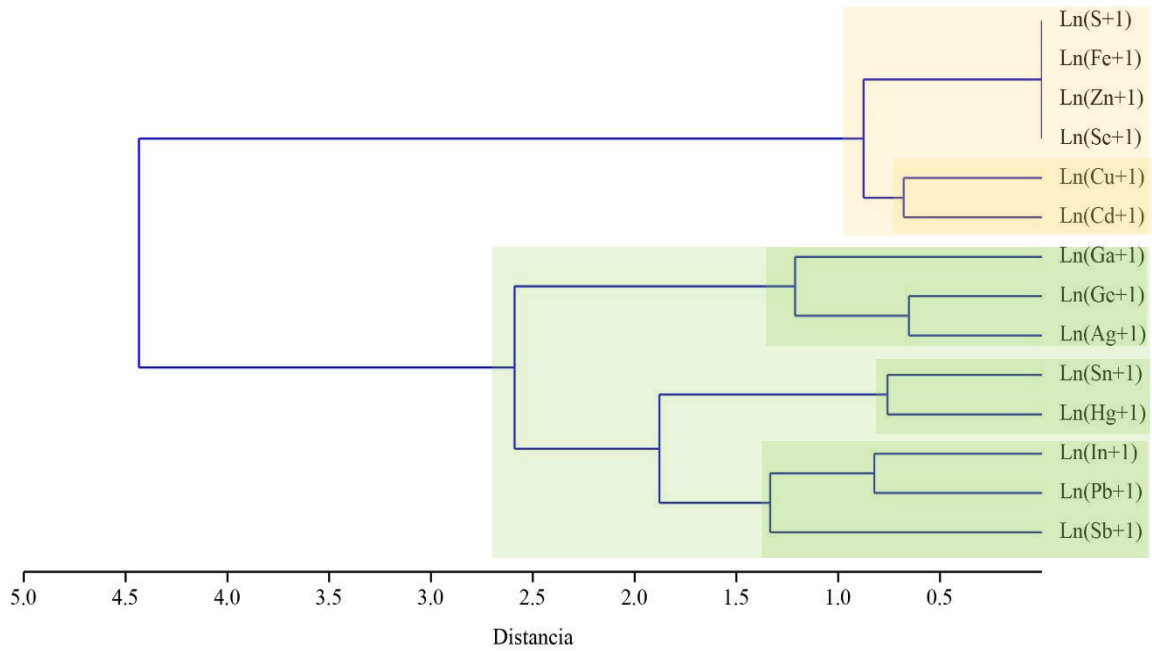
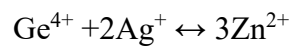


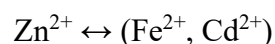
Figura 5. 33 Análisis clúster jerárquico para la esfalerita II de Karen Milagros

De la figura 5.33, en el primer clúster se tiene la asociación más fuerte Zn-S-Fe-Se, la cual se asocia con Cu-Cd. El segundo clúster a su vez tiene 2 asociaciones: Ge-Ag-Ga, y en la segunda se reconocen 2 subasociaciones: Sn-Hg e In-Pb-Sb.

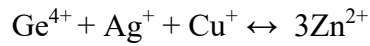
Este análisis nos da información adicional a las correlaciones bivariadas, ya que en esta ocasión nos proporciona información de observaciones que ocurren juntas. Una asociación corroborada entre Ag y Ge coincide con lo expresado por el coeficiente de correlación de Pearson. Dado que el Ag es monovalente (Ag^+) y el Ge es tetravalente (Ge^{4+}), para la neutralidad de carga del mineral es necesaria una, o varias, sustituciones, simples, dobles o acopladas. Para ello, se sugieren el mecanismo de sustitución acoplada propuesto por Cook et al. (2009) y Belissont et al. (2014).



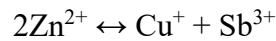
Dada la asociación entre Zn, Fe y en menor grado con Cd, se proponen los siguientes mecanismos de sustitución:



Dadas las correlaciones positivas del Ge con Cu también es plausible también el mecanismo de sustitución general:



Generalmente, una sustitución acoplada resulta en un enriquecimiento de cationes monovalentes (tales como Cu^+ y Ag^+) con enriquecimientos asociados de cationes trivalentes y tetravalentes (tales como Sb^{3+} , As^{3+} , In^{3+} y Ge^{4+} según Cook et al., 2009). Los resultados muestran el Cu más enriquecido que Ag en ciertos análisis, lo que significaría su implicancia en varios mecanismos de sustitución acoplada. Adicionalmente, se propone la presencia del siguiente mecanismo de sustitución (Sahlström et al. 2017), en menor medida, ya que hay una correlación entre el In y el Sb:



La presencia de Hg en un cluster aislado sugiere sobreimposición de un evento epitermal que genere concentraciones en un elemento tan volátil.

Galena II

Correlaciones bivariadas

La figura 5.34 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la galena II de Karen Milagros.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Zn+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Sb+1)	Ln(Te+1)	Ln(Pb+1)
Ln(S+1)	1.00	-0.21	-0.29	0.69	0.71	0.12	-0.37
Ln(Fe+1)	-0.21	1.00	0.93	-0.43	-0.33	-0.04	-0.75
Ln(Zn+1)	-0.29	0.93	1.00	-0.44	-0.31	0.00	-0.77
Ln(Ag+1)	0.69	-0.43	-0.44	1.00	0.94	0.07	-0.12
Ln(Sb+1)	0.71	-0.33	-0.31	0.94	1.00	0.07	-0.24
Ln(Te+1)	0.12	-0.04	0.00	0.07	0.07	1.00	-0.11
Ln(Pb+1)	-0.37	-0.75	-0.77	-0.12	-0.24	-0.11	1.00

Figura 5. 34 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la galena II de Karen Milagros

Las correlaciones más fuertes son entre Zn-Fe, Ag-S, Ag-Sb, Sb-S, Pb-S, Zn-Pb, Fe-Pb, Pb-S. Estas correlaciones serán contrastadas posteriormente. La galena no permite la

cantidad de sustituciones que permite la esfalerita, debido a las diferencias de radio iónico con el plomo.

El elemento de interés es Ag, por lo que se señala la intensidad de sus correlaciones:

Correlaciones positivas: Ag-Sb (fuerte), Ag-S (moderada).

Correlaciones negativas: Ag: Ag-Fe (débil), Ag-Zn (débil), Ag-Pb (débil).

Asociaciones multivariadas

El resultado del análisis clúster jerárquico, para la galena II de Karen Milagros se muestra en la figura 5.35.

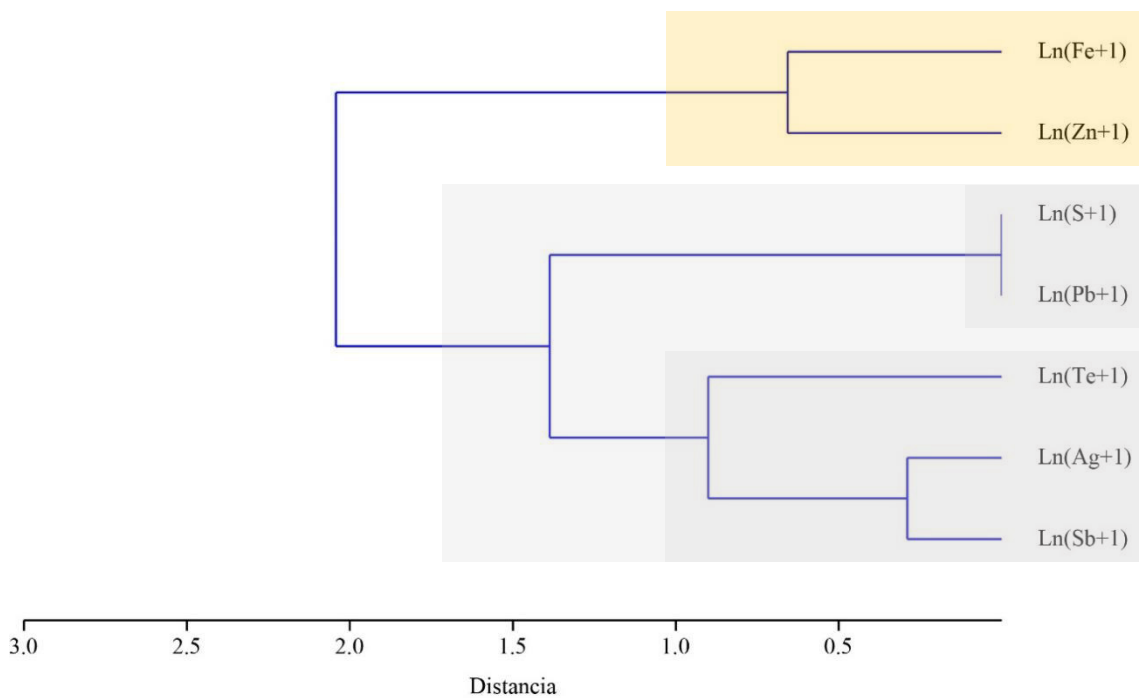
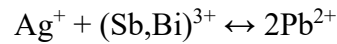


Figura 5. 35 Análisis clúster jerárquico para la galena II de Karen Milagros

La asociación más fuerte como corresponde al ser galena, es entre Pb y S. Se corrobora la correlación entre Zn y Fe, así como Ag y Sb, en menor medida con el Te. Esta última asociación sugiere, similarmente al caso de la esfalerita II, la superposición de un evento epitermal.

Renock et al. (2011) propone que el ingreso de Ag y Sb en Galena se explica, a temperaturas superiores a 240°C por el mecanismo



A mayores concentraciones de Ag, puede darse la sustitución $2\text{Ag}^+ \leftrightarrow \text{Pb}^{2+}$ pero no es el caso.

Pirita II

Correlaciones bivariadas

La figura 5.36 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita II de Karen Milagros.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Ni+1)	Ln(Cu+1)	Ln(Zn+1)	Ln(Ga+1)	Ln(Ge+1)	Ln(As+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Cd+1)	Ln(In+1)	Ln(Sn+1)	Ln(Sb+1)	Ln(Hg+1)	Ln(Pb+1)
Ln(S+1)	1.00	-0.60	0.06	0.20	-0.25	-0.09	0.13	-0.32	0.33	0.07	-0.07	-0.13	0.09	-0.17	-0.21
Ln(Fe+1)	-0.60	1.00	0.06	0.02	-0.58	0.40	0.07	0.07	-0.27	-0.29	-0.11	-0.09	-0.01	0.13	-0.16
Ln(Ni+1)	0.06	0.06	1.00	-0.05	-0.12	0.00	-0.06	-0.07	-0.08	-0.05	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.21
Ln(Cu+1)	0.20	0.02	-0.05	1.00	-0.27	-0.01	-0.09	-0.08	0.43	-0.07	-0.05	-0.04	0.78	-0.01	-0.24
Ln(Zn+1)	-0.25	-0.58	-0.12	-0.27	1.00	-0.46	-0.23	-0.02	-0.08	0.28	0.17	0.20	-0.13	0.04	0.33
Ln(Ga+1)	-0.09	0.40	0.00	-0.01	-0.46	1.00	0.32	0.17	0.05	-0.07	0.01	-0.03	0.00	0.16	0.01
Ln(Ge+1)	0.13	0.07	-0.06	-0.09	-0.23	0.32	1.00	0.01	-0.02	-0.09	-0.06	-0.05	-0.05	0.05	0.01
Ln(As+1)	-0.32	0.07	-0.07	-0.08	-0.02	0.17	0.01	1.00	-0.06	-0.10	-0.06	-0.05	-0.05	-0.17	-0.05
Ln(Ag+1)	0.33	-0.27	-0.08	0.43	-0.08	0.05	-0.02	-0.06	1.00	0.07	0.04	-0.06	0.61	-0.10	0.02
Ln(Cd+1)	0.07	-0.29	-0.05	-0.07	0.28	-0.07	-0.09	-0.10	0.07	1.00	0.88	0.85	-0.04	0.54	0.06
Ln(In+1)	-0.07	-0.11	-0.03	-0.05	0.17	0.01	-0.06	-0.06	0.04	0.88	1.00	0.96	-0.03	0.61	0.16
Ln(Sn+1)	-0.13	-0.09	-0.03	-0.04	0.20	-0.03	-0.05	-0.05	-0.06	0.85	0.96	1.00	-0.02	0.61	0.18
Ln(Sb+1)	0.09	-0.01	-0.03	0.78	-0.13	0.00	-0.05	-0.05	0.61	-0.04	-0.03	-0.02	1.00	0.00	-0.16
Ln(Hg+1)	-0.17	0.13	-0.04	-0.01	0.04	0.16	0.05	-0.17	-0.10	0.54	0.61	0.61	0.00	1.00	-0.03
Ln(Pb+1)	-0.21	-0.16	-0.21	-0.24	0.33	0.01	0.01	-0.05	0.02	0.06	0.16	0.18	-0.16	-0.03	1.00

Figura 5. 36 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita II de Karen Milagros

Los elementos de interés son el Ga, Ge, In, Ag, por lo que se sintetizará en la tabla 5.73 la intensidad de las correlaciones y su tipo.

Tabla 5. 73

Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de pirita II, sector Karen Milagros

	Ga	Ge	In	Ag	Zn	Cu	Fe	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb	As	Ni
Ga		+	0	0	--	0	+	0	0	0	+	0	+	0
Ge	+		0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
In	0	0		0	+	0	0	+++	+++	0	++	+	0	0
Ag	0	0	0		0	++	-	0	0	++	0	0	0	0

Respecto a las correlaciones positivas del Ga, se encuentra débilmente relacionado al Ge, Fe, Hg, As. Respecto a las correlaciones negativas, se encuentra moderadamente relacionado al Zn.

Respecto a las correlaciones positivas del Ge, se encuentra débilmente relacionado al Ga.

Respecto a las correlaciones negativas, se encuentra débilmente relacionado al Zn.

Respecto a las correlaciones positivas del In, se encuentra fuertemente correlacionado al Cd, Sn, moderadamente relacionado al Hg y débilmente relacionado al Pb.

Respecto a las correlaciones positivas de la Ag, se encuentra moderadamente correlacionada al Cu y Sb.

Asociaciones multivariadas

El resultado del análisis clúster jerárquico, para la pirita II de Karen Milagros se muestra en la figura 5.37.

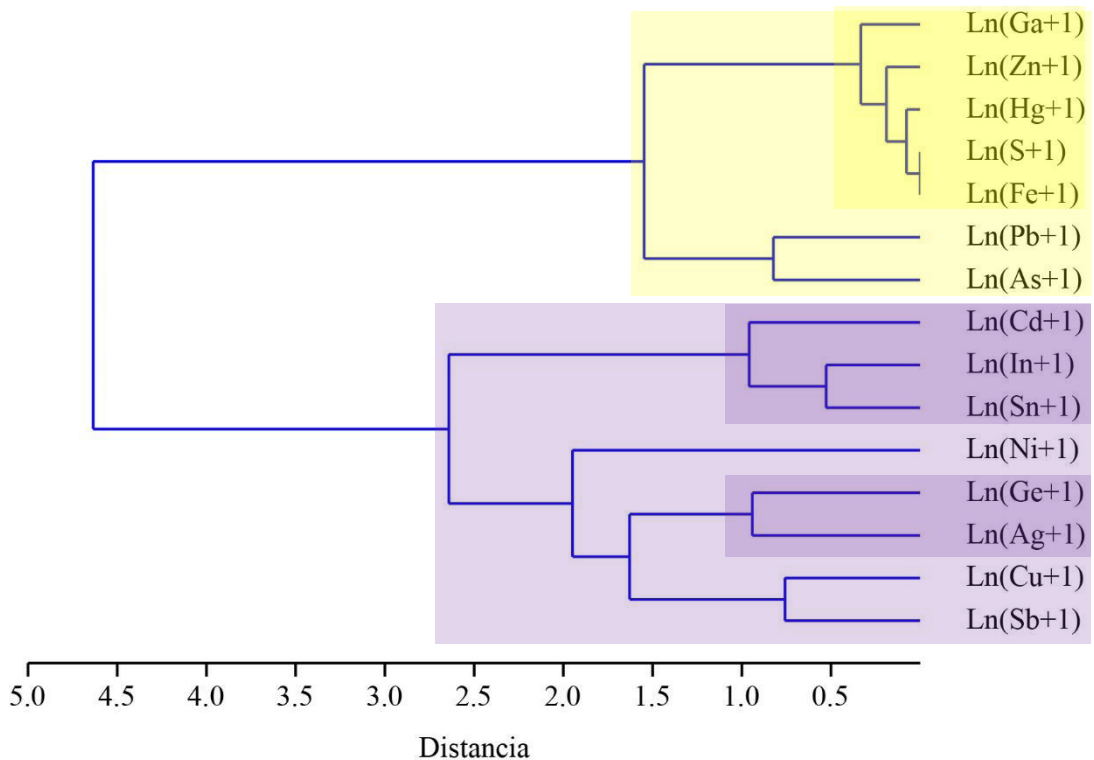


Figura 5. 37 Análisis clúster jerárquico para la pirita II de Karen Milagros

La asociación más fuerte corresponde, al tratarse de una pirita, a Fe-S. Estos elementos se encuentran asociados en orden de distancia ascendente a Hg, Zn y Ga, por lo que se puede indicar que el Ga se encuentra más asociado a las piritas. La segunda asociación es de Pb-As, los cuales se encuentran asociados a los elementos anteriores. En un segundo cluster mayor se tienen diversas subasociaciones, entre las que destacan la asociación Ge-Ag y la asociación In-Sn-Cd. La asociación entre Ge y Ag se da tanto en esfaleritas como en piritas, por lo que su asociación es indistinta del

mineral, dándose la diferencia principal en las concentraciones presentes en una especie mineral o en otra. La asociación del Sn con el In sugiere que el In se encuentra asociado a elementos indicadores de mayores temperaturas del sistema. El Cu se encuentra asociado al Sb en un cluster menor independiente, por lo que se puede indicar que no participa en muchas reacciones de sustitución para el ingreso de los elementos de interés Ga, Ge, In, aunque se encuentra cercano a la Ag.

San Jorge

Esfalerita II

Correlaciones bivariadas

La figura 5.38 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita II de San Jorge.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Cu+1)	Ln(Zn+1)	Ln(Ga+1)	Ln(Ge+1)	Ln(Se+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Cd+1)	Ln(In+1)	Ln(Sn+1)	Ln(Sb+1)	Ln(Hg+1)	Ln(Pb+1)
Ln(S+1)	1.00	0.33	-0.02	-0.49	-0.14	0.00	0.22	0.38	-0.05	0.21	0.02	0.46	0.03	0.20
Ln(Fe+1)	0.33	1.00	-0.04	-0.91	-0.18	-0.09	-0.14	-0.03	0.27	0.04	0.06	0.01	0.18	0.03
Ln(Cu+1)	-0.02	-0.04	1.00	0.05	0.13	0.81	0.10	0.02	-0.26	0.09	0.21	-0.02	-0.15	0.01
Ln(Zn+1)	-0.49	-0.91	0.05	1.00	0.18	0.10	0.18	0.01	-0.26	-0.05	-0.03	-0.08	-0.23	-0.03
Ln(Ga+1)	-0.14	-0.18	0.13	0.18	1.00	-0.10	-0.24	-0.08	-0.12	-0.04	0.27	-0.02	-0.11	0.01
Ln(Ge+1)	0.00	-0.09	0.81	0.10	-0.10	1.00	0.22	0.33	-0.31	0.03	-0.04	-0.01	-0.12	0.03
Ln(Se+1)	0.22	-0.14	0.10	0.18	-0.24	0.22	1.00	0.32	-0.04	0.17	-0.01	0.03	0.11	0.13
Ln(Ag+1)	0.38	-0.03	0.02	0.01	-0.08	0.33	0.32	1.00	-0.19	0.06	-0.02	0.26	-0.04	0.28
Ln(Cd+1)	-0.05	0.27	-0.26	-0.26	-0.12	-0.31	-0.04	-0.19	1.00	0.04	0.03	-0.07	0.38	-0.06
Ln(In+1)	0.21	0.04	0.09	-0.05	-0.04	0.03	0.17	0.06	0.04	1.00	0.20	0.17	0.09	0.13
Ln(Sn+1)	0.02	0.06	0.21	-0.03	0.27	-0.04	-0.01	-0.02	0.03	0.20	1.00	0.06	-0.02	0.05
Ln(Sb+1)	0.46	0.01	-0.02	-0.08	-0.02	-0.01	0.03	0.26	-0.07	0.17	0.06	1.00	0.00	0.38
Ln(Hg+1)	0.03	0.18	-0.15	-0.23	-0.11	-0.12	0.11	-0.04	0.38	0.09	-0.02	0.00	1.00	-0.08
Ln(Pb+1)	0.20	0.03	0.01	-0.03	0.01	0.03	0.13	0.28	-0.06	0.13	0.05	0.38	-0.08	1.00

Figura 5. 38 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita II de San Jorge

Los elementos de interés son el Ga, Ge, In, Ag, por lo que se sintetizará en la tabla 5.74 la intensidad de las correlaciones y su tipo.

Tabla 5. 74

Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de esfalerita II, sector San Jorge

	Ga	Ge	In	Ag	Zn	Cu	Fe	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb
Ga		0	0	0	+	0	-	0	+	0	0	0
Ge	0		0	+	0	+++	0	-	0	0	0	0
In	0	0		0	0	0	0	0	+	+	0	0
Ag	0	+	0		0	0	0	-	0	+	0	+

Respecto a las correlaciones positivas del Ga, se encuentra débilmente relacionado al Zn, Sn. Respecto a las correlaciones negativas, se encuentra débilmente relacionado al Fe.

Respecto a las correlaciones positivas del Ge, se encuentra fuertemente relacionado al Cu, débilmente relacionado a la Ag. Respecto a las correlaciones negativas, se encuentra débilmente relacionado al Cd.

Respecto a las correlaciones positivas del In, se encuentra débilmente correlacionado Sn, Sb.

Respecto a las correlaciones positivas de la Ag, se encuentra débilmente correlacionada al Ge, Sb, Pb. Respecto a las correlaciones negativas, se encuentra débilmente relacionada al Cd.

Asociaciones multivariadas

El resultado del análisis clúster jerárquico, para la esfalerita II de San Jorge se muestra en la figura 5.39.

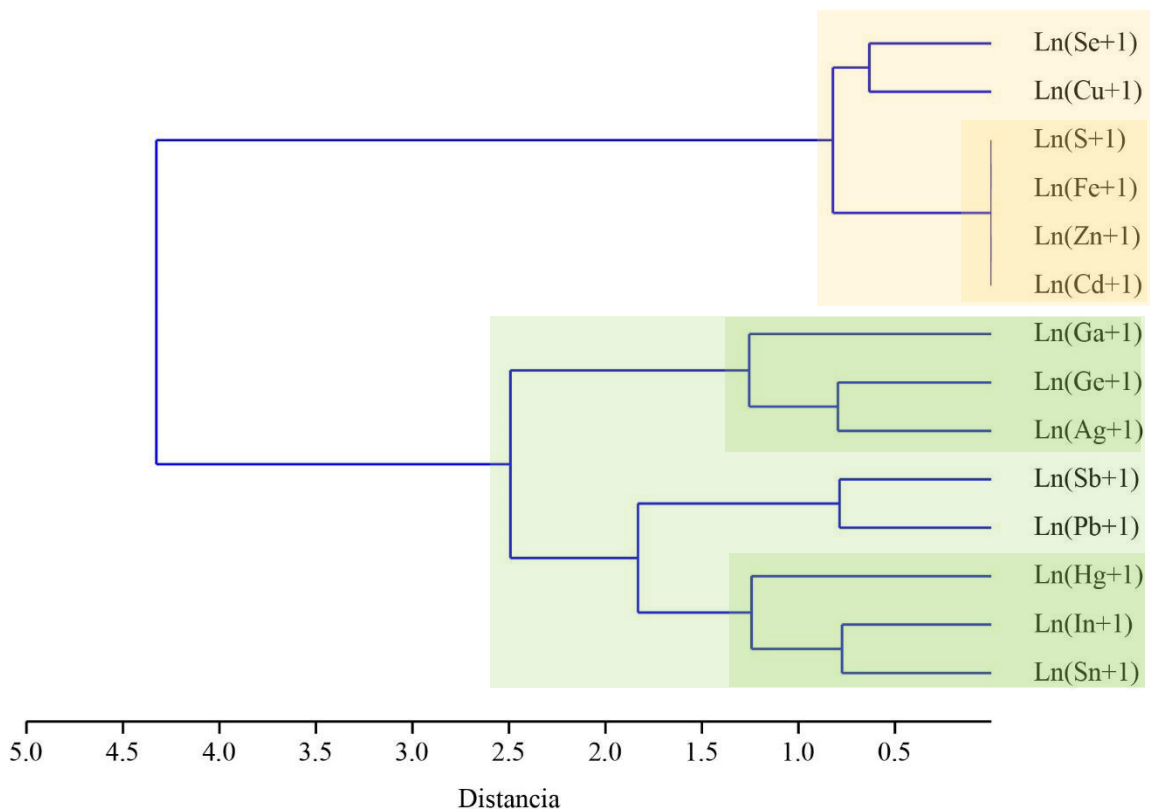


Figura 5. 39 Análisis clúster jerárquico para la esfalerita II de San Jorge

Se observa que la asociación más fuerte se da, como corresponde al ser una esfalerita, entre el Zn-S, a los cuales se encuentran fuertemente asociados también el Fe y Cd. Se

encuentran asociados dentro del mismo primer cluster principal el Cu-Se como corresponde al ser calcófilos. Dentro del segundo cluster principal se encuentran 3 subasociaciones, entre las que destacan la asociación Ge-Ag (encontrándose estos dos elementos íntimamente asociados en otros minerales también) y en menor intensidad el Ga. Se encuentra otra asociación entre el In-Sn y en menor medida Hg, lo que sugiere influencia de fluidos de mayor temperatura en el sistema, y finalmente la asociación entre Pb-Sb.

Galena II

Correlaciones bivariadas

La figura 5.40 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la galena II de San Jorge.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Zn+1)	Ln(As+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Sb+1)	Ln(Pb+1)
Ln(S+1)	1.00	0.48	0.89	-0.12	0.00	0.58	-0.86
Ln(Fe+1)	0.48	1.00	0.70	-0.37	-0.23	0.41	-0.82
Ln(Zn+1)	0.89	0.70	1.00	-0.36	-0.08	0.45	-0.95
Ln(As+1)	-0.12	-0.37	-0.36	1.00	0.16	0.57	0.18
Ln(Ag+1)	0.00	-0.23	-0.08	0.16	1.00	0.27	0.07
Ln(Sb+1)	0.58	0.41	0.45	0.57	0.27	1.00	-0.65
Ln(Pb+1)	-0.86	-0.82	-0.95	0.18	0.07	-0.65	1.00

Figura 5. 40 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la galena II de San Jorge

Las correlaciones más fuertes son entre Zn-S, Zn-Fe, Ag-Sb, Pb-Sb, Sb-S. La fuerte correlación Zn-S y Zn-Fe sugiere inclusiones de esfalerita en la galena.

El elemento de interés es Ag, por lo que se señala la intensidad de sus correlaciones:

Correlaciones positivas: Ag-Sb (débil)

Correlaciones negativas: Ag: Ag-Fe (débil)

Asociaciones multivariadas

El resultado del análisis clúster jerárquico, para la galena II de San Jorge se muestra en la figura 5.41.

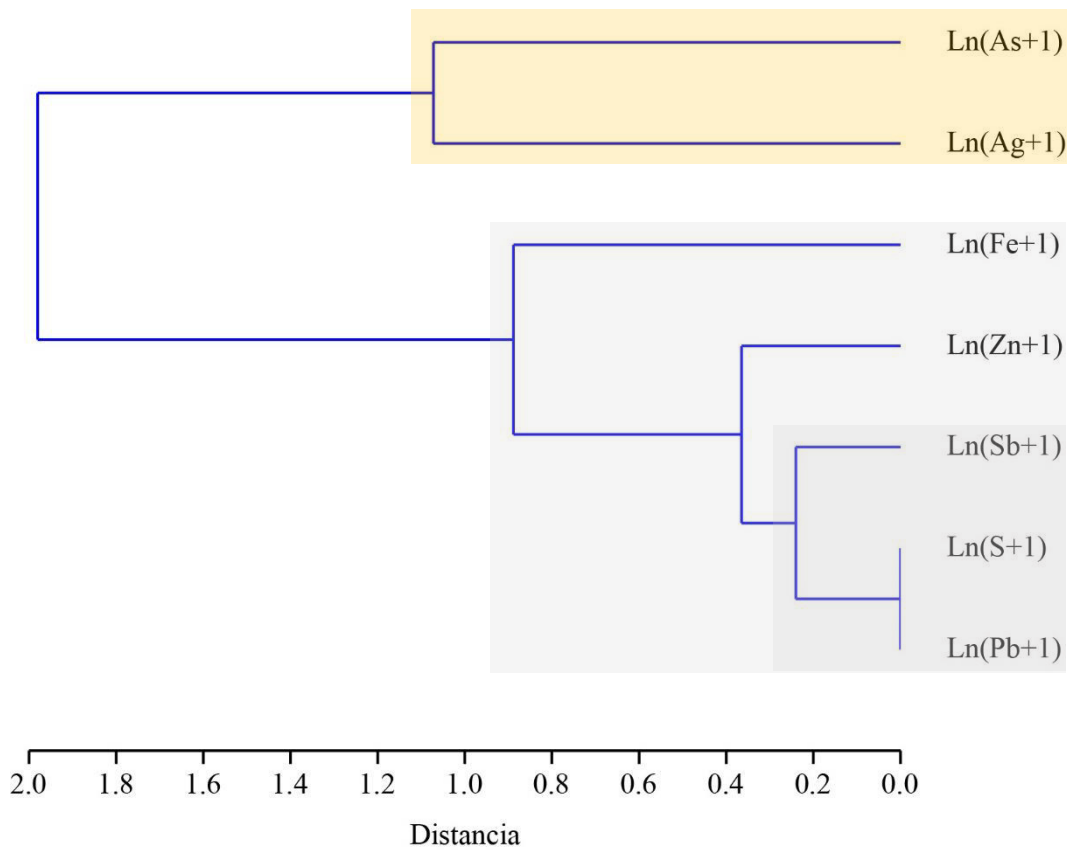


Figura 5. 41 Análisis clúster jerárquico para la galena II de San Jorge

La asociación más fuerte como corresponde al ser galena, es entre Pb-S. Se encuentran asociados también al Sb. En Zn y Fe se asocian en menor grado. La Ag se encuentra asociada al As, lo que sugiere un evento posterior para su incorporación.

Pirita II

Correlaciones bivariadas

La figura 5.42 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita II de San Jorge.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Ni+1)	Ln(Cu+1)	Ln(Zn+1)	Ln(Ga+1)	Ln(Ge+1)	Ln(As+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Cd+1)	Ln(In+1)	Ln(Sn+1)	Ln(Sb+1)	Ln(Hg+1)	Ln(Pb+1)
Ln(S+1)	1.00	-0.66	-0.09	-0.54	0.19	-0.11	0.04	-0.58	0.44	0.29	0.15	0.19	0.10	-0.06	-0.11
Ln(Fe+1)	-0.66	1.00	0.00	-0.01	-0.64	0.28	0.10	0.00	-0.42	-0.30	-0.23	-0.26	-0.10	-0.01	-0.12
Ln(Ni+1)	-0.09	0.00	1.00	-0.05	0.04	0.11	-0.09	0.17	-0.01	-0.04	-0.02	0.01	-0.06	0.12	0.12
Ln(Cu+1)	-0.54	-0.01	-0.05	1.00	-0.16	0.10	-0.05	0.84	-0.13	-0.07	0.16	-0.07	0.02	-0.06	0.16
Ln(Zn+1)	0.19	-0.64	0.04	-0.16	1.00	-0.41	-0.22	-0.19	0.07	0.13	-0.01	0.19	-0.14	0.04	0.15
Ln(Ga+1)	-0.11	0.28	0.11	0.10	-0.41	1.00	0.48	0.09	0.20	-0.05	0.00	-0.12	0.23	-0.14	0.04
Ln(Ge+1)	0.04	0.10	-0.09	-0.05	-0.22	0.48	1.00	0.00	0.31	0.06	0.13	0.04	0.48	0.05	0.03
Ln(As+1)	-0.58	0.00	0.17	0.84	-0.19	0.09	0.00	1.00	-0.07	-0.09	0.12	-0.07	0.14	0.06	0.11
Ln(Ag+1)	0.44	-0.42	-0.01	-0.13	0.07	0.20	0.31	-0.07	1.00	0.23	0.17	0.28	0.47	-0.07	0.14
Ln(Cd+1)	0.29	-0.30	-0.04	-0.07	0.13	-0.05	0.06	-0.09	0.23	1.00	0.76	0.83	0.30	0.56	-0.24
Ln(In+1)	0.15	-0.23	-0.02	0.16	-0.01	0.00	0.13	0.12	0.17	0.76	1.00	0.74	0.37	0.57	-0.22
Ln(Sn+1)	0.19	-0.26	0.01	-0.07	0.19	-0.12	0.04	-0.07	0.28	0.83	0.74	1.00	0.40	0.54	-0.13
Ln(Sb+1)	0.10	-0.10	-0.06	0.02	-0.14	0.23	0.48	0.14	0.47	0.30	0.37	0.40	1.00	0.12	-0.06
Ln(Hg+1)	-0.06	-0.01	0.12	-0.06	0.04	-0.14	0.05	0.06	-0.07	0.56	0.57	0.54	0.12	1.00	-0.05
Ln(Pb+1)	-0.11	-0.12	0.12	0.16	0.15	0.04	0.03	0.11	0.14	-0.24	-0.22	-0.13	-0.06	-0.05	1.00

Figura 5. 42 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita II de San Jorge

Los elementos de interés son el Ga, Ge, In, Ag, por lo que se sintetizará en la tabla 5.75 la intensidad de las correlaciones y su tipo.

Tabla 5. 75 Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de pirita II, sector San Jorge

	Ga	Ge	In	Ag	Zn	Cu	Fe	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb	As	Ni
Ga		++	0	+	--	0	+	0	0	+	0	0	0	0
Ge	++		0	+	-	0	0	0	0	++	0	0	0	0
In	0	0		+	0	+	-	+++	+++	+	++	-	0	0
Ag	+	+	+		0	0	--	+	+	++	0	+	0	0

Asociaciones multivariadas

El resultado del análisis clúster jerárquico, para la pirita II de San Jorge se muestra en la figura 5.43.

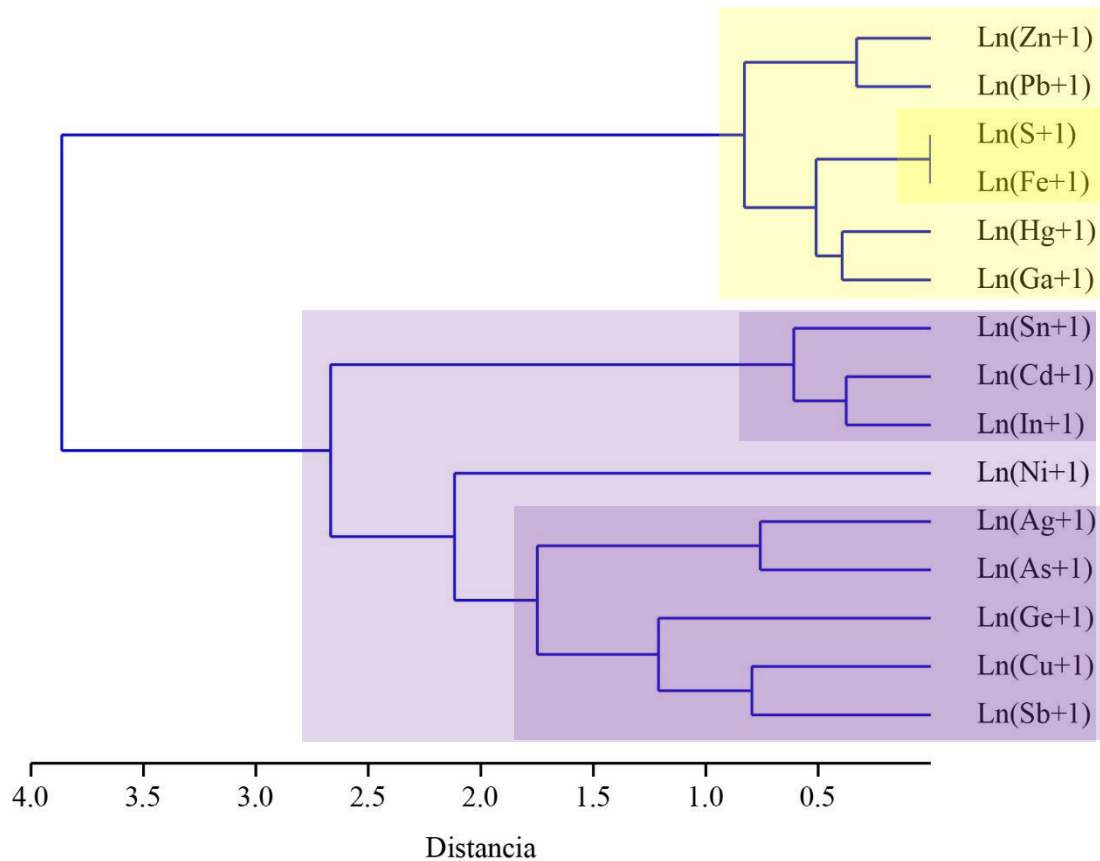


Figura 5. 43 Análisis clúster jerárquico para la pirita II de San Jorge

La asociación más intensa, dentro del cluster principal, como corresponde al ser una pirita, es la asociación entre Fe-S. Le siguen la asociación entre Ga-Hg, observándose nuevamente la fuerte asociación del Ga a las piritas, y finalmente la asociación entre Pb-Zn. En el segundo cluster principal se observan 2 subasociaciones importantes, siendo la primera la asociación entre Cd-In y Sn, encontrándose nuevamente presente esta relación que existe entre In y Sn. La segunda subasociación dentro de este cluster secundario corresponde en intensidad a la asociación entre Ag-As, seguida de la asociación Cu-Sb-Ge, sugiriendo que para la incorporación de estos elementos en el sistema fueron necesarias sustituciones acopladas con participación del Cu.

b. Florcita

A continuación se estudiarán las asociaciones geoquímicas entre los elementos analizados en la paragénesis de Florcita.

Esfalerita I

Correlaciones bivariadas

La figura 5.44 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita I de Florcita.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Cu+1)	Ln(Zn+1)	Ln(Ga+1)	Ln(Ge+1)	Ln(Se+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Cd+1)	Ln(In+1)	Ln(Sn+1)	Ln(Pb+1)
Ln(S+1)	1.00	0.56	-0.03	-0.67	-0.20	-0.11	0.40	0.00	-0.55	0.21	0.27	-0.19
Ln(Fe+1)	0.56	1.00	-0.31	-0.97	-0.39	-0.43	0.26	-0.31	-0.61	-0.23	0.28	0.06
Ln(Cu+1)	-0.03	-0.31	1.00	0.18	0.80	0.02	0.30	0.23	-0.07	0.26	0.34	-0.10
Ln(Zn+1)	-0.67	-0.97	0.18	1.00	0.27	0.42	-0.31	0.25	0.64	0.15	-0.34	0.00
Ln(Ga+1)	-0.20	-0.39	0.80	0.27	1.00	-0.12	0.20	-0.04	0.04	-0.03	-0.03	-0.04
Ln(Ge+1)	-0.11	-0.43	0.02	0.42	-0.12	1.00	-0.10	0.49	-0.16	0.36	-0.12	-0.05
Ln(Se+1)	0.40	0.26	0.30	-0.31	0.20	-0.10	1.00	0.15	-0.41	0.20	-0.01	0.06
Ln(Ag+1)	0.00	-0.31	0.23	0.25	-0.04	0.49	0.15	1.00	-0.06	0.62	-0.04	-0.06
Ln(Cd+1)	-0.55	-0.61	-0.07	0.64	0.04	-0.16	-0.41	-0.06	1.00	-0.15	-0.26	-0.10
Ln(In+1)	0.21	-0.23	0.26	0.15	-0.03	0.36	0.20	0.62	-0.15	1.00	-0.03	-0.04
Ln(Sn+1)	0.27	0.28	0.34	-0.34	-0.03	-0.12	-0.01	-0.04	-0.26	-0.03	1.00	-0.04
Ln(Pb+1)	-0.19	0.06	-0.10	0.00	-0.04	-0.05	0.06	-0.06	-0.10	-0.04	-0.04	1.00

Figura 5. 44 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita I de Florcita

Los elementos de interés son el Ga, Ge, In, Ag, por lo que se sintetizará en la tabla 6.x la intensidad de las correlaciones y su tipo.

Tabla 5. 76

Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de esfalerita I, Florcita

	Ga	Ge	In	Ag	Zn	Cu	Fe	Cd	Sn	Pb
Ga		0	0	0	+	+++	-	0	0	0
Ge	0		+	++	+	0	-	-	0	0
In	0	+		++	+	+	-	-	0	0
Ag	0	++	++		+	+	-	0	0	0

Asociaciones multivariadas

El resultado del análisis clúster jerárquico, para la esfalerita I de Florcita se muestra en la figura 5.45.

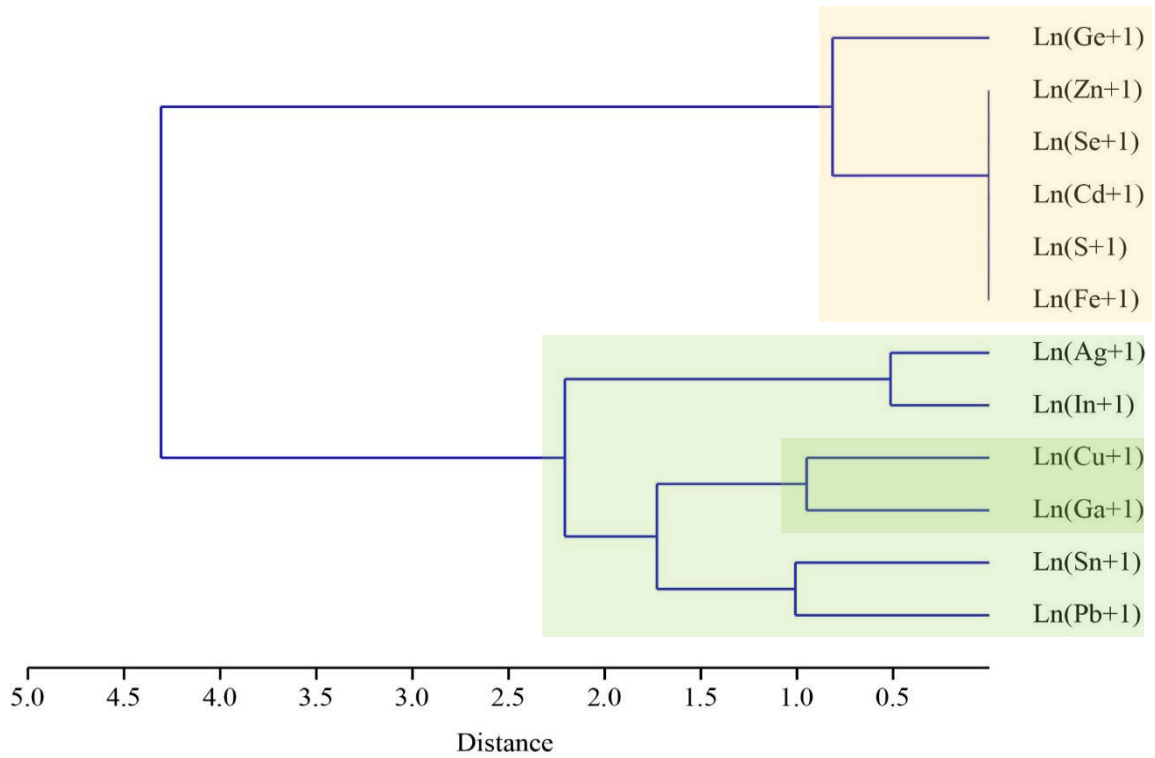


Figura 5. 45 Análisis clúster jerárquico para la esfalerita I de Florcita

Pirita

Correlaciones bivariadas

La figura 5.46 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita de Florcita.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Co+1)	Ln(Ni+1)	Ln(Cu+1)	Ln(Ga+1)	Ln(Ge+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Cd+1)	Ln(In+1)	Ln(Sn+1)	Ln(Hg+1)	Ln(Pb+1)
Ln(S+1)	1.00	-0.96	0.11	0.13	-0.19	-0.22	-0.32	0.49	0.53	0.28	0.53	0.41	0.00
Ln(Fe+1)	-0.96	1.00	-0.10	-0.13	-0.08	0.23	0.35	-0.51	-0.55	-0.29	-0.55	-0.44	-0.07
Ln(Co+1)	0.11	-0.10	1.00	0.63	-0.13	-0.31	-0.05	-0.07	-0.05	-0.10	-0.05	-0.12	0.32
Ln(Ni+1)	0.13	-0.13	0.63	1.00	-0.01	-0.12	-0.07	-0.10	-0.07	-0.15	-0.07	-0.17	0.14
Ln(Cu+1)	-0.19	-0.08	-0.13	-0.01	1.00	-0.04	-0.13	-0.08	-0.01	-0.06	-0.01	0.13	0.13
Ln(Ga+1)	-0.22	0.23	-0.31	-0.12	-0.04	1.00	0.27	-0.03	0.14	0.32	0.14	-0.23	-0.19
Ln(Ge+1)	-0.32	0.35	-0.05	-0.07	-0.13	0.27	1.00	-0.07	-0.05	0.53	-0.05	-0.56	-0.10
Ln(Ag+1)	0.49	-0.51	-0.07	-0.10	-0.08	-0.03	-0.07	1.00	0.87	0.41	0.87	0.11	0.23
Ln(Cd+1)	0.53	-0.55	-0.05	-0.07	-0.01	0.14	-0.05	0.87	1.00	0.51	1.00	0.22	-0.10
Ln(In+1)	0.28	-0.29	-0.10	-0.15	-0.06	0.32	0.53	0.41	0.51	1.00	0.51	-0.12	0.06
Ln(Sn+1)	0.53	-0.55	-0.05	-0.07	-0.01	0.14	-0.05	0.87	1.00	0.51	1.00	0.22	-0.10
Ln(Hg+1)	0.41	-0.44	-0.12	-0.17	0.13	-0.23	-0.56	0.11	0.22	-0.12	0.22	1.00	-0.10
Ln(Pb+1)	0.00	-0.07	0.32	0.14	0.13	-0.19	-0.10	0.23	-0.10	0.06	-0.10	-0.10	1.00

Figura 5. 46 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita de Florcita

Los elementos de interés son el Ga, Ge, In, Ag, por lo que se sintetizará en la tabla 5.77 la intensidad de las correlaciones y su tipo.

Tabla 5. 77

Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de pirita, Florcita

	Ga	Ge	In	Ag	Cu	Fe	Cd	Sn	Hg	Pb	Co	Ni
Ga		+	+	0	0	+	0	0	-	-	-	0
Ge	+		++	0	0	+	0	0	--	0	0	0
In	+	++		+	0	-	++	++	0	0	0	0
Ag	0	0	+		0	--	+++	+++	0	+	0	0

Asociaciones multivariadas

El resultado del análisis clúster jerárquico, para la pirita de Florcita se muestra en la figura 5.47.

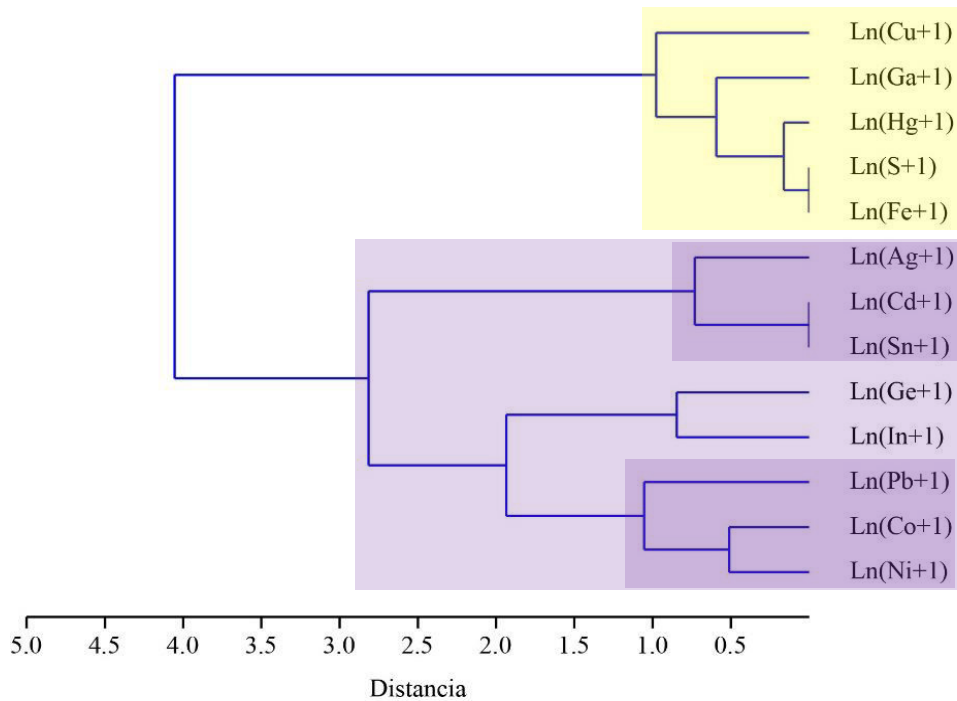


Figura 5. 47 Análisis clúster jerárquico para la pirita de Florcita

c. Soloco

A continuación se estudiarán las asociaciones geoquímicas entre los elementos analizados en la paragénesis de Soloco.

Esfalerita

Correlaciones bivariadas

La figura 5.48 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita de Soloco.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Cu+1)	Ln(Zn+1)	Ln(Ga+1)	Ln(Ge+1)	Ln(Se+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Cd+1)	Ln(In+1)	Ln(Sn+1)	Ln(Sb+1)	Ln(Hg+1)
Ln(S+1)	1.00	0.74	-0.29	-0.85	-0.30	-0.37	-0.48	0.77	0.11	-0.51	-0.52	0.69	-0.55
Ln(Fe+1)	0.74	1.00	-0.78	-0.97	-0.11	-0.85	-0.34	0.23	0.52	-0.39	-0.37	0.19	-0.24
Ln(Cu+1)	-0.29	-0.78	1.00	0.64	-0.17	0.98	0.05	0.16	-0.50	0.19	0.15	0.36	-0.03
Ln(Zn+1)	-0.85	-0.97	0.64	1.00	0.27	0.74	0.30	-0.40	-0.53	0.35	0.33	-0.40	0.24
Ln(Ga+1)	-0.30	-0.11	-0.17	0.27	1.00	0.00	-0.49	-0.38	-0.49	-0.64	-0.61	-0.71	-0.46
Ln(Ge+1)	-0.37	-0.85	0.98	0.74	0.00	1.00	0.03	0.10	-0.60	0.11	0.08	0.22	-0.08
Ln(Se+1)	-0.48	-0.34	0.05	0.30	-0.49	0.03	1.00	-0.22	0.55	0.89	0.91	-0.20	0.94
Ln(Ag+1)	0.77	0.23	0.16	-0.40	-0.38	0.10	-0.22	1.00	-0.20	-0.32	-0.35	0.70	-0.46
Ln(Cd+1)	0.11	0.52	-0.50	-0.53	-0.49	-0.60	0.55	-0.20	1.00	0.48	0.52	0.01	0.67
Ln(In+1)	-0.51	-0.39	0.19	0.35	-0.64	0.11	0.89	-0.32	0.48	1.00	1.00	-0.01	0.92
Ln(Sn+1)	-0.52	-0.37	0.15	0.33	-0.61	0.08	0.91	-0.35	0.52	1.00	1.00	-0.06	0.94
Ln(Sb+1)	0.69	0.19	0.36	-0.40	-0.71	0.22	-0.20	0.70	0.01	-0.01	-0.06	1.00	-0.26
Ln(Hg+1)	-0.55	-0.24	-0.03	0.24	-0.46	-0.08	0.94	-0.46	0.67	0.92	0.94	-0.26	1.00

Figura 5. 48 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la esfalerita de Soloco

Los elementos de interés son el Ga, Ge, In, Ag, por lo que se sintetizará en la tabla 5.78 la intensidad de las correlaciones y su tipo.

Tabla 5. 78

Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de esfalerita, Soloco

	Ga	Ge	In	Ag	Zn	Cu	Fe	Cd	Sn	Sb	Hg	Se
Ga		0	--	-	+	-	0	--	--	---	--	--
Ge	0		0	0	+++	+++	---	--	0	+	0	0
In	--	0		-	+	+	-	+	+++	0	+++	+++
Ag	-	0	-		-	+	+	-	-	++	--	-

Asociaciones multivariadas

El resultado del análisis clúster jerárquico, para la esfalerita de Soloco se muestra en la figura 5.49.

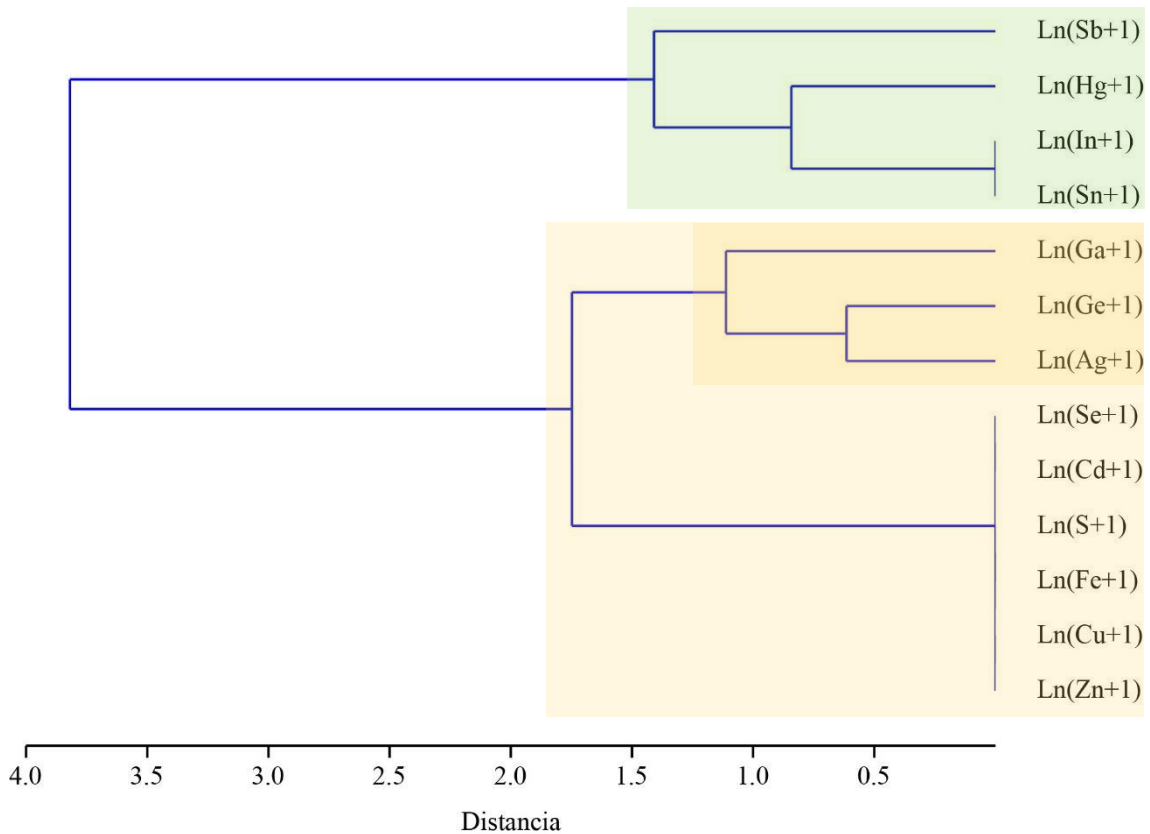


Figura 5. 49 Análisis clúster jerárquico para la esfalerita de Soloco

Pirita II

Correlaciones bivariadas

La figura 5.50 muestra la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita II de Soloco.

	Ln(S+1)	Ln(Fe+1)	Ln(Ga+1)	Ln(Ge+1)	Ln(As+1)	Ln(Ag+1)	Ln(Cd+1)	Ln(In+1)	Ln(Hg+1)	Ln(Pb+1)
Ln(S+1)	1.00	-0.06	-0.44	-0.17	-0.50	0.42	0.52	0.51	-0.13	-0.19
Ln(Fe+1)	-0.06	1.00	-0.16	-0.71	-0.83	-0.36	0.02	0.03	0.54	-0.29
Ln(Ga+1)	-0.44	-0.16	1.00	0.29	0.38	0.07	-0.45	-0.43	-0.20	0.46
Ln(Ge+1)	-0.17	-0.71	0.29	1.00	0.68	0.14	-0.18	-0.18	-0.63	0.11
Ln(As+1)	-0.50	-0.83	0.38	0.68	1.00	0.07	-0.33	-0.33	-0.39	0.41
Ln(Ag+1)	0.42	-0.36	0.07	0.14	0.07	1.00	-0.19	-0.19	-0.28	0.02
Ln(Cd+1)	0.52	0.02	-0.45	-0.18	-0.33	-0.19	1.00	0.99	0.12	-0.25
Ln(In+1)	0.51	0.03	-0.43	-0.18	-0.33	-0.19	0.99	1.00	0.13	-0.25
Ln(Hg+1)	-0.13	0.54	-0.20	-0.63	-0.39	-0.28	0.12	0.13	1.00	-0.14
Ln(Pb+1)	-0.19	-0.29	0.46	0.11	0.41	0.02	-0.25	-0.25	-0.14	1.00

Figura 5. 50 Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la pirita II de Soloco

Los elementos de interés son el Ga, Ge, In, Ag, por lo que se sintetizará en la tabla 5.79 la intensidad de las correlaciones y su tipo.

Tabla 5. 79

Sentido de correlación de Ga, Ge, In, Ag versus composición de pirita II, Soloco

	Ga	Ge	In	Ag	Fe	Cd	Hg	Pb	As
Ga		+	-	0	-	--	-	++	+
Ge	+		-	0	--	-	--	0	--
In	-	-		-	0	+++	0	-	-
Ag	0	0	-		-	-	-	0	0

Asociaciones multivariadas

El resultado del análisis clúster jerárquico, para la pirita II de Soloco se muestra en la figura 5.51.

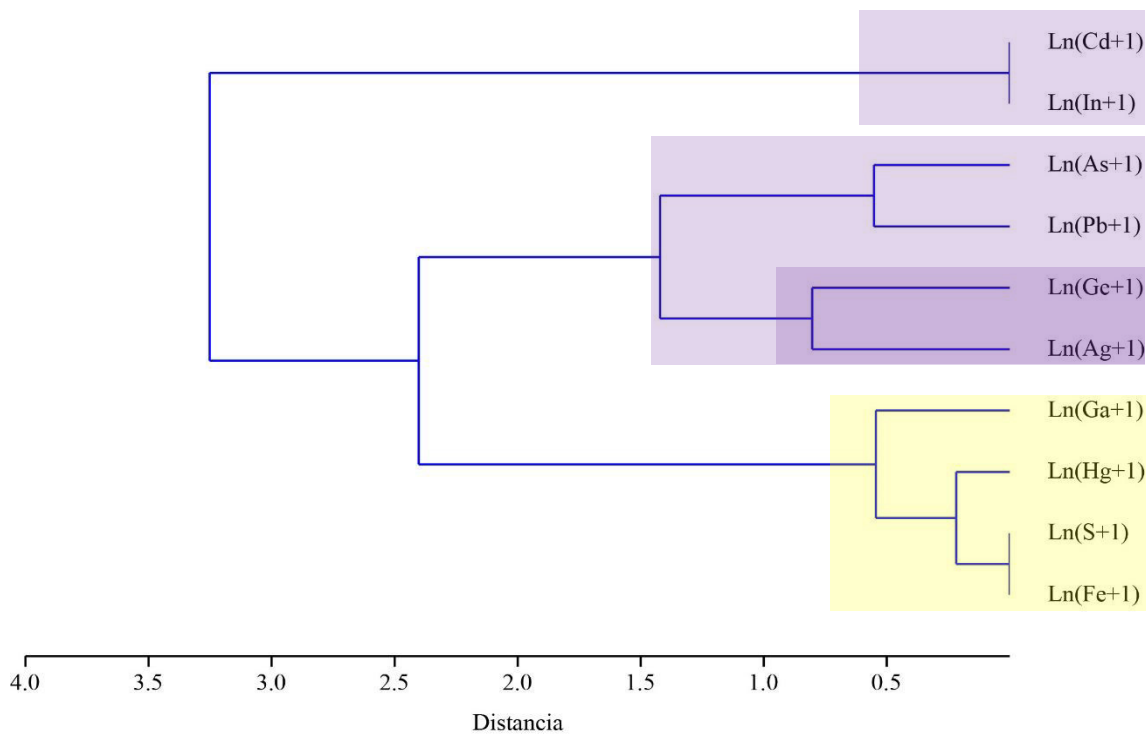


Figura 5. 51 Análisis clúster jerárquico para la pirita II de Soloco

5.4.3 Características microtermométricas de los fluidos portadores de Ga, Ge, In, Ag y su relación con las características petromineralógicas de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco

Las características microtermométricas (temperatura de homogenización y salinidad; esta última obtenida de manera indirecta a través de la temperatura de fusión) se evaluarán en lo que respecta a su relación con las características petromineralógicas de los yacimientos de tipo MVT de la región Amazonas.

a. Cañón Florida

La tabla 5.80 muestra los indicadores de la microtermometría de inclusiones fluidas y las características petromineralógicas de los minerales en los que fueron medidas, para el proyecto Cañón Florida.

Tabla 5. 80

Características microtermométricas de inclusiones fluidas y características petromineralógicas de minerales en el proyecto Cañón Florida

Muestra	Min.	Sal. (% wt. NaCl)	Th (°C)	Cant.	Tam.	Idiomorfismo	Color	Estilo de mineralización	
CF-KM-01	Ef I	26.8	470	51%	<2.56 mm	Anhedral	Marrón	Diseminado y venillas	
		26.19	320						
		26.8	330						
		26.19	-						
		25.58	-						
CF-KM-03	Ef II	-	220	58%	<3.00 mm	Anhedral	Zonado naranja – amarillento	Masivo	
		-	190						
		24.34	195						
		26.19	172						
		25.58	180						
		22.38	205						
CF-KM-05	Ef II	18.63	140	61%	<1.73 mm	Anhedral a subhedral	Zonado naranja – amarillento	Masivo	
		11.7	150						
		7.86	135						
		9.21	220						
CF-KM-06	Ef II	-	130	57%	<3.45 mm	Anhedral a subhedral	Zonado naranja – amarillento	Semimasivo	
		7.17	115						
		-	110						
		-	195						
	Cac II	Cac II	3.39	157	15%	<2.00 mm	Anhedral	Blanco	Relleno
			-	178					
-			180						
CF-KM-02	Cac II	0.88	190	20%	<0.01 mm	Anhedral	Blanco	Cemento y parches	
		2.57	240						
		1.74	225						
		6.45	230						
		4.96	200						
CF-KM-05	Cac III	4.96	268	3%	<0.57 mm	Anhedral	Blanco	Vetillas	
		1.74	335						
		3.39	330						
		6.45	310						
		3.06	300						

		7.17	360					
		1.74	316					
		1.4	397					
		15.96	396					
CF-SJ-02	Cac II	-	155	5%	<0.01 mm	Anhedral	Blanco	Cemento y parches
		-	170					
		1.4	168					
	-	172						
	Ef II	5.71	165	60%	<0.58 mm	Anhedral	Zonado naranja – amarillento	Masivo
4.96		170						
4.18		180						
4.96		120						
CF-SJ-06	Ef II	-	130	30%	<4.00 mm	Anhedral a subhedral	Zonado naranja – amarillento	Diseminado y venillas
		5.71	125					

De la tabla 5.80 se puede observar, para el sector Karen Milagros, cómo las esfaleritas II son de menor temperatura de homogenización que las esfaleritas I, así como también son de color distinto a las esfaleritas I. Esto muestra que, a menor temperatura de homogenización, la esfalerita es de color más claro. También se reconoce que, para el evento de esfalerita II, las temperaturas de homogenización más altas se relacionan a un estilo de mineralización masivo, mientras que para las temperaturas de homogenización más bajas el estilo de mineralización pasa a ser semimasivo. El paso de un estilo de mineralización masivo a un estilo de mineralización diseminado y en venillas también se observa para la esfalerita II del sector San Jorge. El idiomorfismo también parece estar relacionado de manera inversa con la temperatura de homogenización, ya que los cristales anhedrales ocurren en su totalidad a mayores temperaturas de homogenización, mientras que a temperaturas de homogenización menores a 150 °C, tanto para Karen Milagros como para San Jorge, la proporción de cristales anhedrales disminuye y empiezan a aparecer cristales subhedrales. Respecto a las calcitas, las calcitas II son de cristales más pequeños y de mayor abundancia (5 a 20%) y ocurren a manera de cemento, relleno y con temperaturas de homogenización menores que la calcita III (155-240°C), de menor abundancia (3%), la cual ocurre en venillas y a una temperatura de homogenización más alta que la calcita II, comprendiendo temperaturas de homogenización entre 268 y 360 °C.

b. Florcita

La tabla 5.81 muestra los indicadores de la microtermometría de inclusiones fluidas y las características petromineralógicas de los minerales en los que fueron medidas, para el proyecto Florcita.

Tabla 5. 81

Características microtermométricas de inclusiones fluidas y características petromineralógicas de minerales en el proyecto Florcita.

Muestra	Min.	Sal. (% wt. NaCl)	Th (°C)	Cant.	Tam.	Idiomorfismo	Color	Estilo de mineralización
F - 02		7.86	130					
		22.38	165					
		20.97	155					
		19.45	148					
		21.68	143					
		18.63	190					
		20.22	160					
		21.68	170					
		20.22	172					
		19.45	140					
	Dol II	19.05	142	48%	<4.00	Subhedral a euhedral	Blanco	Brecha/ masivo
		19.45	130					
		22.38	235					
		18.63	243					
		21.68	226					
		23.05	265					
		20.22	280					
		19.45	170					
		20.22	207					
		18.63	130					
	19.45	150						
F - 02		25.58	165					
		24.34	125					
		23.7	130					
		24.96	138					
		24.34	140	7%	<5.64	Anhedral	Marrón	Brecha/ masivo
		23.7	132					
		23.7	128					
	Ef I	23.05	135					
	24.96	145						
F - 03		21.68	145					
		23.05	160					
		24.96	165	20%	<8.24	Anhedral	Marrón	Brecha/relleno
		25.58	145					
	26.19	140						

De la tabla 5.81 se observan características similares tanto para esfalerita I de la muestra F-02 como de la muestra F-03 en lo que respecta a Th, salinidades, color, estilo de mineralización, abundancia, tamaño e idiomorfismo, por lo que no se puede establecer una relación entre los indicadores petromineralógicos y las características microtermométricas.

c. Soloco

La tabla 5.82 muestra los indicadores de la microtermometría de inclusiones fluidas y las características petromineralógicas de los minerales en los que fueron medidas, para el prospecto Soloco.

Tabla 5. 82

Características microtermométricas de inclusiones fluidas y características petromineralógicas de minerales en el prospecto Soloco

Muestra	Min.	Sal. (% wt. NaCl)	Th (°C)	Cant.	Tam.	Idiomorfismo	Color	Estilo de mineralización
S-03	Cac I	0.35	205	18%	<4.48 mm	Anhedral	Blanco	Reemplazamiento
		0.53	210					
		0.35	160					
	Cac III	0.53	212	2%	<0.12 mm	Anhedral	Blanco	Reemplazamiento
		0.18	273					
		0.88	165					
		0.35	195					
		0.53	200					
		0.18	230					
		0.7	227					
S-04	Cac II	0.7	195	40%	<4.83 mm	Anhedral	Blanco	Brecha/ relleno
		0.35	165					
		0.53	175					
		1.4	140					
		0.88	160					
		1.22	225					
		0.35	180					
		24.34	188					
		24.21	135					
		25.58	161					
		22.38	190					
		22.38	198					
		22.71	194					
23.7	193							
22.38	145							
S-05		0.35	175	16%			Blanco	

		0.18	165			
		0.53	160			
		0.35	170			
		0.35	210			
	Cac	0.53	213	<1.44	Anhedral a	Brecha/
	II	0.7	245	mm	subhedral	reemplazamiento
		0.7	235			
		0.88	240			
		0.53	255			
		0.35	270			

De la tabla 5.82 se observa que no existe ninguna relación aparente entre las características microtermométricas de las calcitas de Soloco respecto a sus características petromineralógicas, ya que no se observa ninguna tendencia a una variación directa o inversamente proporcional entre las variables.

5.4.4 Características microtermométricas de los fluidos portadores de Ga, Ge, In, Ag y su relación con la secuencia paragenética de los yacimientos Mississippi Valley Type Cañón Florida, Florcita y Soloco.

El resultado obtenido por las inclusiones fluidas en esfaleritas se comparará con la composición de Ga, Ge, Fe, Mn, In mediante el Geotermómetro GGIMFis (Galio, Germanio, Indio, Manganese, Hierro) de Frenzel et al. (2016), mediante la fórmula:

$$T(^{\circ}\text{C}) = -(54.4 \pm 7.3) * \text{Ln} \left(\frac{C_{\text{Ga}}^{0.22} * C_{\text{Ge}}^{0.22}}{C_{\text{Fe}}^{0.37} * C_{\text{Mn}}^{0.20} * C_{\text{In}}^{0.11}} \right) + (208 \pm 10)$$

Donde C_{Ga} ; C_{Ge} ; C_{In} ; C_{Mn} se encuentran en ppm, y C_{Fe} se encuentra en wt%.

Mediante la cual Frenzel et al. (2016) encontraron un control de la geoquímica de la esfalerita sobre la temperatura del fluido, particularmente con las concentraciones de Ga ($r^2 \sim 0.40$), Ge ($r^2 \sim 0.65$), Fe ($r^2 \sim 0.30$), Mn ($r^2 \sim 0.60$), y en menor medida el In ($r^2 \sim 0.10$).

Reemplazando los valores de la ecuación, y asumiendo los valores por debajo del límite de detección (d.l.d.) como iguales al 60% de 0.001% wt; es decir, a 0.0006, se tienen los siguientes resultados.

Tabla 5. 83

Comparación entre temperaturas de homogenización obtenidas a partir de la microtermometría de inclusiones fluidas y del geotermómetro de Frenzel

	Th (°C)	GGIMFis Med-Max (°C)
CF-KM-03	180 - 220	137.9 - 147.6
CF-KM-05	140 - 220	141.36 - 157.49
CF-KM-06	115 - 195	115.09 - 176.33
F-03	140 - 165	105.73 - 151.33

La figura 5.52 muestra la variación del contenido de Ge (wt%) versus la temperatura obtenida a partir del geotermómetro de Frenzel (2016) para esfaleritas.

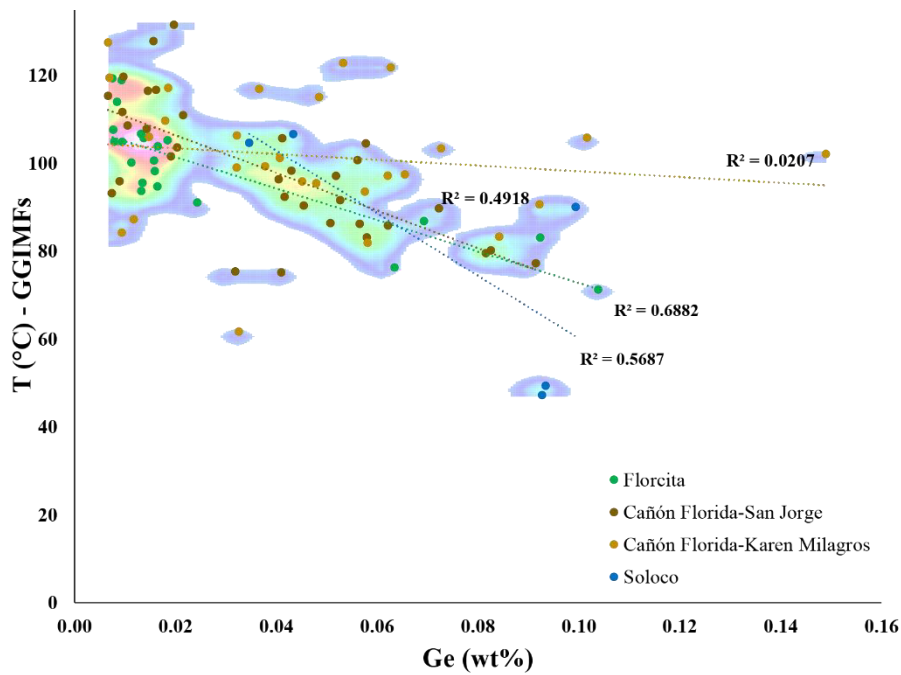


Figura 5. 52 Variación de Ge (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas

La figura 5.52 nos permite observar que el contenido de Ge aumenta con el descenso de temperatura. El contenido de Ge (e In) es considerado geotermómetro per se. Con estos resultados, se valida su comportamiento controlado por la temperatura para las esfaleritas de los MVT de la región Amazonas.

La figura 5.53 muestra la variación del contenido de Ga (wt%) versus la temperatura obtenida a partir del geotermómetro de Frenzel (2016) para esfaleritas.

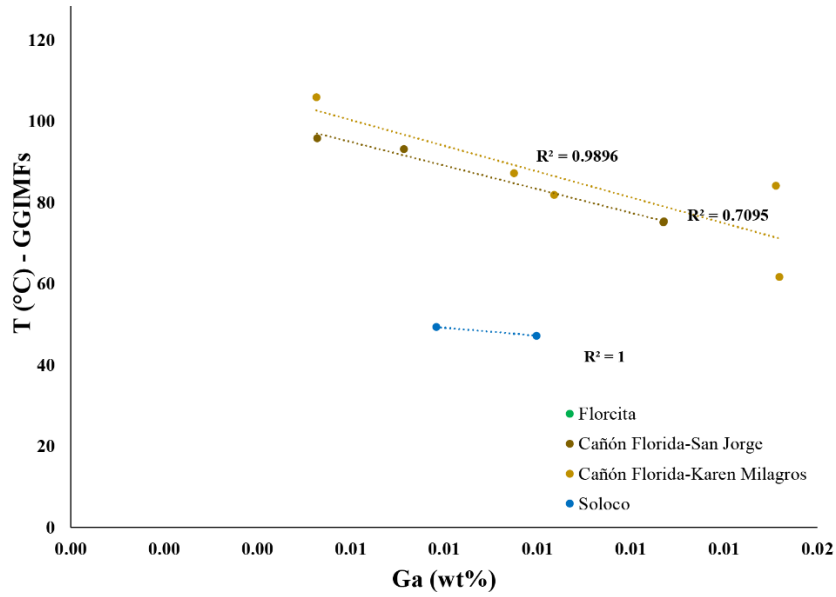


Figura 5. 53 Variación de Ga (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas

La figura 5.54 muestra la variación del contenido de In (wt%) versus la temperatura obtenida a partir del geotermómetro de Frenzel (2016) para esfaleritas.

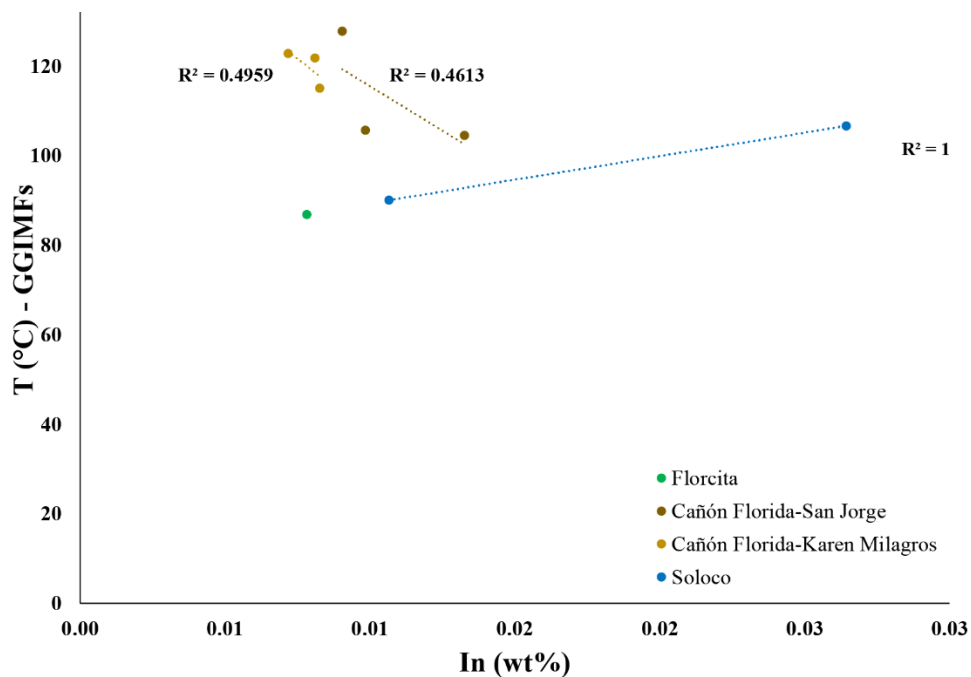


Figura 5. 54 Variación de In (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas

La figura 5.55 muestra la variación del contenido de Ag (wt%) versus la temperatura obtenida a partir del geotermómetro de Frenzel (2016) para esfaleritas.

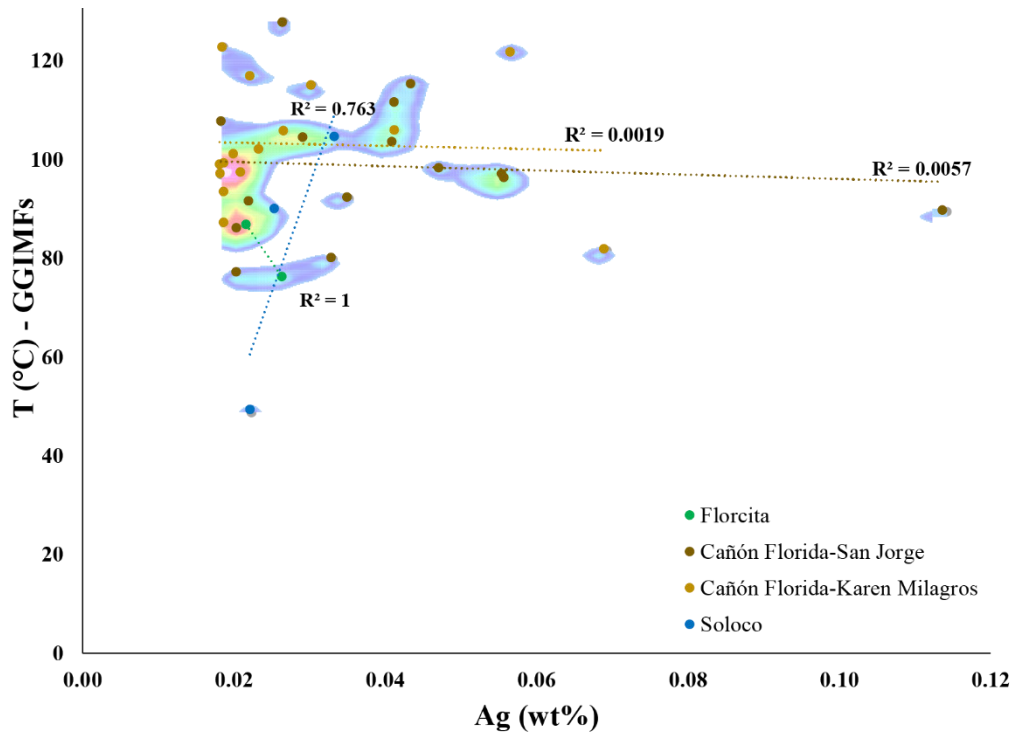


Figura 5. 55 Variación de Ag (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas

La figura 5.56 muestra la variación del contenido de Cd (wt%) versus la temperatura obtenida a partir del geotermómetro de Frenzel (2016) para esfaleritas.

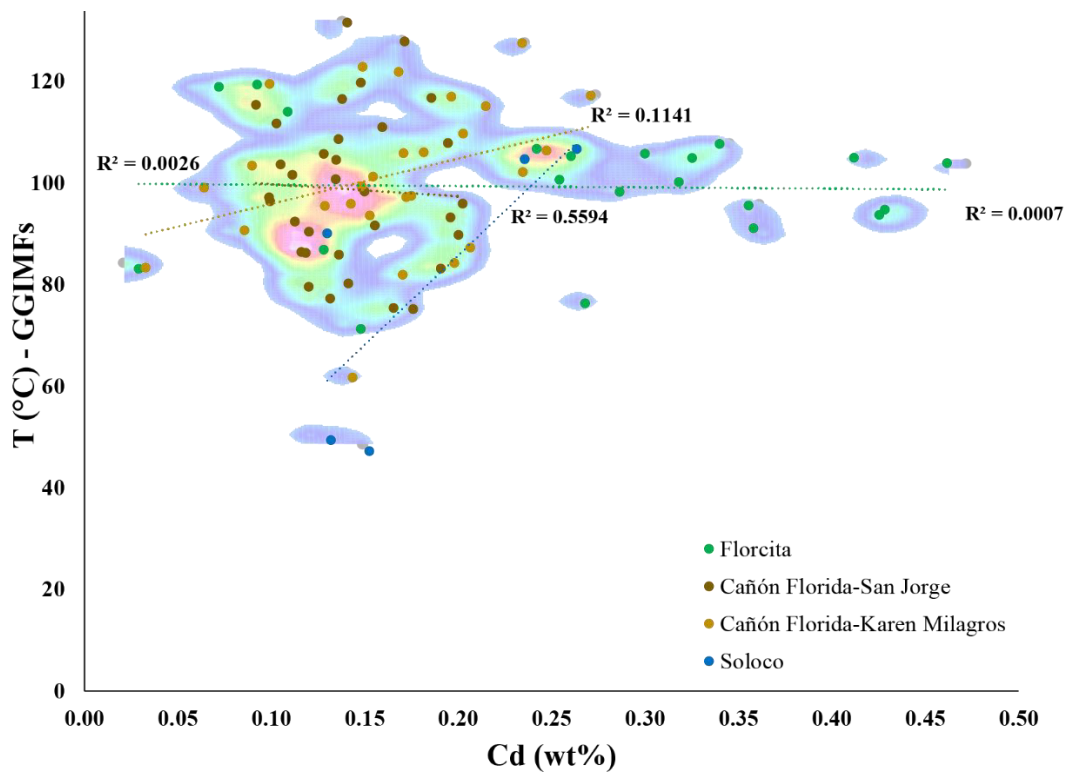


Figura 5. 56 Variación de Cd (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas

La figura 5.57 muestra la variación del contenido de Fe (wt%) versus la temperatura obtenida a partir del geotermómetro de Frenzel et al. (2016) para esfaleritas.

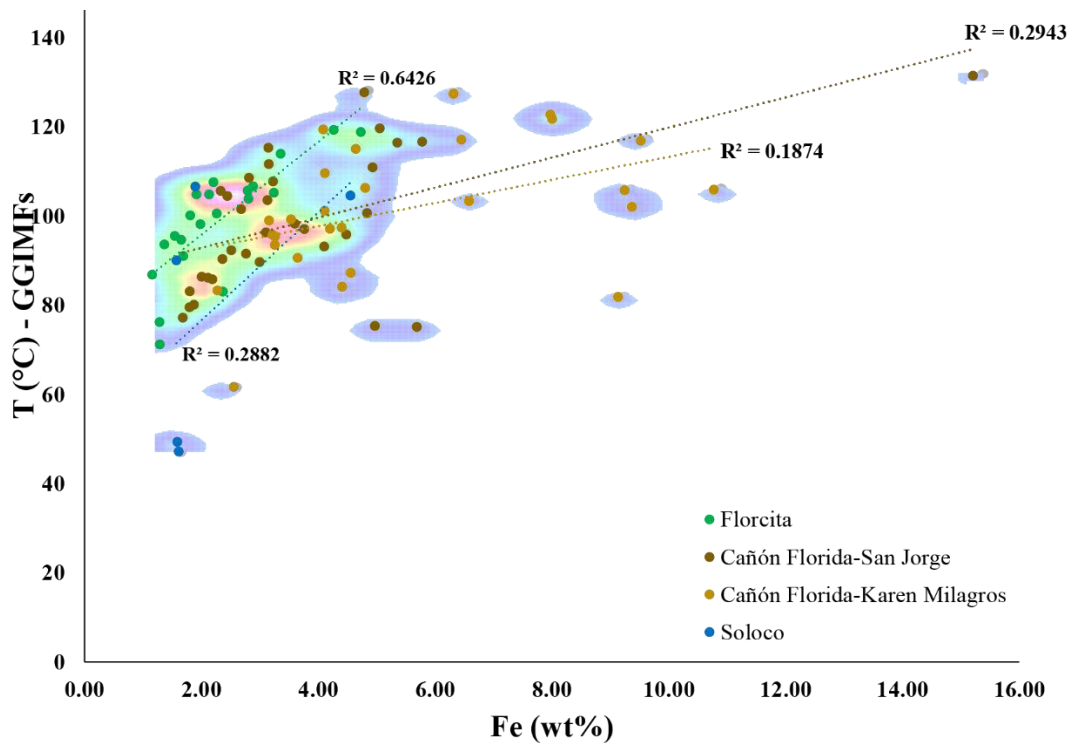


Figura 5. 57 Variación de Fe (wt%) vs T (°C) obtenida a partir del Geotermómetro GGIMFs en Esfaleritas

La figura 5.57 nos permite observar que el contenido de Fe aumenta con el incremento de temperatura. El contenido de Fe en esfaleritas es considerado un indicador de mayor temperatura de formación.

A fin de validar el control de la temperatura en la composición de manera espacial, se han presentado en dos secciones esquemáticas, tomadas de De Oliveira (2019) las muestras y sus resultados para el sector Karen Milagros y San Jorge. Se han incluido resultados de mediciones de inclusiones fluidas de Quispe et al. (2019). Las etiquetas de las muestras es la que se presenta en la tabla 5.84. Este análisis ha sido realizado por el autor de este trabajo en Marchena y Chira (2023).

Tabla 5. 84

Etiquetas correlativas y códigos de muestras para las secciones esquemáticas de los sectores Karen Milagros y San Jorge.

ID	Código	ID	Código
1	12g-MMT-052	10	12g-MMT-100
2	12g-MMT-059	11	12g-MMT-0096
3	12g-MMT-044	12	12g-MMT-063
4	12g-MMT-100	13	12g-MMT-064

5	12g-MMT-098	14	12g-MMT-036
6	12g-MMT-059	15	12g-MMT-048
7	12g-MMT-054	16	12g-MMT-064
8	12g-MMT-038	17	12g-MMT-029
9	12g-MMT-044		

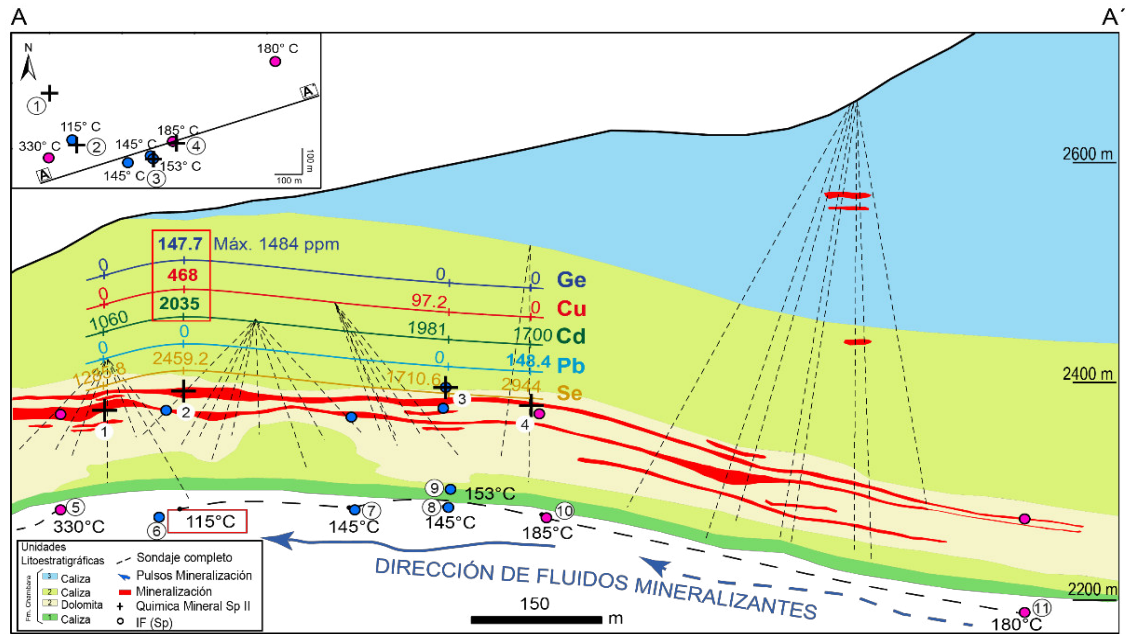


Figura 5. 58 Sección esquemática del sector Karen Milagros, representando puntos de muestreo de EPMA e inclusiones fluidas, variación espacial de composición de esfaleritas II, temperaturas de homogenización y sondajes

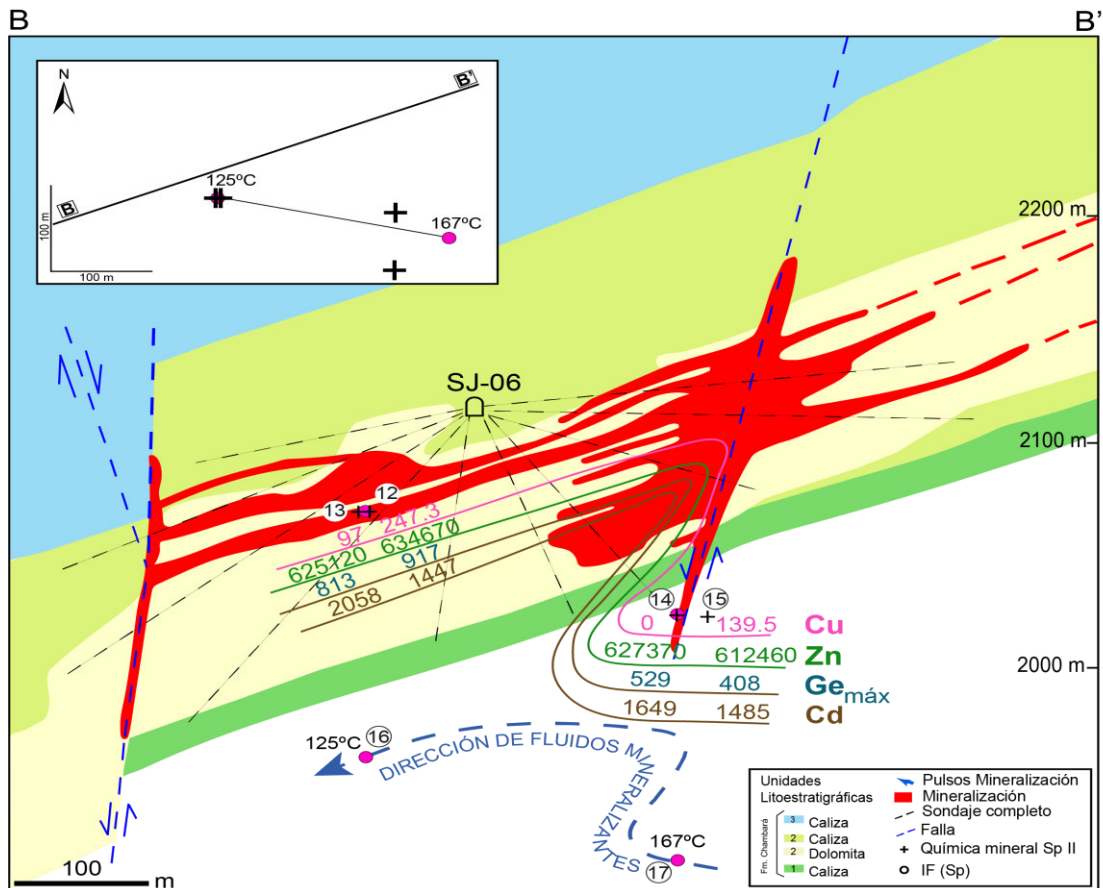


Figura 5.59 Sección esquemática del sector San Jorge, representando puntos de muestreo de EPMA e inclusiones fluidas, variación espacial de composición de esfaleritas II, temperaturas de homogenización y sondajes

De la figura 5.58 correspondiente a la sección esquemática del sector Karen Milagros, se puede observar una dirección de migración de fluidos desde el ENE hacia el OSO. El mayor contenido de Ge (incluyendo valores de hasta 1484 pm) se encuentra asociado espacialmente a las temperaturas más bajas del sistema, así como también se encuentran asociados a estas temperaturas las composiciones más bajas de Cu y Cd. El Pb se encuentra asociado a las temperaturas más altas. Se presenta una inclusión fluida con temperatura de homogenización mediana de 330 °C al OSO de la sección, lo que sugiere una fuente de calor para estos fluidos (Marchena y Chira, 2023). La figura 5.59, correspondiente a la sección esquemática del sector San Jorge, muestra cómo las temperaturas más altas se relacionan a las cercanías a los *feeders*, así como también se relacionan a estas temperaturas más altas y niveles más profundos del sistema. Para este sector, la mediana de Ge en esfalerita II se encontró por debajo del límite de detección, por lo que solo se han representado las composiciones medianas por encima del límite de detección. Para estas composiciones (Cu, Zn, Se, Cd) no se observa un control de la

temperatura, por lo que puede ser necesaria un mayor número de muestras espacialmente distribuidas para concluir un nivel de relación respecto a la variación espacial.

De Marchena y Chira (2023):

Los depósitos Florcita y Soloco no cuentan con el suficiente grado de información geológica, debido al poco desarrollo que presentan (particularmente Soloco) para realizar un modelo esquemático de la evolución espacial de los fluidos y su composición; sin embargo, de lo obtenido por el geotermómetro GGIMFs de Frenzel et al. (2016) se observa para Soloco una fuerte correlación entre la temperatura y la composición de Ag, siendo mayor el contenido a mayor temperatura. No se observa correlación para los contenidos de Ag en las demás esfaleritas. Tanto para Florcita como para Soloco los datos de contenido de Ga e In en esfalerita son insuficientes como para establecer una correlación entre ellos y la temperatura de homogenización.

CAPÍTULO VI DISCUSIÓN

En Cañón Florida, tras una dolomitización diagenética existe un primer evento de esfalerita y galena (diseminadas) asociado a precipitación termoquímica como consecuencia de la interacción con materia orgánica. Posteriormente un evento de dolomitización hidrotermal generó la porosidad secundaria necesaria para el relleno del evento principal de mineralización de esfalerita y galena. Estos eventos fueron seguidos de precipitación de calcitas tardías, a manera de relleno y en vetillas. En Cañón Florida, la piritita marca el estadio previo a la precipitación de esfalerita y galena. Respecto al contenido de Ge, este se asocia al estilo de mineralización semimasivo y a tamaños de cristal en torno a 4 mm, así como a esfaleritas de colores zonados naranja – amarillento. El color de la esfalerita con contenidos altos de Ge en Florcita es también zonado naranja – amarillento, por lo que se puede concluir que hay una relación entre el contenido de Ge y el color de las esfaleritas. El contenido de Fe aumenta a mayores temperaturas de homogenización y guarda una correlación inversa con el contenido de Ge (esto ha sido señalado también por Höll *et al.*, 2007), además, las esfaleritas con un mayor contenido de Fe tienen un color marrón. La composición de la esfalerita detectada mediante microsonda electrónica en Soloco es similar (aunque ligeramente mayor en lo que respecta a Ga, In y Ag) a la composición de las esfaleritas de Florcita. En Florcita la mineralización está emplazada en brechas polimícticas (calizas y areniscas) siendo el cemento conformado por calcita y dolomita. El nivel de emplazamiento es en la Formación Condorsinga y en el Grupo Goyllarisquizga. En Soloco se tienen afloramientos predominantemente de calizas oolíticas packstone, micríticas y grainstones con brechas monomícticas (calizas) de cemento conformado por carbonatos, diseminación de piritita e intensa oxidación. No hay evidencias macroscópicas de presencia

de zinc; sin embargo, el análisis de microsonda ha detectado esfalerita en contenidos trazas. La mineralización es similar a Florcita en lo que respecta a la presencia de brechas y cemento de calcita y dolomita; sin embargo, en Soloco los contenidos de esfalerita son muy bajos, no reconocibles de visu. Composicionalmente, las esfaleritas y galenas de Cañón Florida, Florcita y Soloco no albergaron Co y Ni, lo que habría reforzado una hipótesis de fuente magmática – hidrotermal para los fluidos. Las asociaciones geoquímicas en las esfaleritas de Cañón Florida (tanto para el sector Karen Milagros como para el sector San Jorge) se dan en 2 *clusters* principales, siendo para Karen Milagros la asociación (Zn – S – Fe – Se) – (Cu – Cd) y los subproductos asociados (Ga – Ge – Ag) – (Sn – Hg) – (In – Pb – Sb) y para San Jorge (Zn – S – Fe – S – Cd) – Cu – Se y sus subproductos asociados (Ga – Ge – Ag) – (Sb – Pb) – (Hg – Sn – In). Las asociaciones geoquímicas para Florcita se dan en 2 *clusters* principales, distintos a Cañón Florida en lo que respecta al Ge y Cu: (Zn – S – Fe – Se – Cd) – Ge y para subproductos asociados (Ag – In) – (Cu – Ga) – (Sn – Pb). Estas asociaciones, tales como la asociación Cu – Ga – (+Ge) han sido reconocidas, por ejemplo, en las esfaleritas del MVT Middle Tennessee Mine por Bonet *et al.* (2014), mientras que la asociación Fe – Cd fue observada por el mismo autor para el MVT East Tennessee Mine. Este hecho permite evidenciar cómo a escala distrital se presentan distintas asociaciones geoquímicas en la composición de las menas. Para Soloco las asociaciones se dan en 2 *clusters* principales distintos a Cañón Florida y Florcita; sin embargo, los *clusters* secundarios dentro de los *clusters* principales sí muestran similitud con Cañón Florida: (Zn – S – Fe – Se – Cd) – (Ag – Ge – Ga) y (Sn – In) – Hg – Sb. La asociación entre Ge – Ga – Ag se observa tanto para Cañón Florida como para Soloco. Para Florcita, el Ge se asocia más al Zn, la Ag al In y el Cu al Ga. Estas asociaciones distintas en Florcita sugieren la ocurrencia de un evento hidrotermal de naturaleza distinta a lo sucedido en Cañón Florcita o Soloco, La microtermometría de inclusiones fluidas, a su vez, para Cañón Florida, muestra un continuo entre las esfaleritas de Karen Milagros, San Jorge y los carbonatos tardíos (calcita II y calcita III), lo que sugiere que los fluidos, desde Karen Milagros (sector norte de Cañón Florida) hacia San Jorge (sector sur de Cañón Florida) han ido diluyéndose (posiblemente por mezcla con reservorios de aguas meteóricas, a contrastar mediante geoquímica isotópica de C y O por estudios posteriores) y aumentando su temperatura, posiblemente por influencia termal de cuerpos ígneos, siendo que para contrastar influencia magmática – hidrotermal en lo que respecta a la composición son necesarios estudios isotópicos. Al respecto, resultados isotópicos de De Oliveira *et al.* (2019)

muestran que las composiciones isotópicas muestran que la precipitación de sulfuros se dio como resultado de mezcla de fluidos asociados a domos salinos; es decir, fluidos de cuencas sedimentarias, lo que descarta una fuente magmática – hidrotermal. La asociación de la mineralización a inyecciones de evaporitas (brechas evaporíticas tectónicas) generando un marcado control estructural en Cañón Florida ya ha sido señalado por Robles (2018). Otro factor que podría sugerir fuente magmática – hidrotermal es la presencia de boulangerita; sin embargo, la presencia de sulfosales como la boulangerita en yacimientos de tipo MVT ya ha sido reconocida por Foltyn *et al.* (2019). La tendencia de migración de fluidos reconocida, a escala de depósito, de norte a sur, se ve a su vez a escala de sectores del depósito tales como la sección esquemática presentada en la figura 5.58 de Karen Milagros o la sección esquemática presentada en la figura 5.59 de San Jorge, en la cual se aprecia una tendencia de migración de fluidos desde el noreste al suroeste. En Soloco, las inclusiones fluidas de las calcitas (salvo un grupo de inclusiones de la calcita II que se encuentran en el rango de MVT) se encuentran en su totalidad en el rango de sistema epitermal, con temperaturas elevadas y salinidades bajas; sin embargo, dado que en Cañón Florida, con las inclusiones fluidas de los carbonatos de la secuencia paragenética y de las esfaleritas, se ha podido observar un continuo que hacia los estadios finales de la secuencia paragenética tienden a diluirse en contenido de NaCl equivalente y aumentar en temperatura, el comportamiento de las inclusiones fluidas en Soloco puede responder a la misma tendencia de evolución de fluidos a través de la secuencia paragenética de precipitación. Field *et al.* (2020) encontró que las temperaturas de homogenización de los yacimientos más grandes eran mayores que los yacimientos más pequeños. Este hecho es coincidente con las altas temperaturas obtenidas para las fases tardías de Cañón Florida. Sin embargo; el prospecto Soloco presenta altos valores de temperaturas de homogenización. Field *et al.* (2020) concluyó a su vez que estas diferencias no eran suficientes como para establecerlas como discriminante de tamaño de depósito.

Höll *et al.* (2007) realiza una compilación de contenido de germanio en esfalerita, en menas de zinc, y en concentrados de zinc en distintos tipos de yacimientos. Esta compilación se presenta en la tabla 6.1.

Tabla 6. 1

Contenido de germanio en esfalerita (ef), menas de zinc (mz) y concentrados de menas de zinc (cmz) en yacimientos hidrotermales

Tipo de yacimiento y localidad	n	Ge [ppm]	Referencia
--------------------------------	---	----------	------------

			Rango		Promedio	
			Mínimo	Máximo		
VHMS Cu—Zn(—Pb)(—Ba)						
Alto del Pacífico Este 21° N	mz	2	65	100		Bischoff et al. (1983)
Dorsal Juan de Fuca	mz	2	27	120		Bischoff et al. (1983)
Rift de Galápagos	mz	1			270	Bischoff et al. (1983)
Monte submarino Palinuro, Mar Tirreno	mz	3	20	46	33	Tufar (1992)
Depósitos de tipo Kuroko, Japón	ef	132	< 3	370	66	Ando (1964)
Mina Bousquet 2, Quebec, Canadá	mz	2	< 10	85		Tourigny et al. (1993)
Norte de Noruega	ef	10	< 1	5		Oftedal (1941)
Distrito de Skellefte, Suecia	ef	32			10	Gabrielson (1945)
VHMS Paleozoicos Alpinos	ef	5	< 1	16		Schroll (1954)
Ag—Pt—Zn(—Cu) vetiformes						
Freiberg, Alemania	ef	9	0.6	1300		Schron (1968)
Bad Grund, Alemania	ef	12	16	110		Moller y Dulski (1993)
Příbram, República Checa	ef	3	1	1000		Schroll (1954)
Noailhac — Saint—Salvy, Francia						
Estratiforme	ef	17		700		Barbanson y Geldron (1983)
Vetas	ef	16	300	3000		Barbanson y Geldron (1983)
	cmz				750	Barbanson y Geldron (1983)
Zn—Pb—Cu(—Ba) en rocas sedimentarias						
Meggen, Alemania	ef	1			10	Schroll (1954)
Rammelsberg, Alemania	ef	1			3	Schroll (1954)
Graz Paleozoic, Austria	ef	4			<10	Schroll (1997)
Red Dog Mine, Alaska, EE.UU.	cmz				60	Schmidt (1997)
MVT Zn—Pb						
Upper Mississippi Valley, EE.UU.	ef	6	< 20	250		Hall y Heyl (1968)
Missouri Central, EE.UU.	ef	20	2	300	46	Viets et al. (1992)
Southeast Missouri, EE.UU.	ef	154			11	Hagni (1983)
Viburnum Trend, EE.UU.	ef	21	5	600		Viets et al. (1992)
East Tennessee, EE.UU.	ef	13			60	Hagni (1983)
Elmwood—Gordonsville, Tennessee, EE.UU.	cmz				400	Misra et al. (1996)
San Vicente, Perú	ef	357	< 0.25	1861	191	Torró et al. (2023)
Benue Trough, Nigeria	ef	13	42	220		Olade y Morton (1985)
Fankou, China	ef	12	30	170		Song (1984)
Pomerzany, Polonia	ef	9	30	800	85	Sass-Gustkiewicz (2001)
					50 (mediana)	Sass-Gustkiewicz (2001)
Zn—Pb de tipo Irlandés						
Tynagh, Irlanda	ef	11	1	27		Schroll (unpubl.)
Navan, Irlanda	ef	3	1	72		Schroll (unpubl.)
Zn—Pb de tipo Alpino						
Bleiberg, Austria	ef	146	22	1500		Cerny y Schroll (1985)
	cmz				193	Cerny y Schroll (1985)
Mežica, Eslovenia	ef	41	20	1100		Schroll (unpubl.)
	cmz				190	Schroll (unpubl.)
Cave di Predil (Raibl)/Italia	ef	23	2	3000		Schroll (unpubl.)

*Tomado y modificado de Höll *et al.* (2007)

Para Cañón Florida, el rango de contenido de Ge en esfalerita va desde debajo del límite de detección hasta 1484 ppm. Para Florcita, el rango de contenido de Ge en esfalerita va desde debajo del límite de detección hasta 1037 ppm. Para Soloco, el rango de contenido de Ge en esfalerita va desde debajo del límite de detección hasta 984 ppm. Los valores máximos recopilados por Höll *et al.* (2007) para yacimientos tipo MVT (San Vicente, Pomerzany), Zn – Pb de tipo Alpino (Bleiberg, Mežica) coinciden con los máximos contenidos de Ge en esfaleritas de los MVT de la región Amazonas.

Respecto a la cantidad de muestras empleadas para realizar las interpretaciones, una mayor densidad de muestreo, distribuida de manera sistemática, y de análisis de microsonda electrónica permitirá a estudios posteriores, de particular interés para el proyecto Cañón Florida, dimensionar los cuerpos que contienen los mayores valores de Ge y otros subproductos tales como la Ag, para así evaluar la rentabilidad de su recuperación, considerando la proyección alcista de la demanda de elementos estratégicos asociados a la producción de tecnologías limpias. Una limitación de esta investigación fue el no realizar análisis de composición geoquímica mineral mediante ablación laser con plasma inductivamente acoplado (LA ICP – MS) que hubiera permitido obtener resultados de hasta décimas de ppm, en vez del alto límite de detección de la microsonda electrónica para los principales elementos a evaluar, tales como el Ge (límite de detección de 60 ppm). Estos resultados hubieran permitido realizar análisis multivariado prescindiendo del índice de Jaccard y empleando matrices de covarianza para realizar Análisis de Componentes Principales. El no conocer los valores por debajo del límite de detección tampoco ha permitido reconocer si existen diferentes poblaciones asociadas a estos valores bajos. La ausencia de mapeo composicional por microsonda electrónica, a su vez, impide una asociación espacial de las lecturas dentro del mineral, imposibilitando la obtención de perfiles composicionales y reconocimiento de zonación composicional. Otra limitación de la investigación, en lo concerniente al aspecto técnico del método, es la dificultad de obtención de características microtermométricas mediante el calentamiento y enfriamiento de inclusiones fluidas, esto debido a que minerales birrefringentes como la calcita dificultan su reconocimiento, o minerales oscuros como una esfalerita rica en Fe o una dolomita que no sea hialina imposibilitan el reconocimiento visual de estas inclusiones. Adicionalmente, la inferencia composicional en porcentaje en

peso equivalente de cloruro de sodio tiene restricciones para temperaturas de fusión inferiores a $-21.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, las cuales se explicarían a través de un sistema rico en cloruro de calcio, por lo que determinar la composición del sistema es crucial para una completa interpretación de las características microtermométricas tales como la temperatura de homogenización y temperatura de fusión. Estas mediciones composicionales podrían ser obtenidas mediante espectroscopía Raman, y un sistema confocal permitiría un estudio sistemático de la variación espacial de las inclusiones fluidas pudiendo reconocer la composición de las familias de inclusiones fluidas (FIAs). Estas composiciones podrían correlacionarse con mapeos composicionales minerales mediante microsonda electrónica o LA ICP – MS para obtener conclusiones más robustas.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

- En Cañón Florida existe una relación entre el estilo de mineralización masivo y semimasivo con las asociaciones geoquímicas Ag – Pb y Ga – Cd – Zn en roca total. Respecto a contenidos de elementos estratégicos, la geoquímica de roca total muestra que, en Cañón Florida no hay contenidos detectables de Ge ni de In, y no hay valores económicos de Ga. En Florcita, existe una relación entre los sulfuros con las asociaciones de Cd – Zn. No se han detectado contenido de Ge. Los contenidos de In y Ga no son económicos. En Soloco existe una relación entre esfalerita diseminada presente en el cemento y clastos de las brechas con asociaciones de Ba – Cd. No se han detectado contenido de Ge, In y Ag, ni valores económicos de Ga.
- La geoquímica mineral por microsonda electrónica muestra que, en Cañón Florida, las esfaleritas que presentan estilo de mineralización semimasivo y son anhedrales a subhedrales, que tienen tamaños de cristal en torno a 4 mm y que tienen colores zonados naranjas – amarillentos, tienen una relación directa con los contenidos más altos de Ge (hasta 1484 ppm o 0.15%). El Ga no guarda relación con las características petromineralógicas. El In se encuentra en su mayoría por debajo del límite de detección, por lo que no se pueden inferir sus relaciones respecto a otras características. En Florcita, las esfaleritas de colores zonados naranjas – amarillentos presentan los mayores valores de Ge (hasta 1037 ppm), Ga, In, Ag y Cd. En Soloco, dado que los cristales de esfalerita han sido reconocidos a escala microscópica, no se puede asociar sus características petromineralógicas a su composición. El Ge ha alcanzado valores de 984 ppm,

mientras que los mayores contenidos de Ga, In y Ag son ligeramente más altos que los mayores contenidos de Florcita.

- Las asociaciones geoquímicas en las esfaleritas de Cañón Florida (tanto para el sector Karen Milagros como para el sector San Jorge) se dan en 2 *clusters* principales, siendo para Karen Milagros presente la asociación (Zn – S – Fe – Se) – (Cu – Cd) y para los subproductos asociados (Ga – Ge – Ag) – (Sn – Hg) – (In – Pb – Sb). Para San Jorge está presente la asociación (Zn – S – Fe – S – Cd) – Cu – Se y para los subproductos asociados (Ga – Ge – Ag) – (Sb – Pb) – (Hg – Sn – In). En Florcita las asociaciones geoquímicas se dan en 2 *clusters* principales, distintos a Cañón Florida en lo que respecta al Ge y Cu: (Zn – S – Fe – Se – Cd) – Ge y para subproductos asociados (Ag – In) – (Cu – Ga) – (Sn – Pb). Para Soloco las asociaciones se dan en 2 *clusters* principales distintos a Cañón Florida y Florcita; sin embargo, los *clusters* secundarios dentro de los *clusters* principales sí muestran similitud con Cañón Florida: (Zn – S – Fe – Se – Cd) – (Ag – Ge – Ga) y (Sn – In) – Hg – Sb. La asociación entre Ge – Ga – Ag se observa tanto en la esfalerita de Cañón Florida como para la esfalerita de Soloco. Para Florcita, el Ge en esfalerita se asocia más al Zn, la Ag al In y el Cu al Ga. La asociación geoquímica Ga-Hg-Zn se da en todas las piritas (Cañón Florida, Florcita y Soloco). La asociación Ge-In se encuentra en la pirita de Florcita. La asociación Cd-In y Ge-Ag se encuentran en la pirita II de Soloco.
- La microtermometría de inclusiones muestra continuidad entre las esfaleritas de Karen Milagros, San Jorge y los carbonatos tardíos (calcita II y calcita III), lo que sugiere que los fluidos, desde Karen Milagros (sector norte de Cañón Florida) hacia San Jorge (sector sur de Cañón Florida) han ido diluyéndose y aumentando de temperatura. Este aumento de temperatura puede deberse a nuevos pulsos de fluidos hidrotermales. En Florcita se observan características similares tanto para esfalerita I en lo que respecta a Th, salinidades, color, estilo de mineralización, abundancia, tamaño e idiomorfismo, por lo que no se puede establecer una relación entre los indicadores petrominerafícos y las características microtermométricas. En Soloco se observa que no existe ninguna relación aparente entre las características microtermométricas de las calcitas de Soloco

respecto a sus características petromineralógicas, ya que no se observa ninguna tendencia a una variación directa o inversamente proporcional entre las variables.

- En Cañón Florida el contenido de Ge aumenta con el descenso de temperatura en la secuencia paragenética. El Geotermómetro de Frenzel, validado con las inclusiones fluidas medidas directamente en este trabajo, muestra que el control de la temperatura es más marcado para el sector San Jorge que para el sector Karen Milagros; sin embargo, en ambos casos, la distribución espacial de inclusiones fluidas medidas directamente de esfaleritas y dolomitas muestra el control de la temperatura en la composición de Ge. Se observa una inclusión fluida de 330°C espacialmente asociada a la muestra con los mayores más altos de Ge en Karen Milagros. Esto evidenciaría la influencia tardía de una fuente de calor asociada a este sector del depósito, mas no guardaría relación con el contenido de Ge, ya que se ha evidenciado que éste se asocia a bajas temperaturas del sistema original. En Florcita, el geotermómetro de Frenzel muestra el marcado control entre la temperatura de homogenización versus el contenido de Ge, aumentando el contenido de Ge con el descenso de temperatura, lo que marca a su vez las fases minerales más tardías en la secuencia paragenética. En Soloco, de lo obtenido a través del Geotermómetro de Frenzel, se observa que la esfalerita presenta una buena correlación entre la temperatura de homogenización y la composición de Ag, siendo mayor el contenido a mayor temperatura. En los tres yacimientos, el contenido de Zn no guarda relación con la temperatura, lo que evidencia la necesidad de realizar estudios tales como las inclusiones fluidas y la microsonda electrónica para poder vectorizar a escala de depósito los elementos estratégicos de interés a manera de posibles subproductos.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

- Realizar una recolección de mayor cantidad de muestras de sondajes correspondientes al Proyecto Florcita y Soloco para realizar una comparación más robusta en comparación con Cañón Florida,
- Llevar a cabo una revisión exhaustiva de sondajes en Cañón Florida y Florcita que permita identificar la posible presencia de diques u otros cuerpos subvolcánicos, tal como se ha reconocido en el yacimiento San Vicente en el centro del Perú.
- Realizar estudios complementarios de LA – ICP – MS para obtener mayor cantidad de lecturas por debajo del límite de detección de la microsonda electrónica y poder realizar interpretaciones estadísticas más robustas.
- Realizar análisis geoquímicos de roca total que comprendan al Ge entre los elementos a analizar.
- Realizar estudios complementarios de microsonda electrónica a las esfaleritas de la paragénesis que no conforman la mineralización principal, para mejorar el conocimiento referente a la distribución de Ge en la paragénesis.
- Incluir el Mn en la relación de elementos a analizar por microsonda electrónica, con el propósito de poder optimizar la temperatura de homogenización obtenida a partir del geotermómetro de Frenzel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baes, C., y Mesmer, R. (1986). *The Hydrolysis of cations*. Robert E. Krieger Publishing Company.
- Basuki, N. I., y Spooner, E. T. C. (2009). Post-Early Cretaceous Mississippi Valley-type Zn-Pb Mineralization in the Bongara Area, Northern Peru: Fluid Evolution and Paleo Flow from Fluid Inclusion Evidence. *Exploration and Mining Geology*, 18(1-4), 25-39. <https://doi.org/10.2113/gsemg.18.1-4.25>
- Belissant, R., Boiron, M.-C., Luais, B., y Cathelineau, M. (2014). LA-ICP-MS analyses of minor and trace elements and bulk Ge isotopes in zoned Ge-rich sphalerites from the Noailhac – Saint-Salvy deposit (France): Insights into incorporation mechanisms and ore deposition processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 126, 518-540. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.10.052>
- Benavides-Cáceres, V. E. (1956). *Cretaceous system in Northern Peru*. <http://hdl.handle.net/2246/1023>
- Bernstein, L. R. (1985). Germanium geochemistry and mineralogy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49(11), 2409-2422. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90241-8](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90241-8)
- Bodnar, R. J. (1994). Synthetic fluid inclusions: XII. The system H₂O-NaCl. Experimental determination of the halite liquidus and isochores for a 40 wt% NaCl solution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(3), 1053-1063. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90571-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90571-1)

- Bodnar, R. J. (2003a). Capítulo 1: Introduction to fluid inclusions. En *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation* (Samson I., Anderson A., Marshall D. 2003, pp. 1-8). Mineral. Assoc. of Canada.
- Bonnet, J., Mosser, R., André-Mayer, A.-S., Cauzid, J., y Bailly, L. (2014). Germanium Distribution in Sphalerite from North-East America MVT Deposits: A Multiscale Study. *Acta Geologica Sinica - English Edition*, 88(s2), 437-439. https://doi.org/10.1111/1755-6724.12373_12
- Broggi, J. A. (1942). *Geología del embalse del río Chotano en Lajas*. Sociedad Geológica del Perú - SGP.
- Brown, J. S. (1970). Mississippi Valley Type lead-zinc ores. *Mineralium Deposita*, 5(2), 103-119. <https://doi.org/10.1007/BF00208056>
- Cabrera la Rosa, A., y Petersen, G. (1936). *Reconocimiento geológico de los yacimientos petrolíferos del departamento de Puno*. Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú.
- Camprubí, A. (2010). *Criterios para la exploración minera mediante microtermometría de inclusiones fluidas*. 62(1), 25-42.
- Carlotto Caillaux, V. S. (2004). *Evolución tectónica y sedimentaria de la Cuenca Mitu (Permo-Triásico) de la región de Abancay-Cusco-Sicuani (Sur del Perú)* (J. D. Cárdenas Roque, G. Carlier, E. Díaz Martínez, L. M. Cerpa Cornejo, P. A. Valderrama Murillo, y T. Robles, Eds.). <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3457>
- Carlotto Caillaux, V. S., Acosta Pereira, H., y Quispe Cangana, J. L. (2009). *Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú* (R. Rodríguez Mejía, D. Romero Fernández, L. M. Cerpa Cornejo, M. I. Mamani Huisa, E. Díaz Martínez, P. A. Navarro Colque, F. Jaimes Salcedo, K. T. Velarde Loayza, S. Lu León, y E. Cueva Tintaya, Eds.; Vol. 103). Boletín de la Sociedad Geologica del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3499>

- Cook, N. J., Ciobanu, C. L., Pring, A., Skinner, W., Shimizu, M., Danyushevsky, L., Saini-Eidukat, B., y Melcher, F. (2009). Trace and minor elements in sphalerite: A LA-ICPMS study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73(16), 4761-4791. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2009.05.045>
- Dalmayrac, B. (1988). *Caracteres generales de la evolución geológica de los Andes Peruanos*—[Boletín D 12] (G. Laubacher y R. Marocco, Eds.). INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/331>
- De Oliveira, S. B., Juliani, C., Monteiro, L. V. S., y Tassinari, C. C. G. (2020). Structural control and timing of evaporite-related Mississippi Valley-type Zn–Pb deposits in Pucará Group, northern central Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 103, 102736. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102736>
- De Oliveira, S. B., Leach, D. L., Juliani, C., Monteiro, L. V. S., y Johnson, C. A. (2019). The Zn-Pb Mineralization of Florida Canyon, an Evaporite-Related Mississippi Valley-Type Deposit in the Bongará District, Northern Peru. *Economic Geology*, 114(8), 1621-1647. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4690>
- Díaz-Martínez, E., Mamet, B., Isaacson, P. E., y Grader, G. W. (2000). Permian marine sedimentation in northern Chile: New paleontological evidence from the Juan de Morales Formation, and regional paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 13(6), 511-525. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00043-2)
- Dunbar, C. O., y Newell, N. D. (1946). Marine early Permian of the central Andes and its fusuline faunas; Part II. *American Journal of Science*, 244(7), 457-491.
- Dunham, K. C. (1966). Role of juvenile solutions, connate waters and evaporitic brines in the genesis of lead zinc-fluorine-barium deposits. *Transactions, Institution of Mining and Metallurgy*, 75, 226-229.

- Field, J. D., Appold, M. S., Coveney, R. M., y Bodnar, R. J. (2020). Geochemical characteristics of trace occurrences of Mississippi Valley-type mineralization in the U.S. mid-continent: Implications for deposit growth. *Journal of Geochemical Exploration*, 213, 106514. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106514>
- Foltyn, K., Bertrandsson, E., Melcher, F., Onuk, P., y Piestrzynski, A. (2019). *LA-ICP-MS trace elements study of sphalerite from the MVT Cracow-Silesia district, Poland. 1*, 447-450.
- Fontboté, L., y Boni, M. (1994). Sediment-Hosted Zinc-Lead Ores—An Introduction. En L. Fontboté y M. Boni (Eds.), *Sediment-Hosted Zn-Pb Ores* (pp. 3-12). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03054-7_1
- Goldstein, R. H., y Reynolds, T. J. (Eds.). (1994). Introduction to Fluid Inclusions and their Applications. En *Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals* (Vol. 31, p. 0). SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.2110/scn.94.31.0001>
- Haerberlin, Y. (2002). *Geological and structural setting, age, and geochemistry of the orogenic gold deposits at the Pataz Province, Eastern Andean Cordillera, Peru*. <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:223>
- Hall, D. L., Sterner, S. M., y Bodnar, R. J. (1988). Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions. *Economic Geology*, 83, 197-202.
- Heyl, A. V. (1983). *Geologic characteristics of three Mississippi Valley-Type districts*. 27-60.
- Hinzer, K. (1996). *Characterization of oscillatory zoning in sphalerite* [B.Sc. Thesis]. University of Ottawa.
- Hitzman, M., y Large, D. (1986). A review and classification of the Irish carbonate-hosted base metal deposits. En *Geology and genesis of mineral deposits in Ireland* (C. Andrew, R. Crowe, S. Finlay, W. Pennell, J. Pyne, pp. 217-238). Irish Association for Economic Geology.

- Huacane Mullisaca, S. (2001). *Geología y proyecto de exploraciones del manto Florcita— Amazonas*.
- Jacay, J. P. (2005). Análisis de los depósitos de corrientes de alta densidad de la Formación Puente (Cuenca de Arequipa), Sur del Perú. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 8(16), 51-56.
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v8i16.709>
- Jacay, J., Sempéré, T., Carlier, G., y Carlotto, V. (1999). Late Paleozoic-early Mesozoic plutonism and related rifting in the Eastern Cordillera of Peru. *Géodynamique Andine : Résumés Étendus = Andean Geodynamics : Extended Abstracts = Geodinamica Andina : Resumenes Expandidos*, 358-363. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010022672>
- Jaillard, E. (1992). *La fase peruana (Cretáceo superior) en la margen peruana* (Vol. 83). Sociedad Geológica del Perú - SGP.
- Jamtveit, B., y Meakin, P. (1999). *Growth, dissolution and pattern formation in geosystems*. Springer.
- Kontak, D. J., Clark, A. H., Farrar, E., y Strong, D. (1985). The rift associated Permo-Triassic magmatism of the Eastern Cordillera: A precursor to the Andean orogeny. En *Magmatism at a plate edge: The Peruvian Andes* (pp. 36-44). Glasgow: Blackie.
- Kummel, B. (1946). *Estratigrafía de la región de Santa Clara. Ucayali*. Sociedad Geológica del Perú.
- Laubacher, G. (1978). *Géologie de la Cordillère Orientale et de l'Altiplano au nord et nord-ouest du lac Titicaca (Pérou)*. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/Tra_d_cm/09864.pdf
- Leach, D. L. (1994). Genesis of the Ozark Mississippi Valley-Type Metallogenic Province, Missouri, Arkansas, Kansas, and Oklahoma, USA. En L. Fontboté y M. Boni (Eds.),

Sediment-Hosted Zn-Pb Ores (pp. 104-138). Springer Berlin Heidelberg.

https://doi.org/10.1007/978-3-662-03054-7_8

Leach, D. L., Bradley, D., Lewchuk, M. T., Symons, D. T., de Marsily, G., y Brannon, J. (2001). Mississippi Valley-type lead–zinc deposits through geological time: Implications from recent age-dating research. *Mineralium Deposita*, 36(8), 711-740.

<https://doi.org/10.1007/s001260100208>

Leach, D. L., Taylor, R. D., Fey, D. L., Diehl, S. F., y Saltus, R. W. (2010). *A deposit model for Mississippi Valley-Type lead-zinc ores* (Report 2010-5070A; Scientific Investigations Report). USGS Publications Warehouse. <https://doi.org/10.3133/sir20105070A>

L'Heureux, I., y Fowler, A. D. (1999). *Branching and Oscillatory Patterns in Plagioclase and Mississippi-Valley Type Sphalerite Deposits*.

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:127746698>

Macfarlane, A. W., Marcet, P., LeHuray, A. P., y Petersen, U. (1990). Lead isotope provinces of the Central Andes inferred from ores and crustal rocks. *Economic Geology*, 85(8), 1857-1880. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.8.1857>

Marchena, A., y Chira, J. (2023). Geoquímica mineral de elementos estratégicos mediante Microsonda Electrónica del proyecto Cañón Florida-región Amazonas, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 2136-2156.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6338

McLaughlin, D. H. (1924). Geology and Physiography of the Peruvian Cordillera, Departments of Junin and Lima. *GSA Bulletin*, 35(3), 591-632.

<https://doi.org/10.1130/GSAB-35-591>

McLimans, R. K., Barnes, H. L., y Ohmoto, H. (1980). Sphalerite stratigraphy of the upper Mississippi Valley zinc-lead district, southwest Wisconsin. *Economic Geology*, 75(3), 351-361. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.75.3.351>

- Mégard, F. (1978). *Etude géologique des Andes du Pérou Central, contribution a l'étude géologique des Andes N° 1*. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. [MO-86.pdf](#)
- Mégard, F. (1984). The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru. *Journal of the Geological Society*, 141(5), 893-900. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.141.5.0893>
- Mišković, A., Spikings, R. A., Chew, D. M., Košler, J., Ulianov, A., y Schaltegger, U. (2009). Tectonomagmatic evolution of Western Amazonia: Geochemical characterization and zircon U-Pb geochronologic constraints from the Peruvian Eastern Cordilleran granitoids. *GSA Bulletin*, 121(9-10), 1298-1324. <https://doi.org/10.1130/B26488.1>
- Misra, K. C. (2000). *Understanding mineral deposits*. Kluwer Academic Publishers.
- Mondillo, N., Arfè, G., Herrington, R., Boni, M., Wilkinson, C., y Mormone, A. (2018). Germanium enrichment in supergene settings: Evidence from the Cristal nonsulfide Zn prospect, Bongará district, northern Peru. *Mineralium Deposita*, 53(2), 155-169. <https://doi.org/10.1007/s00126-017-0781-1>
- Nash, J. T. (1976). *Fluid-Inclusion Petrology—Data from Porphyry Copper Deposits and Applications to Exploration* (Report 907D; Professional Paper). USGS Publications Warehouse. <https://doi.org/10.3133/pp907D>
- Newell, N. D., y Chronic, B. J. (1953). *Upper Paleozoic of Peru*. Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/MEM58>
- Noble, D., McKee, E., y Mégard, F. (s. f.). Eocene uplift and unroofing of the coastal batholith near Lima, central Peru. *J. Geol.*, 403-405.
- Oldstein, R., y Reynolds, T. (1994). Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short course*(31).

- Pankhurst, R. J., Riley, T. R., Fanning, C. M., y Kelley, S. P. (2000). Episodic Silicic Volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of Magmatism Associated with the Break-up of Gondwana. *Journal of Petrology*, 41(5), 605-625. <https://doi.org/10.1093/petrology/41.5.605>
- Potter II, R. W. (1977). Pressure corrections for fluid-inclusion homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, 5(5), 603-607. USGS Publications Warehouse.
- Quispe, L., y Torres, V. (2019). *GE33B-6: Estudio Metalogenético de las calizas del Grupo Pucará, asociados a los depósitos minerales MVT: norte del Perú*. INGEMMET.
- Ramos, V., y Aleman, A. (2000). Tectonic Evolution of the Andes. En *Tectonic evolution of South America* (pp. 635-685).
- Reitsma, M. J. (2012). *Reconstructing the Late Paleozoic: Early Mesozoic plutonic and sedimentary record of south-east Peru: Orphaned back-arcs along the western margin of Gondwana*. <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:23095>
- Rivera Mantilla, H. (2007). *Introducción a la geoquímica general y aplicada* (2a ed.). Gráfica Retai.
- Robles, I. (2018). *Geología y mineralización del depósito Mississippi Valley Type de Zn-Pb: Proyecto Cañón Florida, Norte del Perú* [Tesis de posgrado]. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Rodríguez Mejía, R., Cueva Tintaya, E., Giraldo, E., Cornejo, T., y Sánchez, E. (2012). *Geología del cuadrángulo de Chachapoyas (13h)*. INGEMMET.
- Roedder, E. (1963). Studies of fluid inclusions; [Part] 2, Freezing data and their interpretation. *Economic Geology*, 58(2), 167-211. Scopus. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.58.2.167>
- Roedder, E. (1968). The non-colloidal origin of «colloform» textures in sphalerite ores. *Economic Geology*, 63(5), 451-471. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.63.5.451>

- Romeuf, N. (1994). *Volcanisme jurassique et metamorphisme en Equateur au Pérou: Caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et géochimiques—Implications géodynamiques*. [Reg-152.pdf](#)
- Romeuf, N., y Munch, P. (1997). *Mise en évidence de deux lignées magmatiques dans le volcanisme du Jurassique inférieur de la zone subandine équatorienne*. [338.pdf](#)
- Rosas, S., y Fontboté, Ll. (1995). *Evolución sedimentológica del Grupo Pucará (Triásico superior-Jurásico) en un perfil SW-NE en el centro del Perú*. Sociedad Geológica del Perú.
- Rosas, S., y Morche, W. (1997). *Vulcanismo de tipo intraplaca en los carbonatos del Grupo Pucará (Triásico superior-Jurásico inferior, Perú central) y su relación con el vulcanismo del Grupo Mitu (Pérmico superior-Triásico)*. Sociedad Geológica del Perú.
- Sánchez Fernández, A. W. (1995). *Geología de los cuadrángulos de Bagua Grande, Jumbilla, Lonya Grande, Chachapoyas, Rioja, Leimebamba y Bolivar. Hojas: 12-g, 12-h, 13-g, 13-h, 13-i, 14-h y 15-h – [Boletín A 56]*. INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/177>
- Sánchez Izquierdo, J. (1998). *Geología de los cuadrángulos de Juscusbamba y Pólvara. Hojas: 16-i y 16-j—[Boletín A 119]* (D. Alvarez Cumpa y A. Lagos Manrique, Eds.). INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/79>
- Schreiber, D. W., Fontbote, L., y Lochmann, D. (1990). Geologic setting, paragenesis, and physicochemistry of gold quartz veins hosted by plutonic rocks in the Pataz region. *Economic Geology*, 85(7), 1328-1347. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.7.1328>
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Jacay, J., Arispe, O., Néraudeau, D., Cárdenas, J., Rosas, S., y Jiménez, N. (2002). Late Permian–Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics.

Andean Geodynamics ISAG 4, 345(1), 153-181. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00211-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00211-6)

Sempere, T., Cotrina, J., y INGEPET, 9. (2018). *An overlooked giant salt basin in Peru*.

PeruPetro. re/RE-Ingepet2018_GEO-EX-TS-10-N.pdf

Shepherd, T. J., Rankin, A. H., y Alderton, D. H. M. (1986). A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. *Mineralogical Magazine*, 50(356), 352-353. Cambridge Core.

<https://doi.org/10.1180/minmag.1986.050.356.32>

Sillitoe, R. H. (1995). *Exploration of porphyry copper lithocaps*. 9, 527-532. TIB-Portal.

<https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLCP%3ACN028400322>

Steinmann, G. (1929). *Geologie von Perú*. Carl Winter Universitäts Buch Handlung.

Sterner, S. M., Hall, D. L., y Bodnar, R. J. (1988). Synthetic fluid inclusions. V. Solubility

relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapor-saturated conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(5), 989-1005. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(88\)90254-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90254-2)

Torró, L., Millán-Nuñez, A. J., Benites, D., González-Jiménez, J. M., Laurent, O., Tavazzani,

L., Vallance, J., Chelle-Michou, C., Proenza, J. A., Flores, C., Melgarejo, J. C., Rosas, S.,

y Fontboté, L. (2023). Germanium- and gallium-rich sphalerite in Mississippi Valley-type deposits: The San Vicente district and the Shalipayco deposit, Peru. *Mineralium*

Deposita, 58(5), 853-880. <https://doi.org/10.1007/s00126-023-01160-4>

Vaughan, D. J., y Craig, J. R. (1994). *Ore Microscopy and Ore Petrography* (2nd ed.). John

Wiley y Sons Ltd.

White, W. M., y Casey, W. H. (2018). *Encyclopedia of geochemistry: A comprehensive*

reference source on the chemistry of the earth. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39312-4>

Wilson, J. J., y Reyes Rivera, L. (1964). *Geología del cuadrángulo de Pataz (Hoja 16-h)*.

Comisión Carta Geológica Nacional.

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/169>

Yardley, B. W. D. (2005). Metal Concentrations in Crustal Fluids and Their Relationship to

Ore Formation. *Economic Geology*, 100(4), 613-632.

<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.100.4.613>

Zegarra, J., y Olachea, J. (1970). *Observaciones Geológicas del Cretáceo marino en el Nororiente Peruano*. Primer Congreso Latinoamericano de Geología, Lima.