



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

FACTORES GEOQUÍMICOS Y MINERALÓGICOS CONDICIONANTES DE LA
SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DEL PLUTÓN LA GLORIA, E IMPLICANCIAS
PETROLÓGICAS: EVIDENCIAS DE EXTRACCIÓN TARDÍA DE MATERIAL
DIFERENCIADO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

ÁLVARO ARAVENA PONCE

PROFESOR GUÍA:

FRANCISCO GUTIÉRREZ FERRER

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MIGUEL ÁNGEL PARADA REYES
CÉSAR ARRIAGADA ORTEGA

SANTIAGO DE CHILE

2014

I RESUMEN

La susceptibilidad magnética (K) corresponde al grado de magnetización que adquiere un material en respuesta a un campo magnético externo y ha sido ampliamente utilizada en el estudio de intrusivos andinos. Sin embargo, la interpretación de esta propiedad magnética se ve obstaculizada por el limitado conocimiento existente sobre los factores geoquímicos y mineralógicos que condicionan el grado de magnetización de las rocas, y resulta necesario identificar el vínculo que presentan estos parámetros. El objetivo de este trabajo, en consecuencia, es establecer la relación existente entre la susceptibilidad magnética y la información geoquímica y mineralógica de un intrusivo en particular: el plutón La Gloria.

El plutón La Gloria, ubicado 40 km al este de Santiago, es una intrusión epizonal de edad Mioceno medio a superior que forma parte de un cinturón N-S de intrusivos granodioríticos a cuarzo-monzoníticos, y exhibe resultados de susceptibilidad magnética típicos de intrusivos de la serie magnetita (mayoritariamente, valores entre $3000 \cdot 10^{-6}$ [SI] y $8000 \cdot 10^{-6}$ [SI]), con un aumento sistemático hacia las paredes y techo del plutón.

El principal factor determinante de la susceptibilidad magnética es la abundancia y distribución de tamaño de la fase magnetita, siendo posible estimar los datos de K a partir una combinación lineal del porcentaje en volumen de los cristales de magnetita, agrupados en clases de acuerdo a su tamaño (los coeficientes de correlación entre la susceptibilidad magnética medida y la estimada son $R = 0,87$ y $R = 0,72$ en la base y el techo del intrusivo, respectivamente). La temperatura de Curié de algunas muestras también evidencia que la magnetización está controlada por la fase magnetita ($(578,0 \pm 1,5)^\circ\text{C}$).

La contribución porcentual de la fase magnetita a la susceptibilidad magnética es menor en el caso de los cristales de diámetro equivalente inferior a 0,3 mm, subgrupo que estaría conformado por miembros de dos poblaciones: una formada durante las primeras etapas de enfriamiento de la cámara magmática (*temprana*, de mayor K) y otra de carácter tardi-magmático (*tardía*, de menor K). Los cristales de mayor tamaño estarían casi exclusivamente conformados por miembros de la población *temprana*. La presencia de ambas poblaciones de cristales habría perturbado la distribución de tamaño de la magnetita, generando un comportamiento fractálico en lugar de la distribución semi-logarítmica observada en otros minerales (plagioclasa, biotita y anfíbola).

Existe una relación directa entre la susceptibilidad magnética y los contenidos de $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{t}}$ y TiO_2 ($R \sim 0,7$ y $R \sim 0,8$, respectivamente); e inversa respecto al porcentaje de SiO_2 ($R \sim 0,7$). Los coeficientes de correlación establecidos no permiten proponer a la susceptibilidad magnética como un indicador confiable de cambios geoquímicos dentro del plutón; lo que sería producto de la utilización de conjuntos independientes de sitios de muestreo y del bajo contraste geoquímico existente en el plutón La Gloria.

Finalmente, a partir del estudio de los patrones de variación espacial de la susceptibilidad magnética, geoquímica y mineralogía magnética del plutón La Gloria, se ha sugerido la ocurrencia de procesos de migración tardía de material diferenciado desde una porción del plutón, en las que habría sido extraído del orden del 17% del material. El transporte habría ocurrido a través de diques capaces de canalizar el líquido residual del magma, a una temperatura de $\sim 750^\circ\text{C}$ y una cristalinidad sobre el 60%.

II AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía Francisco Gutiérrez, por su dedicación, motivación y apoyo en la confección de este trabajo; y por incentivar mis inquietudes geológicas. Del mismo modo, agradezco la ayuda de los profesores Miguel Ángel Parada y César Arriagada, por sus comentarios, correcciones y buena disposición.

A quienes, en base a sus respectivos trabajos, han contribuido al desarrollo de esta memoria: Ítalo Payacán y Denise Pastén.

A Blanca y María Rosa, por hacer que las cosas funcionen.

A la Familia Deportiva Melanterita y a Real Envido, por acoger mi talento deportivo.

A mis compañeros de clases, terrenos, pichangas, truco y dudo (Ácaro, Babi, Caro, Cheke, Chewy, Chino, Chumis, Churris, Cooper, Curotto, Dani Fuentes, Dani Villela, Fabián, Fel, Feñi, Flop, Gabi, Gato, Gilla, Gordo, Javier, Juanfi, Justin, Lela, Luquitas, Manjares, Ñaña, Pancha, Pancho Cáceres, Pancho Parra, Pau, Pipe, Roxi, Rurik, Salo, Seba, Tito, Vale y Vena'o).

A la Rufi, por acompañarme cuando me quedaba estudiando.

A David Arellano Moraga, por su legado de grandeza y rebeldía.

A la Nicole, compañera de la vida, sencillamente por todo.

A mi hermano. por el apoyo incondicional, la paciencia y el camino.

A mis padres, porque todo es gracias a ellos.

III TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO	3
1.4 METODOLOGÍA	3
1.4.1 MEDICIONES DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	3
1.4.2 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE DATOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	3
1.4.3 DETERMINACIÓN DE UN PARÁMETRO DE CONFIANZA DEL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	4
1.4.4 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE DATOS DE GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL	4
1.4.5 JERARQUIZACIÓN DE LOS DATOS EXTRAPOLADOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA EN FUNCIÓN DEL PARÁMETRO DE CONFIANZA	4
1.4.6 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORRELACIÓN ENTRE DATOS GEOQUÍMICOS Y SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	5
1.4.7 DETERMINACIÓN DE ABUNDANCIA Y TAMAÑOS DE CRISTALES DE MAGNETITA POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE SECCIONES DELGADAS TRANSLÚCIDAS	6
1.4.8 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE MAGNETITA	6
1.4.9 CORRECCIÓN DEL CONTENIDO DE MAGNETITA BASADO EN UNA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO SEMI-LOGARÍTMICA	6
1.4.10 DETERMINACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE CRISTALES DE MAGNETITA DE DISTINTOS TAMAÑOS SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	7
1.5 LIMITACIONES DEL ESTUDIO	8
2 MARCO GEOLÓGICO	9
2.1 MARCO GEOTECTÓNICO Y GEOMORFOLOGÍA	9
2.2 GEOLOGÍA REGIONAL	10
2.2.1 UNIDADES DE ROCA ESTRATIFICADA	10
2.2.2 ROCAS INTRUSIVAS	12
2.2.3 ESTRUCTURAS	12
3 MARCO TEÓRICO	14
3.1 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y MAGNETIZACIÓN INDUCIDA	14
3.1.1 DIAMAGNETISMO	14
3.1.2 PARAMAGNETISMO	14
3.1.3 FERROMAGNETISMO	15
3.2 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA EN EL ESTUDIO DE GRANITOIDES	16

3.3 MINERALOGÍA MAGNÉTICA	17
3.3.1 ÓXIDOS DE HIERRO	17
3.3.1.1 TITANOMAGNETITA ($\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$)	18
3.3.1.2 HEMATITA-ILMENITA ($\text{Fe}_{2-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$)	18
3.3.2 OXI-HIDRÓXIDOS DE HIERRO	19
3.3.3 SULFUROS DE HIERRO	19
4 ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
4.1 GEOLOGÍA DEL PLUTÓN LA GLORIA	20
4.2 PETROGRAFÍA Y COMPOSICIÓN MINERAL	22
4.3 PROPIEDADES MAGNÉTICAS	24
5 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA EN EL PLUTÓN LA GLORIA	26
5.1 SITIOS DE MUESTREO Y RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	26
5.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	28
5.3 MODELOS DE VARIACIÓN ESPACIAL DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	28
5.4 PARÁMETROS DE CONFIANZA DE LOS MODELOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	31
5.4.1 DEFINICIÓN DEL PARÁMETRO DE CONFIANZA	31
5.4.2 CONSTANTES EMPLEADAS EN EL PARÁMETRO DE CONFIANZA	31
5.4.3 VARIACIÓN ESPACIAL DEL PARÁMETRO DE CONFIANZA	32
6 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES EN EL PLUTÓN LA GLORIA Y SU RELACIÓN CON LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	34
6.1 SITIOS DE MUESTREO Y RESULTADOS GEOQUÍMICOS DE ROCA TOTAL	34
6.2 MODELOS DE VARIACIÓN ESPACIAL DE DATOS GEOQUÍMICOS DE ROCA TOTAL Y DIAGRAMAS HARKER	37
6.3 RELACIONES ENTRE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL	40
6.3.1 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA CALCULADA A PARTIR DEL MODELO EN PLANTA	40
6.3.2 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA CALCULADA A PARTIR DEL MODELO EN SECCIÓN N60E	42
6.3.3 OBSERVACIONES GENERALES	45
7 CARACTERIZACIÓN, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE CRISTALES DE MAGNETITA Y SU RELACIÓN CON LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	46
7.1 SECCIONES DELGADAS TRANSLÚCIDAS ESTUDIADAS	46
7.2 CARACTERIZACIÓN DE CRISTALES DE MAGNETITA	48
7.3 CONTENIDO DE MAGNETITA DE LAS SECCIONES DELGADAS TRANSLÚCIDAS ESTUDIADAS	49
7.3.1 DETALLE DE LOS RESULTADOS	49
7.3.2 MODELOS DE VARIACIÓN ESPACIAL DEL CONTENIDO DE MAGNETITA	52
7.3.3 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE CRISTALES DE MAGNETITA	54
7.3.4 PORCENTAJE DE MAGNETITA TEMPRANA	58

7.4 RELACIONES ENTRE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE CRISTALES DE MAGNETITA.....	60
7.4.1 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y CONTENIDO TOTAL DE MAGNETITA	60
7.4.1.1 ANÁLISIS GLOBAL DEL INTRUSIVO	60
7.4.1.2 ANÁLISIS PARTICIONADO DEL INTRUSIVO.....	62
7.4.2 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y CONTENIDO DE MAGNETITA TEMPRANA	65
7.4.2.1 ANÁLISIS GLOBAL DEL INTRUSIVO	65
7.4.3 OBSERVACIONES GENERALES	66
8 MODELO EVOLUTIVO DEL SISTEMA MAGMÁTICO	67
8.1 GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL Y SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	67
8.1.1 INTRODUCCIÓN: EL NÚCLEO INTERMEDIO	67
8.1.2 CONTROL GEOQUÍMICO SOBRE LA CRISTALIZACIÓN DE MAGNETITA.....	67
8.2 MIGRACIÓN TARDÍA DE FLUIDOS DIFERENCIADOS.....	70
8.2.1 MECANISMOS DE TRANSPORTE.....	70
8.2.2 DIQUES LEUCOCRÁTICOS DEL PLUTÓN LA GLORIA.....	70
8.2.3 BALANCE DE MASA ASOCIADO A LA MIGRACIÓN DE FLUIDOS DIFERENCIADOS.....	71
8.2.4 ANÁLISIS GEOQUÍMICO ASOCIADO A LA MIGRACIÓN DE FLUIDOS DIFERENCIADOS.....	74
9 DISCUSIÓN	77
9.1 GEOQUÍMICA, MINERALOGÍA MAGNÉTICA Y SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	77
9.1.1 GENERALIDADES	77
9.1.2 MAGNETITA TEMPRANA VERSUS MAGNETITA TARDÍA.....	78
9.2 IMPLICANCIAS PETROLÓGICAS: MIGRACIÓN TARDÍA DE FLUIDOS DIFERENCIADOS	79
10 CONCLUSIONES	81
REFERENCIAS.....	83
APÉNDICE A: ALGORITMO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SECCIONES DELGADAS TRANSLÚCIDAS	87
APÉNDICE B: DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS.....	89
APÉNDICE C: DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL EFECTO DE ALTITUD (f) SOBRE EL PARÁMETRO DE CONFIANZA.....	127
APÉNDICE D: IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LAS CATEGORÍAS DE OCURRENCIA DE CRISTALES DE MAGNETITA (LUZ TRANSMITIDA Y REFLEJADA).....	128
APÉNDICE E: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS DEL AJUSTE LINEAL EN RELACIÓN A LA DEFINICIÓN DE LAS CLASES EMPLEADAS.....	131
E.1 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y CONTENIDO TOTAL DE MAGNETITA	131
E.1.1 ANÁLISIS GLOBAL DEL INTRUSIVO	131
E.1.2 ANÁLISIS PARTICIONADO DEL INTRUSIVO.....	132
E.1.2.1 BASE DEL PLUTÓN LA GLORIA.....	132
E.1.2.2 TECHO DEL PLUTÓN LA GLORIA.....	133

E.2 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y CONTENIDO DE MAGNETITA TEMPRANA	135
E.2.1: ANÁLISIS GLOBAL DEL INTRUSIVO	135
APÉNDICE F: TEMPERATURA DE CURIÉ DE MUESTRAS DEL PLUTÓN LA GLORIA.....	137

IV ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1: Información geográfica de los sitios de muestreo magnético y resultados de susceptibilidad magnética	27
Tabla 5-2: Valor de las constantes asociadas al cálculo del parámetro de confianza de los modelos de susceptibilidad magnética	32
Tabla 6-1: Información geográfica, geoquímica y parámetro de confianza de los modelos de susceptibilidad magnética de los sitios de muestreo geoquímico (1/2).....	35
Tabla 6-2: Información geográfica, geoquímica y parámetro de confianza de los modelos de susceptibilidad magnética de los sitios de muestreo geoquímico (2/2).....	36
Tabla 6-3: Coeficientes de ajuste lineal entre datos geoquímicos y susceptibilidad magnética extrapolada desde modelo en planta	42
Tabla 6-4: Coeficientes de ajuste lineal entre datos geoquímicos y susceptibilidad magnética extrapolada desde modelo en sección N60E.....	45
Tabla 7-1: Listado de secciones delgadas translúcidas estudiadas (1/2).....	46
Tabla 7-2: Listado de secciones delgadas translúcidas estudiadas (2/2).....	47
Tabla 7-3: Contenido de magnetita de las secciones delgadas translúcidas estudiadas (1/3)	49
Tabla 7-4: Contenido de magnetita de las secciones delgadas translúcidas estudiadas (2/3)	50
Tabla 7-5: Contenido de magnetita de las secciones delgadas translúcidas estudiadas (3/3)	51
Tabla 7-6: Contenido corregido de magnetita <i>temprana</i> en las secciones delgadas translúcidas	58
Tabla 7-7: Clases utilizadas para la distribución de tamaño de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita)	60
Tabla 7-8: Intervalos de confianza (95%) de las constantes del ajuste lineal entre <i>K</i> y el contenido de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).....	61
Tabla 7-9: Clases utilizadas para la distribución de tamaño de magnetita (análisis particionado del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita)	63
Tabla 7-10: Intervalos de confianza (95%) de las constantes del ajuste lineal entre <i>K</i> y el contenido de magnetita (análisis particionado del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).....	64
Tabla 7-11: Intervalos de confianza (95%) de las constantes del ajuste lineal entre <i>K</i> y el contenido de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido de magnetita <i>temprana</i>).....	66
Tabla 8-1: Composición química promedio de cada sector del plutón La Gloria.....	68
Tabla 8-2: Datos geoquímicos empleados en el balance de masa.....	72
Tabla 8-3: Comparación de los resultados de material inicial empleando la proporción propuesta y los datos de análisis químicos	73
Tabla 8-4: Composición química del líquido residual óptimo extraído modelado en MELTS y la composición de los diques leucocráticos observados.....	75
Tabla B-1: Información geográfica de las secciones delgadas transparentes - pulidas descritas.....	89

Tabla E-1: Valor de la constante T_0 para distintos factores de división entre límites de clases (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita)	131
Tabla E-2: Valor de la constante T_0 para distintos factores de división entre límites de clases (base del plutón La Gloria, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).....	132
Tabla E-3: Valor de la constante T_0 para distintos factores de división entre límites de clases (techo del plutón La Gloria, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).....	134
Tabla E-4: Valor de la constante T_0 para distintos factores de división entre límites de clases (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido de magnetita <i>temprana</i>)	135

V ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Unidades morfoestructurales de los Andes entre los 32° y 35°S	10
Figura 2-2: Mapa geológico simplificado de los Andes de Chile Central y Argentina Centro - Oeste	11
Figura 3-1: Tipos de alineamiento de <i>spins</i> en ferromagnetismo.....	15
Figura 3-2: Diagrama ternario de óxidos de hierro	18
Figura 4-1: Mapa geológico del área de estudio	21
Figura 4-2: Diagrama QAP de composición modal	22
Figura 5-1: Mapa geológico del área de estudio, donde se incluyen los sitios de muestreo magnético.....	26
Figura 5-2: Histograma de distribución de los resultados de susceptibilidad magnética.....	28
Figura 5-3: (A) Proyección en planta de los datos de susceptibilidad magnética de los sitios de muestreo. (B) Modelo en planta de la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria.	29
Figura 5-4: (A) Proyección en sección N60E de ancho normalizado de los datos de susceptibilidad magnética de los sitios de muestreo. (B) Modelo en sección N60E de ancho normalizado de la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria	30
Figura 5-5: Parámetro de confianza asociado al modelo de susceptibilidad magnética en planta para distintas altitudes.....	32
Figura 5-6: Parámetro de confianza asociado al modelo de susceptibilidad magnética en sección N60E de ancho normalizado	33
Figura 6-1: Mapa geológico del área de estudio, donde se incluyen los sitios de muestreo geoquímico ...	34
Figura 6-2: Modelos en sección N60E de ancho normalizado de geoquímica de roca total en el plutón La Gloria	38
Figura 6-3: Diagramas Harker de los datos de geoquímica del plutón La Gloria.....	39
Figura 6.4: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre SiO ₂ y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en planta), versus cantidad de datos considerados	41
Figura 6-5: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre Fe ₂ O ₃ ^t y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en planta), versus cantidad de datos considerados	41
Figura 6-6: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre TiO ₂ y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en planta), versus cantidad de datos considerados	42
Figura 6-7: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre SiO ₂ y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en sección N60E), versus cantidad de datos considerados	43
Figura 6-8: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre Fe ₂ O ₃ ^t y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en sección N60E), versus cantidad de datos considerados	44
Figura 6-9: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre TiO ₂ y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en sección N60E), versus cantidad de datos considerados	44
Figura 7-1: Imágenes representativas de cada una de las categorías de ocurrencia de magnetita.....	48
Figura 7-2: Modelo en planta del contenido de magnetita del plutón La Gloria	52
Figura 7-3: Modelo en sección N60E de ancho normalizado del contenido de magnetita del plutón La Gloria	53

Figura 7-4: Gráfico del error relativo de las mediciones del porcentaje de magnetita versus la altitud de cada sitio.....	54
Figura 7-5: Modelos en sección N60E de ancho normalizado del porcentaje de cristales de magnetita de distintos rangos de tamaño	55
Figura 7-6: Histograma de distribución de los resultados de dimensión fractal	56
Figura 7-7: Modelo en sección N60E de ancho normalizado de la dimensión fractal de la distribución de tamaño de cristales de magnetita en el plutón La Gloria	56
Figura 7-8: Gráfico de diámetro equivalente versus densidad de cristales	57
Figura 7-9: Modelo en sección N60E de ancho normalizado del contenido de magnetita <i>temprana</i> del plutón La Gloria	59
Figura 7-10: Gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la estimada a partir de la abundancia y tamaño de los cristales de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita)	61
Figura 7-11: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución porcentual a la susceptibilidad magnética (análisis global del intrusivo, relacionando <i>K</i> y contenido total de magnetita).....	62
Figura 7-12: Gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la estimada a partir de la abundancia y tamaño de los cristales de magnetita (base del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita)	63
Figura 7-13: Gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la estimada a partir de la abundancia y tamaño de los cristales de magnetita (techo del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita)	64
Figura 7-14: Gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la estimada a partir de la abundancia y tamaño de los cristales de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido de magnetita <i>temprana</i>)	65
Figura 8-1: Gráfico del contenido de espinela modelado en MELTS versus la temperatura del magma, empleando la información geoquímica del <i>núcleo intermedio</i> observado y del <i>resto del intrusivo</i>	69
Figura 8-2: Imágenes de diques leucocráticos del plutón La Gloria.	71
Figura 8-3: Gráfico de la sumatoria del error porcentual al cuadrado entre la geoquímica medida del <i>material inicial</i> y la estimada a partir de la mezcla del <i>material remanente</i> y <i>fraccionado</i> , versus la proporción de <i>material remanente</i> en la mezcla	73
Figura 8-4: Gráfico de la sumatoria del cuadrado del error porcentual entre la composición de los diques leucocráticos y la composición del líquido residual según MELTS, versus la temperatura del magma.....	75
Figura 10-1: Esquema de las relaciones establecidas en el presente estudio	82
Figura B-1: Imágenes de la muestra LG0103	90
Figura B-2: Imágenes de la muestra LG0204	91
Figura B-3: Imágenes de la muestra LG0302	92
Figura B-4: Imágenes de la muestra LG0403	93
Figura B-5: Imágenes de la muestra LG0512	94
Figura B-6: Imágenes de la muestra LG0601	95

Figura B-7: Imágenes de la muestra LG0706	96
Figura B-8: Imágenes de la muestra LG0810	97
Figura B-9: Imágenes de la muestra LG0901	98
Figura B-10: Imágenes de la muestra LG1005	99
Figura B-11: Imágenes de la muestra LG1101	100
Figura B-12: Imágenes de la muestra LG1207	101
Figura B-13: Imágenes de la muestra LG1308	102
Figura B-14: Imágenes de la muestra LG1406	103
Figura B-15: Imágenes de la muestra LG1907	104
Figura B-16: Imágenes de la muestra LG2017	105
Figura B-17: Imágenes de la muestra LG2101	106
Figura B-18: Imágenes de la muestra LG2211	107
Figura B-19: Imágenes de la muestra LG2310	108
Figura B-20: Imágenes de la muestra LG2408	109
Figura B-21: Imágenes de la muestra LG2502	110
Figura B-22: Imágenes de la muestra LG2607	111
Figura B-23: Imágenes de la muestra LG2707	112
Figura B-24: Imágenes de la muestra LG2803	113
Figura B-25: Imágenes de la muestra LG2909	114
Figura B-26: Imágenes de la muestra LG3002	115
Figura B-27: Imágenes de la muestra LG3106	116
Figura B-28: Imágenes de la muestra LG3205	117
Figura B-29: Imágenes de la muestra LG3306	118
Figura B-30: Imágenes de la muestra LG3401	119
Figura B-31: Imágenes de la muestra LG3504	120
Figura B-32: Imágenes de la muestra LG3605	121
Figura B-33: Imágenes de la muestra LG4108-1	122
Figura B-34: Imágenes de la muestra LG4305-1	123
Figura B-35: Imágenes de la muestra LG4605-1	124
Figura B-36: Imágenes de la muestra LG4805-1	125
Figura B-37: Imágenes de la muestra LG5201-1	126

Figura C-1: Gráfico del factor de amplificación de altitud (f) versus el coeficiente de correlación promedio entre susceptibilidad magnética y SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ ^t y TiO ₂ (10 - 20 puntos con los mayores parámetros de confianza).....	127
Figura D-1: Imágenes que contienen cristales individuales de magnetita	128
Figura D-2: Imágenes que contienen inclusiones de magnetita en silicatos máficos.....	129
Figura D-3: Imágenes que contienen cristales de magnetita que forman parte de cúmulos de granulometría fina	130
Figura E-1: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución a la susceptibilidad magnética por unidad de volumen de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).....	132
Figura E-2: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución a la susceptibilidad magnética por unidad de volumen de magnetita (base del plutón La Gloria, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).....	133
Figura E-3: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución a la susceptibilidad magnética por unidad de volumen de magnetita (techo del plutón La Gloria, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).....	134
Figura E-4: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución a la susceptibilidad magnética por unidad de volumen de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido de magnetita temprana).....	136
Figura F-1: Gráfico de magnetización normalizada versus temperatura, para cuatro muestras del plutón La Gloria.....	137

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a una memoria para optar al título de Geólogo; en el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las propiedades magnéticas, que pueden servir como un registro de las direcciones de *strain* de plutones no perturbados tectónicamente y entregar información de la dinámica de reservorios magmáticos (McNulty *et al.*, 2000; Gil-Imaz *et al.*, 2006), han sido ampliamente utilizadas en el estudio de cuerpos intrusivos andinos. Por ejemplo:

- A. Los resultados paleomagnéticos del plutón Caleu, que no exhiben evidencias significativas de deformación post-emplazamiento, sustentan un modelo de crecimiento del intrusivo que consiste en el emplazamiento episódico de tres zonas litológicas (gabrodiorita, tonalita y granodiorita), combinado con efectos asociados a procesos de inflación de cámara magmática y difusión lateral del flujo de magma (Parada *et al.*, 2005).
- B. En base al estudio de la fábrica magnética del plutón La Gloria y simulaciones numéricas de la dinámica de fluidos magmáticos, se ha propuesto un modelo para la construcción de plutones pequeños y someros; donde se ha interpretado que la fábrica magnética observada corresponde a un registro del último aumento de *strain*, inducido por flujos convectivos (Gutiérrez *et al.*, 2013a).
- C. Los resultados paleomagnéticos de rocas del Complejo Plutónico Illapel (IPC) indican la ocurrencia de una rotación horaria de $4^\circ \pm 3,7^\circ$ en el ante-arco chileno entre $31^\circ 30'S$ y $32^\circ 30'S$ (Ferrando *et al.*, 2014). La fábrica magnética, interpretada como un registro de origen magmático, sustenta la hipótesis de que el emplazamiento del IPC fue previo al inicio de un proceso de deformación compresiva en los Andes Centrales de Chile (Ferrando *et al.*, 2014).

Sin embargo, la interpretación de estos datos magnéticos, y en particular de la susceptibilidad magnética, se ve obstaculizada por el limitado conocimiento de los factores geoquímicos y mineralógicos que condicionan el grado de magnetización de las rocas. Es por esto que resulta necesario establecer las relaciones existentes entre la susceptibilidad magnética y la información geoquímica y mineralógica de plutones andinos, como se propone en este trabajo.

La elección del plutón La Gloria como caso de estudio se fundamenta en:

- A. El intrusivo presenta patrones regulares de variación espacial de su composición geoquímica de roca total, mineralogía magnética y susceptibilidad magnética (Cornejo y Mahood, 1997; Gutiérrez *et al.*, 2013a).
- B. Existe disponibilidad de datos geoquímicos y de susceptibilidad magnética (Cornejo, 1990; Gutiérrez *et al.*, 2013a).
- C. El plutón La Gloria posee más de 2500 m de relieve vertical expuesto (~1500 msnm hasta ~4000 msnm), exhibiendo el contacto con la roca de caja en las paredes y techo del intrusivo.
- D. Es un plutón aislado que no exhibe contactos internos que puedan asociarse a la inyección de múltiples pulsos magmáticos (Cornejo, 1990), lo que permite simplificar la interpretación de los datos magnéticos, geoquímicos y mineralógicos.

Por otro lado, Gutiérrez *et al.* (2013a) ha sugerido que la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria está controlada principalmente por la fase magnetita. Sin embargo, no ha sido suficientemente estudiada la distribución espacial y de tamaño de los cristales de magnetita, así como tampoco ha sido abordada su relación con la geoquímica. El presente estudio, entonces, permite complementar los trabajos previos en el plutón La Gloria, buscando generar avances asociados al estudio de la dinámica del magma que dio origen al intrusivo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los factores, tanto geoquímicos como mineralógicos, que han condicionado los resultados de susceptibilidad magnética en el plutón La Gloria, e integrar los patrones de variación espacial de dichas variables en un modelo evolutivo del sistema magmático en estudio.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Establecer los patrones de variación espacial de la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria.
- B. Establecer los patrones de variación espacial de los datos de geoquímica de roca total del plutón La Gloria.
- C. Determinar la correlación existente entre los datos de susceptibilidad magnética e información geoquímica de roca total.

- D. Establecer los patrones de variación espacial de la abundancia y distribución de tamaño de los cristales de magnetita en el plutón La Gloria.
- E. Determinar la contribución asociada a los distintos tamaños de cristales de magnetita sobre la susceptibilidad magnética medida.
- F. Generar un modelo evolutivo del plutón La Gloria, capaz de explicar los resultados de susceptibilidad magnética, geoquímica de roca total y mineralogía magnética.

1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO

La principal hipótesis de trabajo es que la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria está determinada casi exclusivamente por la fase magnetita; lo cual, considerando la relación existente entre mineralogía y geoquímica de roca total, genera una correlación entre los datos de susceptibilidad magnética y la concentración de elementos mayores en roca total. Las hipótesis específicas de este trabajo son:

- A. La mineralogía opaca presente en el plutón La Gloria corresponde principalmente a cristales de la fase magnetita.
- B. La susceptibilidad magnética de las muestras del plutón La Gloria puede ser aproximada a partir de la combinación lineal del porcentaje en volumen de los cristales de magnetita, agrupados en clases de acuerdo a su tamaño.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 MEDICIONES DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

Para las mediciones de susceptibilidad magnética (K) se han estudiado del orden de 400 muestras distribuidas en 46 sitios del plutón La Gloria, las que han sido analizadas con un equipo AMS Kappabridge (modelo KLY-3S de AGICO) con una resolución de $3 \cdot 10^{-8}$ [SI] en el Laboratorio de Paleomagnetismo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

1.4.2 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE DATOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

Con el objetivo de establecer los patrones de variación de la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria, se ha generado un modelo numérico de la distribución espacial de la susceptibilidad magnética a partir de la extrapolación de los datos en planta, empleando la versión v4 de la función *griddata* del programa *Matlab*.

Paralelamente, se han proyectado los datos de susceptibilidad magnética en una sección N60E de ancho normalizado, representativa del plutón. De este modo, todos los sitios de muestreo están caracterizados por un punto (x_i, y_i) de la sección N60E, con un valor asignado de susceptibilidad magnética. Estos datos han sido extrapolados empleando la versión *v4* de la función *griddata* del programa *Matlab*, generando un modelo de distribución espacial de la susceptibilidad magnética a nivel de sección N60E de ancho normalizado.

No ha sido posible emplear modelos 3D de susceptibilidad magnética debido a la baja cantidad de datos disponibles en relación a las dimensiones del plutón La Gloria.

1.4.3 DETERMINACIÓN DE UN PARÁMETRO DE CONFIANZA DEL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

Dado que los conjuntos de datos de susceptibilidad magnética y geoquímica de roca total provienen de diferentes sitios de muestreo, es necesario cuantificar la confiabilidad de la susceptibilidad magnética extrapolada antes de relacionarla con la información geoquímica.

Es por ello que se ha establecido un parámetro de confianza del valor extrapolado de susceptibilidad magnética, tanto en el modelo en planta como en sección N60E. De este modo, para ambos modelos y para cualquier punto, se genera un parámetro que da cuenta de la confiabilidad que tiene el valor de susceptibilidad magnética asignado a partir del modelamiento numérico de datos. La expresión utilizada para determinar el parámetro de confianza se detalla en la sección 5.4.1.

1.4.4 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE DATOS DE GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

En base a los datos publicados por [Cornejo \(1990\)](#), se ha generado un modelo numérico de la distribución espacial de los datos de geoquímica de roca total para elementos mayores, a nivel de sección N60E de ancho normalizado; utilizando una metodología idéntica a la aplicada en el caso de la susceptibilidad magnética (ver sección 1.4.2).

1.4.5 JERARQUIZACIÓN DE LOS DATOS EXTRAPOLADOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA EN FUNCIÓN DEL PARÁMETRO DE CONFIANZA

Los sitios en que se cuenta con información geoquímica pueden ser referenciados espacialmente por dos puntos: (E_k, N_k, H_k) a nivel de planta y (x_k, y_k) a nivel de sección N60E de ancho normalizado; cada uno de ellos asociado a un valor de susceptibilidad magnética y de parámetro de confianza.

De manera independiente y empleando los datos provenientes de cada uno de los modelos (en planta y sección N60E), se ha establecido un filtro relacionado al parámetro de confianza: dada una variable que llamaremos *Intolerancia*, solo se consideran los puntos tales que el parámetro de confianza es mayor que dicha variable.

Para diferentes valores de *Intolerancia*, que tienen asociados un número de puntos considerados, se han calculado los coeficientes relacionados al ajuste lineal (pendiente, coeficiente de posición y coeficiente de correlación) entre la susceptibilidad magnética extrapolada y cada uno de los datos geoquímicos de roca total disponibles (elementos mayores).

Se han generado gráficos de *Intolerancia* versus cada uno de los coeficientes del ajuste lineal. Si existiese correlación entre la susceptibilidad magnética y los datos geoquímicos, se esperarían valores crecientes del coeficiente de correlación con respecto a la *Intolerancia*, y curvas relativamente estables en los gráficos de coeficiente de posición y pendiente.

1.4.6 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORRELACIÓN ENTRE DATOS GEOQUÍMICOS Y SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

A medida que aumenta la *Intolerancia*, es natural que el coeficiente de correlación crezca hasta llegar a 1,0 (ajuste empleando solo dos puntos). Sin embargo, dicho resultado responde a la cantidad de datos, y no necesariamente a la resolución del parámetro de confianza.

Para eliminar este efecto, se ha calculado la esperanza de los coeficientes de ajuste lineal (pendiente, coeficiente de posición y correlación) dado un subconjunto de n puntos aleatorios del total de sitios que cuentan con datos geoquímicos. Al graficar la esperanza de cada uno de los coeficientes de ajuste lineal versus n , se obtiene:

- A. Curvas relativamente constantes para valores altos de n , para todos los gráficos.
- B. Una curva de comportamiento tendiente a 1,0 para valores bajos de n , en el caso del gráfico de coeficiente de correlación.

Con dichos gráficos es posible determinar desde qué cantidad de puntos considerados, o equivalentemente, desde qué *Intolerancia*, los cambios en los coeficientes de ajuste lineal son atribuibles solo a la cantidad de datos empleados; y no a las propiedades intrínsecas del parámetro de confianza. De este modo, se ha determinado la resolución del parámetro de confianza y se establece la *Intolerancia* a la cual se calculan los valores finales del coeficiente de correlación, pendiente y coeficiente de posición entre las variables a correlacionar.

Esta etapa ha sido aplicada independientemente para ambos modelos de susceptibilidad magnética: en planta y en sección N60E de ancho normalizado; con la posterior comparación de los resultados generados en ambos procesos.

1.4.7 DETERMINACIÓN DE ABUNDANCIA Y TAMAÑOS DE CRISTALES DE MAGNETITA POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE SECCIONES DELGADAS TRANSLÚCIDAS

Considerando que la gran mayoría de los cristales opacos observados en el plutón La Gloria corresponden a magnetita, se propone como metodología la toma sistemática de fotografías de 84 secciones delgadas translúcidas a nicols paralelos (en torno a 25 imágenes por sección delgada translúcida, de un área aproximada de 4 (mm)²), y posterior tratamiento de imágenes en base a un algoritmo que incluye la cuantificación del porcentaje total de opacos a partir del cálculo de la cantidad de píxeles que cumplen ciertas condiciones relacionadas con su color; y un proceso de *clustering* que agrupa dichos píxeles en cristales en base a un árbol jerárquico de agrupamiento (Kaufman y Rousseeuw, 1990), permitiendo determinar la distribución de tamaño de los granos de magnetita. Adicionalmente, el algoritmo incluye un procedimiento de corrección del tamaño de cristales ubicados en el margen de las fotografías.

El algoritmo utilizado para procesar cada una de las fotografías se muestra en la sección Apéndice A.

Cabe destacar que la toma de un conjunto de fotografías por sección delgada translúcida, en lugar de una imagen global, se fundamenta en el reducido tamaño de los cristales de magnetita y la necesidad de obtener una distribución con una resolución del orden de 0,05 mm.

1.4.8 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE MAGNETITA

Se han generado modelos de variación en planta y en sección N60E de ancho normalizado, del porcentaje de magnetita total y de algunos rangos de tamaño; a partir de un procedimiento coincidente con el propuesto para los modelos de susceptibilidad magnética (ver sección 1.4.2).

1.4.9 CORRECCIÓN DEL CONTENIDO DE MAGNETITA BASADO EN UNA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO SEMI-LOGARÍTMICA

Se ha establecido un factor de modificación del porcentaje observado de magnetita, de modo de corregir su contenido incluyendo únicamente la proporción de cristales de la *población*

temprana (ver sección 7.3.3), es decir, los que se ajustarían a una distribución de tamaño semi-logarítmica. Para ello, para cada una de las secciones delgadas translúcidas:

- A. Se han determinado los coeficientes k y D que ajustan la distribución de tamaño de magnetita a un comportamiento fractálico (Fórmula (7.3)).
- B. Se han calculado las constantes C y N_0 que ajustan la distribución de tamaño de magnetita a un comportamiento semi-logarítmico (Fórmula (7.4)), para lo cual solo se han empleado los cristales de un diámetro equivalente superior a 0,25 mm.
- C. Para cada uno de los granos de magnetita, se ha determinado la proporción correspondiente a la *población temprana*, a partir de la Fórmula (1.1):

$$\text{Proporción de población temprana (R)} = \frac{-\frac{R}{C} + \log(N_0)}{kR^{-D}} \quad (1.1)$$

Donde R es el diámetro equivalente (ver sección 7.3.1), C y N_0 son las constantes asociadas al ajuste semi-logarítmico, mientras que k y D son los coeficientes del ajuste fractálico.

- D. Se estima el contenido de magnetita *temprana* de la clase C_1 ponderando la concentración asociada a cada uno de los cristales, por su *proporción de población temprana*.

1.4.10 DETERMINACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE CRISTALES DE MAGNETITA DE DISTINTOS TAMAÑOS SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

Se propone que es posible explicar la susceptibilidad magnética de una roca a partir de la Fórmula (1.2).

$$K (10^{-6} [SI]) = T_0 + \sum_{i=1}^N C_i T_i \quad (1.2)$$

Donde C_i corresponde al volumen porcentual de cristales de magnetita de cierto rango de tamaño i ; T_i representa la contribución a la susceptibilidad total, por unidad de volumen, asociada a los cristales de magnetita de un rango de tamaño i ; y T_0 corresponde a la susceptibilidad magnética de base, que podría estar asociada parcialmente a minerales ferromagnesianos.

A partir de una inversión en que se minimiza la suma de residuos al cuadrado, ha sido posible determinar las constantes que mejor relacionan los datos de susceptibilidad magnética medidos con los predichos con la Fórmula (1.2).

Para establecer las clases de tamaño empleadas, se ha aplicado la siguiente metodología:

- A. Se ha utilizado, como tamaño límite entre las dos clases superiores, aquel que genera que el 80% de las secciones delgadas translúcidas contengan cristales de la clase de mayor tamaño.
- B. El límite de tamaño restante corresponde a la división del tamaño límite superior por una constante entre 1,6 y 2,4. Se ha seleccionado aquella constante que implica los mejores coeficientes de correlación lineal entre los valores medidos de susceptibilidad magnética y los estimados con la Fórmula (1.2).

Para desarrollar este proceso ha sido necesario filtrar las secciones delgadas translúcidas empleadas, de modo de ignorar del análisis aquellas que presenten anomalías o heterogeneidades texturales (ver Tablas 7-3, 7-4 y 7-5).

Cabe señalar que, en esta etapa del estudio, no ha sido necesario aplicar los valores extrapolados de susceptibilidad magnética ni el parámetro de confianza, debido a que los datos de susceptibilidad magnética y las secciones delgadas translúcidas provienen del mismo conjunto de sitios de muestreo.

1.5 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Las limitaciones asociadas al presente estudio son:

- A. La base del plutón La Gloria no se encuentra expuesta, de modo que no ha sido posible establecer la porción del intrusivo que efectivamente fue muestreada.
- B. El plutón La Gloria presenta enclaves máficos y diques leucocráticos distribuidos irregularmente dentro de su extensión, lo que podría haber perturbado las mediciones de susceptibilidad magnética y composición geoquímica de roca total.
- C. La distribución de los sitios de muestreo geoquímico y de susceptibilidad magnética, dadas las dificultades topográficas que presenta el intrusivo, no permite representar apropiadamente la extensión del plutón; observándose escasos datos en un rango de altitud entre 2000 msnm y 2500 msnm.
- D. En las muestras con altos contenidos de magnetita, como LG2310 o LG2607, no ha sido posible medir la susceptibilidad magnética debido a la saturación del equipo AMS Kappabridge; lo que genera un importante sesgo sobre los resultados de susceptibilidad magnética.

2 MARCO GEOLÓGICO

2.1 MARCO GEOTECTÓNICO Y GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se ubica en el margen occidental de la Placa Sudamericana y se enmarca dentro de un ambiente de subducción que ha permanecido casi ininterrumpido desde el Jurásico, y se asocia a la ocurrencia de plutonismo y volcanismo de arco, el cual ha experimentado una migración progresiva hacia el este ([Charrier et al., 2007](#)).

Se identifican tres unidades morfoestructurales principales en el margen actual (Paleógeno tardío - actualidad) en la zona central de Chile (33-39°S): Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Principal (Figura 2-1).

Cordillera de la Costa:

Presenta un relieve significativamente más suave que la Cordillera Principal y está compuesta por granitoides del Paleozoico Superior hacia el oeste ([Gana y Tosdal, 1996](#)), granitoides del Jurásico y rocas volcano-sedimentarias del Jurásico y Cretácico en los sectores medios ([Charrier et al., 2007](#)), e intrusivos del Cretácico en su sector oriental. Las unidades cuaternarias corresponden mayoritariamente a depósitos de origen coluvial y fluvial.

Depresión Central:

La Depresión Central tiene altitudes del orden de 500 msnm y una topografía extremadamente suave, solo interrumpida por la presencia de algunos cerros isla. Existe predominio de depósitos cuaternarios de origen fluvial, cuyo espesor puede alcanzar hasta los 500 m ([Araneda et al., 2000](#)). En el margen oriental de la Depresión Central se observan depósitos coluviales y aluviales.

Cordillera Principal:

Presenta un relieve abrupto que varía entre los 500 msnm y 6000 msnm, en el arco volcánico actual. La Cordillera Principal incluye depósitos sedimentarios de origen marino de edad Jurásico a Cretácico inferior (Formaciones Nieves Negras, Río Colina, Río Damas, Lo Valdés y Colimapu); y rocas volcano-sedimentarias de edad Mioceno a Eoceno Medio (Formaciones Abanico y Farellones). Esta unidad geomorfológica habría comenzado a alzarse recién desde el Eoceno Medio ([Fock, 2005](#)).

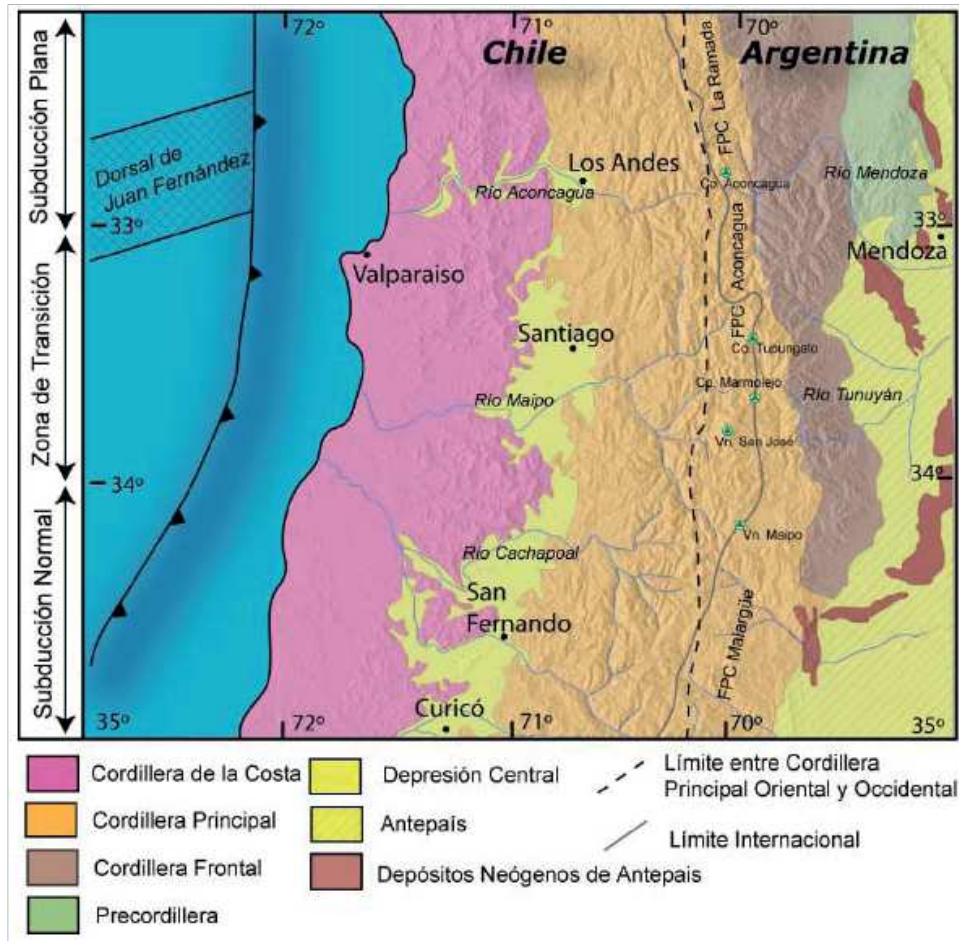


Figura 2-1: Unidades morfoestructurales de los Andes entre los 32° y 35°S. Tomado de Fock (2005).

2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

En esta sección, se presenta una breve descripción de las principales unidades estratigráficas y rocas intrusivas definidas en el entorno del área de estudio (Figura 2-2), además de algunos rasgos estructurales.

2.2.1 UNIDADES DE ROCA ESTRATIFICADA

Formación Abanico (Aguirre, 1960):

Secuencia de ~3100 m de espesor compuesta principalmente por rocas volcánicas y volcanoclásticas continentales. Puede ser dividida en dos miembros (Nystrom *et al.*, 2003): uno inferior compuesto por lavas básicas, rocas piroclásticas e intercalaciones sedimentarias de ambiente lacustre; y un miembro superior caracterizado por lavas básicas. Presenta pliegues asimétricos con longitudes de onda del orden de 10 km y ejes de rumbo N-S, cuyos limbos mantienen ~45° (Thiele, 1980).

Dataciones radiométricas indican que la edad de la Formación Abanico es Oligoceno temprano a tardío (Vergara y Drake, 1979; Vergara *et al.*, 1999).

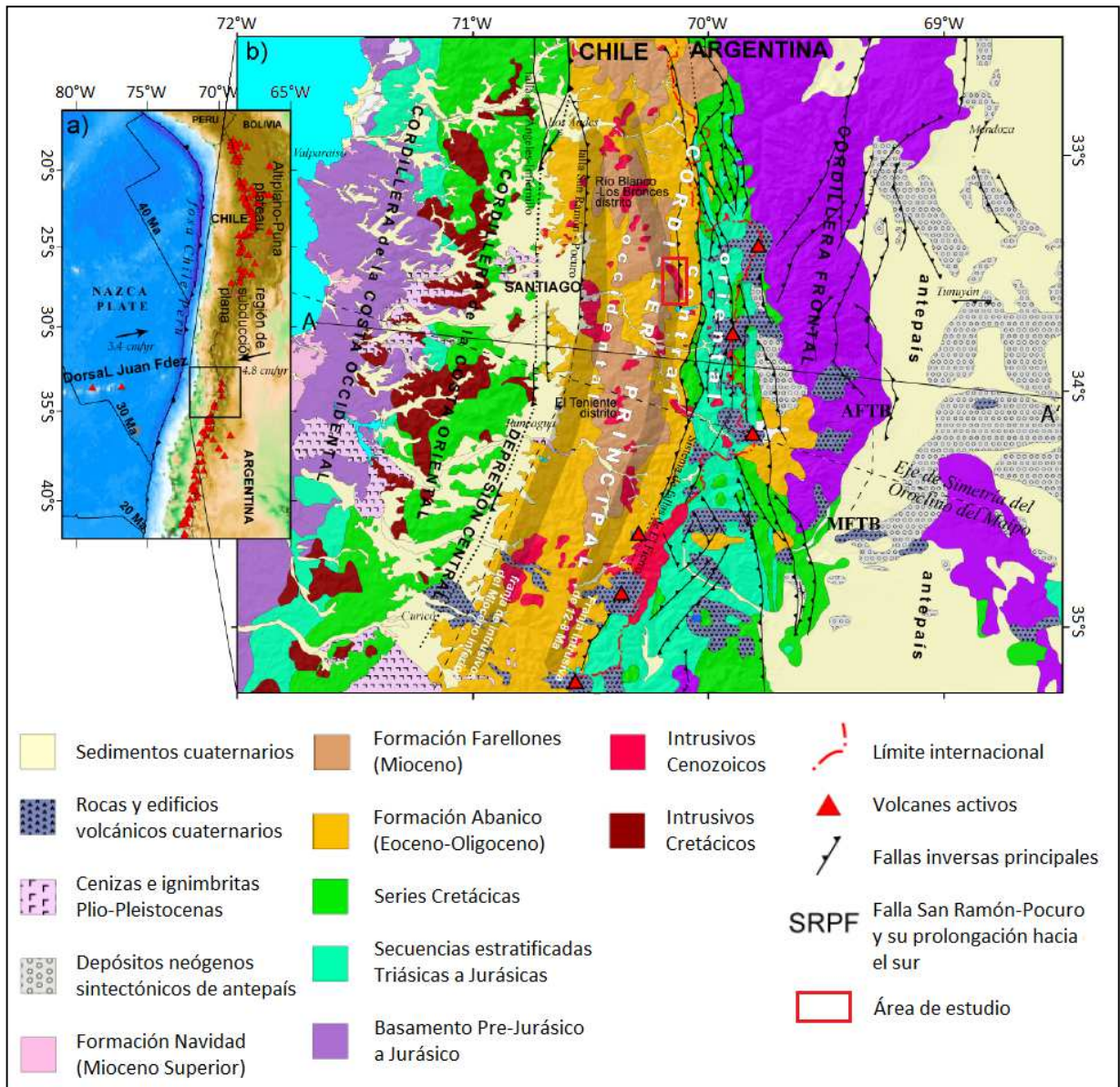


Figura 2-2: Mapa geológico simplificado de los Andes de Chile Central y Argentina Centro - Oeste. Tomado de Farías (2007).

Formación Farellones (Klohn, 1960):

Sucesión de rocas volcánicas (lavas, tobas e ignimbritas) intercaladas con brechas, cuyo espesor es de ~2100 m. Puede ser subdividida en tres miembros (Nystrom *et al.*, 2003): uno inferior compuesto por rocas piroclásticas y sedimentos lacustres; un miembro intermedio caracterizado por la presencia de andesitas basálticas; y un miembro superior de lavas básicas y

ácidas. Los miembros inferior e intermedio de la Formación Farellones son sub-horizontales, con pliegues de longitud de onda entre 5 y 8 km, ejes de rumbo N-S y limbos de manteo inferior a 15° (Nystrom *et al.*, 2003). El miembro superior, por otro lado, se dispone de manera sub-horizontal.

De acuerdo a dataciones radiométricas Ar/Ar, la Formación Farellones se depositó en el Mioceno (Aguirre *et al.*, 2000).

2.2.2 ROCAS INTRUSIVAS

Se presenta una descripción de las dos franjas de intrusivos destacadas en la Figura 2-2.

Franja de intrusivos del Mioceno Inferior:

Franja de plutones cuya litología predominante es granodiorita, e intruyen a la Formación Abanico. Dentro de los intrusivos de esta franja, destaca el plutón La Obra y el plutón El Salto del Soldado. Dataciones radiométricas indican un rango de edad entre 22 y 16 Ma (Kurtz *et al.*, 1997).

Franja de intrusivos del Mioceno Medio - Superior:

Franja de plutones cuya litología varía entre granodiorita y cuarzo monzonita (Drake *et al.*, 1982), algunos de los cuales están relacionados a mineralización de cobre. Dentro de los intrusivos de esta franja, destaca el plutón La Gloria, plutón San Gabriel y batolito San Francisco. Intruyen a la Formación Abanico y, de acuerdo a dataciones radiométricas, tienen una edad entre 13 y 8 Ma (Vergara y Drake, 1978; Kurtz *et al.*, 1997; Deckart *et al.*, 2010).

2.2.3 ESTRUCTURAS

Las estructuras mayores observadas en la región corresponden a fallas inversas de orientación NNE y vergencia tanto al este como hacia el oeste (ver Figura 2-2), y pliegues asimétricos con ejes de rumbo NNE, que se vuelven cada vez más volcados y apretados hacia el este (Rauld, 2002).

La Falla San Ramón es la principal estructura de la región (ver Figura 2-2) y presenta un movimiento inverso con vergencia oeste, que monta la Cordillera Principal sobre la Depresión Central (Rauld, 2002; Charrier *et al.*, 2005), deformando depósitos aluviales, coluviales y fluviales del Plioceno-Holoceno (Fock, 2005).

La orientación de los intrusivos ubicados en la región de la Cordillera Principal de Chile central, como es el caso del plutón La Gloria, sugiere un control estructural sobre su emplazamiento.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y MAGNETIZACIÓN INDUCIDA

La susceptibilidad magnética de un material (K) corresponde al grado de magnetización (intensidad del momento magnético por unidad de volumen) generado en respuesta a la aplicación de un campo magnético externo; y se calcula con la Fórmula (3.1).

$$K = \frac{M}{H} \quad (3.1)$$

Donde M representa la magnetización inducida sobre el material y H corresponde al campo magnético externo.

Existen dos fuentes de momento magnético en el movimiento de electrones (órbitas y *spins* desapareados), las que son responsables de los distintos tipos de comportamiento que tiene la materia ante la aplicación de un campo magnético externo: diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo.

3.1.1 DIAMAGNETISMO

En los minerales y en presencia de un campo magnético externo, los electrones experimentan un torque que altera su momento angular (ΔL), generando un cambio en su momento magnético (Δm) en un sentido opuesto al campo magnético aplicado. Este fenómeno, conocido como diamagnetismo, induce una nueva magnetización M_I (Fórmula (3.2)).

$$M_I = \chi_d H \quad (3.2)$$

$$\chi_d < 0$$

Donde χ_d representa la susceptibilidad diamagnética y H corresponde al campo magnético externo aplicado. La respuesta diamagnética se produce en todo tipo de sustancias, y los valores de χ_d son independientes de la temperatura.

3.1.2 PARAMAGNETISMO

Los *spins* desapareados dentro de un átomo se comportan como dipolos magnéticos que, en presencia de un campo magnético externo, se alinean creando una magnetización neta M_N (Fórmula (3.3)). Este fenómeno se conoce como paramagnetismo.

$$M_N = \chi_p H \quad (3.3)$$

$$\chi_p > 0$$

Donde χ_p corresponde a la susceptibilidad paramagnética y H representa el campo magnético externo aplicado. La respuesta paramagnética se produce en sustancias que presentan *spins* desapareados, y los valores de χ_p , significativamente superiores a los de $-\chi_d$, son inversamente proporcionales a la temperatura.

3.1.3 FERROMAGNETISMO

En algunas sustancias ocurre una fuerte interacción entre *spins* cercanos, que son capaces de experimentar un alineamiento de largo alcance, de modo de minimizar la *energía de intercambio*. En función de la estructura cristalina del material, se reconocen tres categorías de alineamiento:

- A. Ferromagnetismo (*sensu stricto*): *spins* se disponen de forma paralela, produciéndose un momento magnético neto (Figura 3-1(A)).
- B. Anti-ferromagnetismo: *spins* se disponen de manera anti-paralela, donde no se genera un momento magnético neto (Figura 3-1(B)).
- C. Anti-ferromagnetismo de *spins* inclinados: *spins* se disponen anti-paralelamente con un grado de inclinación, de modo que se produce un momento magnético neto débil (Figura 3-1(C)).

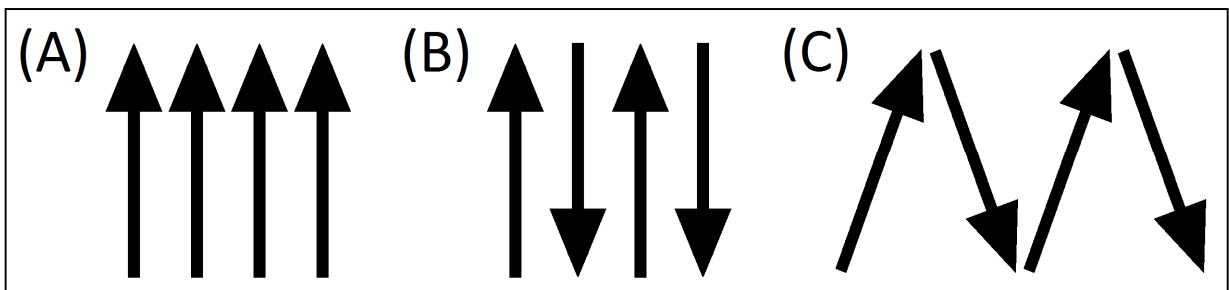


Figura 3-1: Tipos de alineamiento de *spins* en ferromagnetismo. (A) Ferromagnetismo (*sensu stricto*). (B) Anti-ferromagnetismo. (C) Anti-ferromagnetismo de *spins* inclinados.

El ferromagnetismo es particularmente importante en elementos de transición, debido a que la forma de los orbitales 3d y la prevalencia de *spins* desapareados favorece la interacción entre *spins* vecinos.

El comportamiento ferromagnético disminuye a valores crecientes de temperatura, producto del incremento en el tamaño cristalino. La temperatura a partir de la cual la respuesta

ferromagnética desaparece completamente se denomina Temperatura de Curié (T_c) y es característica para cada cristal.

Dada su capacidad de generar alineamientos de *spins* de largo alcance, la susceptibilidad magnética de un material que presenta comportamiento ferromagnético es significativamente superior a la de sustancias donde domina la respuesta paramagnética o diamagnética; de modo que los cristales ferromagnéticos tienden a ser los principales controladores de la susceptibilidad magnética de un material, aún cuando no sean los más abundantes.

3.2 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA EN EL ESTUDIO DE GRANITOIDES

En el caso de muestras de roca, la susceptibilidad magnética es la suma del aporte asociado a todos los minerales presentes, los cuales pueden ser clasificados en tres categorías, de acuerdo al tipo de comportamiento dominante ante la aplicación de un campo magnético externo:

- A. Minerales diamagnéticos; con susceptibilidad magnética negativa del orden de -10^{-6} [SI]. Algunos minerales diamagnéticos son el cuarzo y el feldespato.
- B. Minerales paramagnéticos; con valores de susceptibilidad magnética del orden de $10^{-5} - 10^{-4}$ [SI], e incluyen a minerales como la biotita y la anfíbola.
- C. Minerales ferromagnéticos; con valores de susceptibilidad magnética sobre 10^{-3} [SI]. Incluyen minerales de la serie magnetita (Fe_3O_4) - ulvoespinela (Fe_2TiO_4), hematita (Fe_2O_3) - ilmenita ($FeTiO_3$) y pirrotina ($Fe_{1-x}S$).

Estos valores se ven afectados por la composición química de los minerales (en silicatos ferromagnesianos y óxidos Fe-Ti, la susceptibilidad magnética se ve favorecida por mayores contenidos de Fe) y, al menos en el caso de la magnetita, por el tamaño de los cristales (Day *et al.*, 1977; Hartstra, 1982).

Para el caso de granitoides, la susceptibilidad magnética ha sido ampliamente utilizada como un indicador de procesos petrológicos, principalmente para distinguir entre granitos de la serie magnetita e ilmenita (Ishihara, 1977; Ishihara *et al.*, 2000).

Por otro lado, como la susceptibilidad magnética refleja la abundancia, naturaleza y composición química de los minerales constituyentes; es esperable que entregue información petrográfica de un plutón: en granitos de la serie magnetita, el principal condicionante de la susceptibilidad magnética es la titanomagnetita; mientras que la ilmenita y los silicatos

ferromagnesianos son los mayores controladores de dicha magnitud en granitos de la serie ilmenita.

Finalmente, en base a trabajos previos se ha establecido el potencial de la susceptibilidad magnética como indicador de cambios geoquímicos al interior de un granitoide, tanto para granitos de la serie ilmenita (Gleizes *et al.*, 1993) como de la serie magnetita (Aydin *et al.*, 2007); encontrando buenos coeficientes de correlación lineal entre la susceptibilidad magnética y contenidos de SiO₂ y FeO.

3.3 MINERALOGÍA MAGNÉTICA

El hierro es el elemento de transición más abundante en la Tierra y el único que se presenta como elemento mayor en muestras de roca; de modo que la susceptibilidad magnética está condicionada principalmente por minerales de hierro.

3.3.1 ÓXIDOS DE HIERRO

Existen dos series de solución sólida de óxidos de Fe-(Ti): magnetita (Fe₃O₄) - ulvoespinela (Fe₂TiO₄) y hematita (Fe₂O₃) - ilmenita (FeTiO₃) (Figura 3-2).

En este tipo de minerales, el ión Ti⁴⁺ es un sustituyente común del hierro, y dado su diferente tamaño y ausencia de *spins* desapareados, las propiedades magnéticas de estas sustancias se ven fuertemente afectadas por el contenido de titanio.

Durante el proceso de enfriamiento de un magma, los óxidos de Fe-(Ti) comienzan a cristalizar a temperaturas del orden de 1300°C, existiendo solución sólida completa a temperaturas sobre los 600°C (serie magnetita - ulvoespinela) y 800°C (serie hematita - ilmenita). A temperaturas menores se tienden a generar texturas de exsolución de fases (bandas ricas y pobres en titanio, *lamellae*), cuya formación se ve favorecida en magmas con bajas tasas de enfriamiento. El proceso de exsolución, adicionalmente, tiende a reducir el tamaño de los cristales.

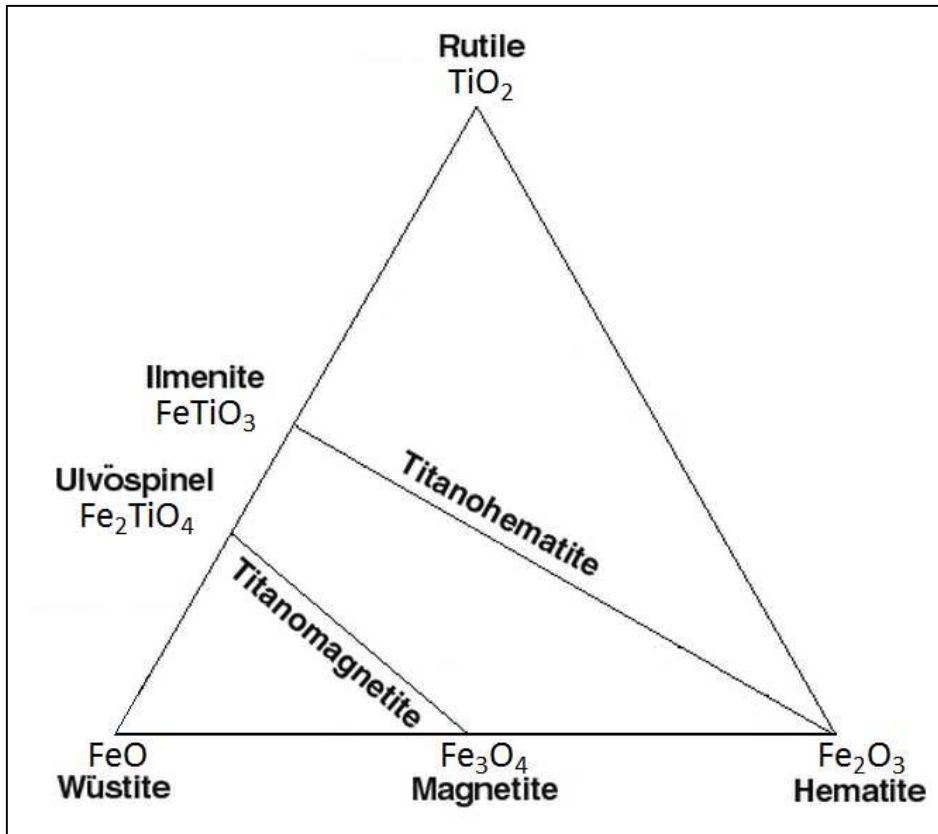


Figura 3-2: Diagrama ternario de óxidos de hierro. Modificado de O'Reilly (1984).

3.3.1.1 TITANOMAGNETITA ($\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$)

La titanomagnetita puede presentarse como mineral primario en rocas ígneas o como resultado de oxidación de alta temperatura, y exhibe valores de susceptibilidad magnética y Temperatura de Curié inversamente proporcionales al contenido de titanio en la solución sólida (x).

3.3.1.2 HEMATITA-ILMENITA ($\text{Fe}_{2-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$)

La hematita ocurre como resultado de procesos de oxidación de alta temperatura en algunas rocas ígneas; y la sustitución de Ti tiene importantes consecuencias sobre las propiedades magnéticas: para el extremo férrico de la solución sólida, la magnetización es anti-ferromagnética de *spins* inclinados; mientras que a partir de $y = 0.45$, la magnetización se vuelve ferromagnética. El contenido de titanio en la solución sólida (y) es inversamente proporcional a la Temperatura de Néel¹.

¹ Equivalente a la Temperatura del Curié, para el caso de minerales anti-ferromagnéticos.

3.3.2 OXI-HIDRÓXIDOS DE HIERRO

El oxi-hidróxido de hierro más abundante en la naturaleza es la goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) (Tauxe *et al.*, 2010), que ocurre como producto de la meteorización de minerales de Fe o como precipitado de soluciones ricas en Fe. Es anti-ferromagnético y su Temperatura de Néel es de 100° - 150°C .

3.3.3 SULFUROS DE HIERRO

La pirrotina ($\text{Fe}_7\text{S}_8 - \text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$) es el sulfuro de hierro más relevante en términos de paleomagnetismo (Tauxe *et al.*, 2010), y ocurre en ambientes reductores. Es un mineral ferromagnético y su Temperatura de Curié es de 325°C .

4 ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 GEOLOGÍA DEL PLUTÓN LA GLORIA

El plutón La Gloria, ubicado 40 km al este de Santiago, es una intrusión epizonal que forma parte de un cinturón N-S de intrusivos granodioríticos a cuarzo-monzoníticos de edad Mioceno medio a superior (Drake *et al.*, 1982; Cornejo y Mahood, 1997; Deckart *et al.*, 2010) (Figura 4-1). Este plutón fue emplazado durante un activo período de magmatismo Andino (Vergara *et al.*, 1988), e intruye a rocas volcánicas y volcanoclásticas continentales de edad Oligoceno - Mioceno, que han sido asignadas a la Formación Abanico (Thiele, 1980; Nystrom *et al.*, 2003).

El intrusivo, de forma elongada, tiene orientación NNW (Mahood y Cornejo, 1992), con un largo de ~20 km, un ancho de 3 – 6 km y una exposición vertical de 2,5 km. Pese a que fue emplazado al oeste de un sistema inferido de fallas inversas de orientación N-S (Figura 4-1), no presenta evidencias significativas de deformación post-intrusión (Cornejo y Mahood, 1997).

El cuerpo principal del plutón no evidencia contactos internos entre zonas de diferente textura o composición, con la excepción de la presencia de enclaves máficos, leucogranitos y un pequeño volumen sub-circular de monzodiorita porfírica, cerca del contacto este del intrusivo (Cornejo y Mahood, 1997).

Los leucogranitos ocurren como diques y sills, de espesores centimétricos a métricos, que se hospedan tanto en el plutón La Gloria como en la roca de caja (Mahood y Cornejo, 1992; Cornejo y Mahood, 1997), lo que sugiere que los leucogranitos corresponden a líquidos residuales generados por cristalización en otras partes de la cámara magmática (Gutiérrez *et al.*, 2013a).

Los enclaves máficos se encuentran distribuidos en toda la extensión del intrusivo. Los más comunes corresponden a diorita de grano fino, aunque también se observan enclaves máficos consistentes en cuarzo diorita de grano medio (Cornejo y Mahood, 1997), fragmentos andesíticos y volcanoclásticos.

Se identifican diferentes tipos de alteración en función de la elevación dentro del intrusivo (Cornejo y Mahood, 1997): las rocas de los niveles inferiores se encuentran frescas, sin evidencias de reemplazo hidrotermal; mientras que los sectores cercanos a las paredes del

intrusivo se observan cloritizados. Por otro lado, hacia el techo del plutón La Gloria, se observan evidencias de argilización de cristales de feldespato y oxidación de minerales máficos.

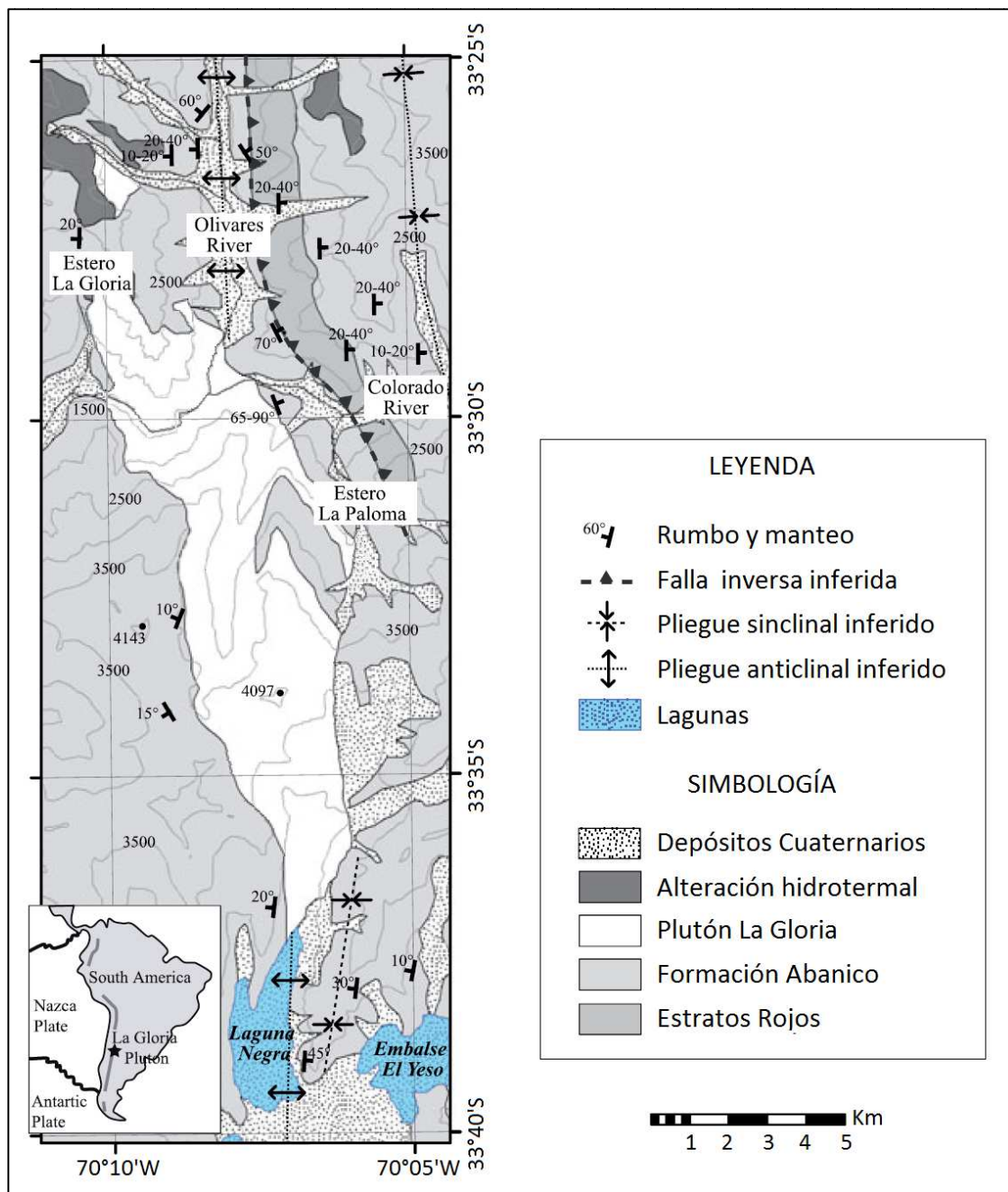


Figura 4-1: Mapa geológico del área de estudio. Modificado de *Gutiérrez et al. (2013a)*.

4.2 PETROGRAFÍA Y COMPOSICIÓN MINERAL

El plutón La Gloria presenta variaciones tanto verticales como horizontales en su composición mineralógica y textura (Cornejo y Mahood, 1997). En base a esto, Cornejo y Mahood (1997) definieron cinco zonas dentro del intrusivo:

- A. Nivel inferior (centro): ubicado entre 1500 y 2400 msnm, en los sectores lejanos a las paredes del intrusivo. Las litologías dominantes son granodiorita o cuarzo monzodiorita equigranular de grano medio.
- B. Nivel inferior (borde): localizado entre 1500 y 2400 msnm, cerca de las paredes del intrusivo. Las muestras de roca, en general, corresponden a granodiorita o cuarzo monzodiorita inequigranular de hornblenda, de grano medio a grueso.
- C. Nivel medio (centro): ubicado entre 2400 y 3500 msnm, en los sectores lejanos a las paredes del plutón. Las litologías dominantes son cuarzo monzodiorita y cuarzo monzonita equigranular de grano medio a grueso.
- D. Nivel medio (borde): se localiza entre 2400 y 3500 msnm, cerca de los márgenes del intrusivo. Las muestras de roca se concentran en los campos de cuarzo monzodiorita y cuarzo monzonita inequigranular de grano medio a grueso.
- E. Nivel superior: se ubica sobre 3500 msnm, y corresponde principalmente a cuarzo monzonita inequigranular de grano medio a grueso.

La Figura 4-2 presenta un diagrama QAP con la composición modal de muestras del plutón La Gloria, donde se incluyen los datos de Cornejo (1990) e información proveniente del análisis de las secciones delgadas translúcidas utilizadas en este estudio (el detalle de las descripciones petrográficas se encuentra en el Apéndice B).

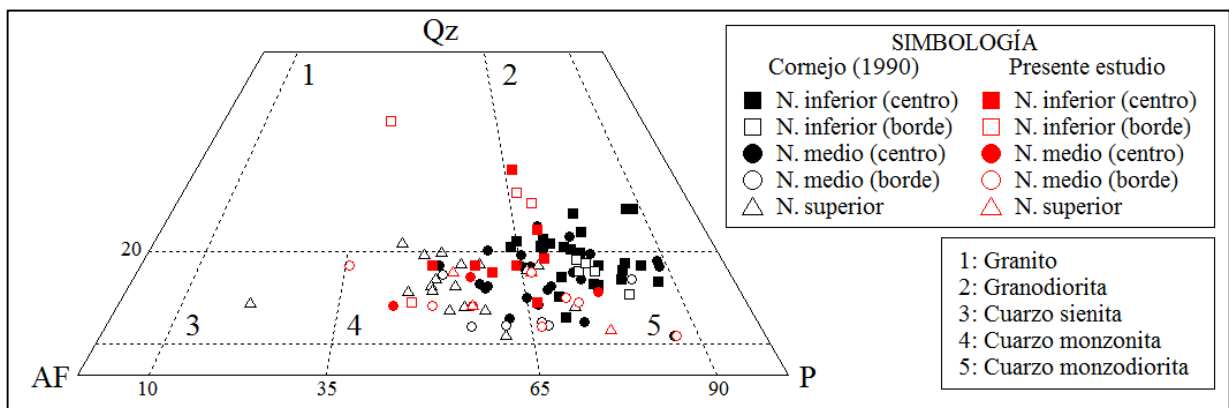


Figura 4-2: Diagrama QAP de composición modal. Incluye datos de Cornejo (1990) (símbolos negros) e información provenientes de este estudio (símbolos rojos).

A continuación, se presentan algunas características de las fases minerales presentes en el plutón La Gloria, basado en [Cornejo y Mahood \(1997\)](#):

Plagioclasa:

En el nivel inferior del plutón, la plagioclasa ocurre como cristales euhedrales (0,5 mm) pobremente zonados ($An_{25} - An_{10}$) o como cúmulos ($An_{35} - An_{10}$), donde predominan patrones de zonación normal oscilatoria y se observan inclusiones de piroxeno alineadas con los planos de crecimiento. En el nivel intermedio y superior, la plagioclasa se presenta como cristales euhedrales (1,0 mm; $An_{40} - An_{10}$) y su composición modal tiende a ser menor que en el nivel inferior del intrusivo.

Piroxeno:

Presente localmente en el nivel inferior y medio del plutón, con contenidos que en general no superan el 1%. El ortopiroxeno solo se observa como inclusión dentro de cristales de plagioclasa; mientras que los cristales de clinopiroxeno ocurren como fases aisladas, inclusiones dentro de cristales de plagioclasa, en los intersticios de zonas con plagioclasa acumulada y como núcleos remanentes de cristales de hornblenda y biotita.

Anfíbola:

Es el mineral máfico más abundante en el plutón La Gloria. En el nivel inferior, ocurre como granos aislados subhedrales (1 mm) y en cúmulos máficos irregulares. Hacia el techo del intrusivo, los cúmulos de anfíbola se vuelven menos abundantes, y los cristales aislados presentan tamaños mayores (1 – 4 mm).

Composicionalmente, los cristales de anfíbola se ubican entre los campos de actinolita y hornblenda; y muestran un leve crecimiento en la razón $Mg/(Mg + Fe)$ hacia el techo del plutón.

Biotita:

Ocurre principalmente como cristales subhedrales y euhedrales (0,2 – 1,5 mm), cuya distribución es irregular dentro del intrusivo. La presencia de biotita se concentra en los niveles inferior e intermedio del plutón, y se observa rodeando a cúmulos de anfíbola y como cristales aislados euhedrales, asociados a magnetita euhedral y ortoclasa. La composición de los cristales de biotita exhibe un crecimiento en la razón $Mg/(Mg + Fe)$ hacia el techo del plutón.

Feldespato potásico:

Corresponde a ortoclasa micro-pertítica y su abundancia crece hacia el techo del plutón, desde menos del 10% en algunas zonas del nivel inferior (cristales intersticiales, 0,3 – 1,0 mm) hasta cerca del 40% modal (cristales euhedrales con exsolución pertítica gruesa, 2,0 – 4,5 mm). La composición promedio del feldespato potásico oscila entre Or₈₃ (granos pequeños e intersticiales del nivel inferior) y Or₆₆ (cristales euhedrales milimétricos, cercanos al techo del intrusivo).

Óxidos Fe-Ti:

La proporción entre magnetita e ilmenita es aproximadamente 4:1, y ocurren como cristales individuales euhedrales a subhedrales, inclusiones dentro de anfíbola y biotita o rodeando grandes cúmulos de anfíbola. Los granos de magnetita son homogéneos, no muestran evidencias ópticas de exsolución *lamellae* y presentan una proporción de ulvoespinela extremadamente baja.

Apatito:

Mineral accesorio común en el plutón La Gloria. En el nivel inferior, los cristales de apatito ocurren como inclusiones en cúmulos de anfíbola y biotita, y como cristales subhedrales independientes (tamaño inferior a 0,1 mm). En los niveles intermedio y superior, con menores contenidos de apatito, esta fase se observa como cristales euhedrales de tamaño inferior a 0,5 mm.

Titanita:

La titanita es otro mineral accesorio común en el plutón La Gloria y ocurre de dos formas: granos subhedrales a euhedrales localizados en los espacios intersticiales entre biotita y feldespato potásico (tamaño del orden de 0,5 mm); y granos irregulares, menos abundantes, que rodean a cristales de óxidos Fe-Ti (tamaño inferior a 0,3 mm).

4.3 PROPIEDADES MAGNÉTICAS

La susceptibilidad magnética del plutón La Gloria está controlada por cristales de magnetita multi-dominio pobres en Ti, y oscila entre $2 \cdot 10^{-3}$ y $10 \cdot 10^{-3}$ [SI] (Gutiérrez *et al.*,

2013a), observándose un crecimiento en la susceptibilidad magnética hacia el techo y las paredes del intrusivo.

El grado de anisotropía, definido a partir de la Fórmula (4.1), varía entre 1,01 y 1,17.

$$P = LF \quad (4.1)$$

Donde L es la lineación magnética y F es la foliación magnética.

Los mayores valores de anisotropía se ubican en el contacto este del plutón y en su nivel superior (Gutiérrez *et al.*, 2013a). La lineación magnética presenta una orientación NNW-SSE, manteo sub-horizontal y bajos valores promedio. La foliación magnética, por otro lado, presenta una orientación NE-SW y su manteo varía desde vertical (paredes del plutón) hasta horizontal (centro del intrusivo) (Gutiérrez *et al.*, 2013a; Payacán *et al.*, 2013).

5 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA EN EL PLUTÓN LA GLORIA

5.1 SITIOS DE MUESTREO Y RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

La Figura 5-1 muestra un mapa geológico del plutón La Gloria, donde se incluye la ubicación de los sitios de muestreo a partir de los cuáles se generaron los datos magnéticos.

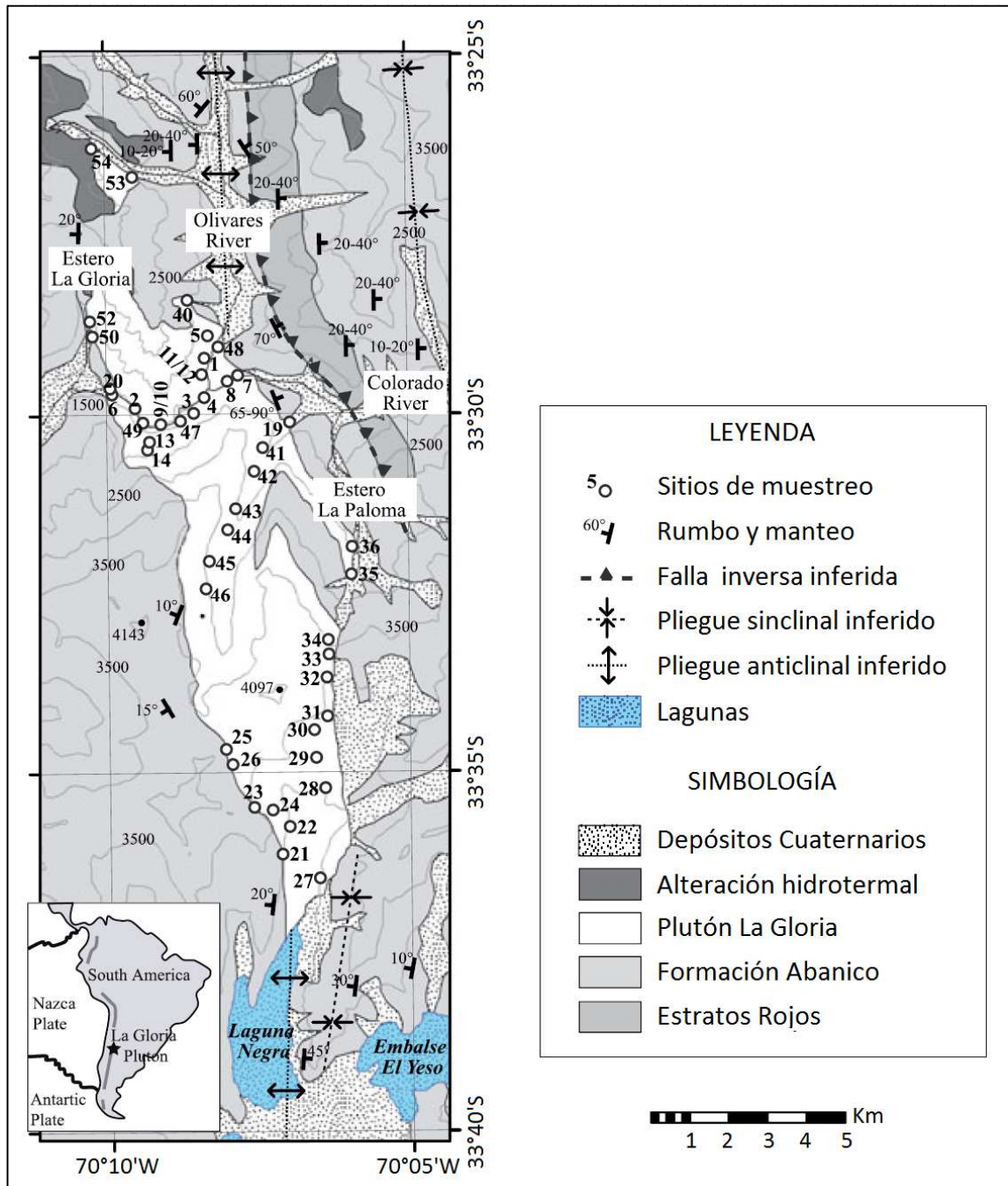


Figura 5-1: Mapa geológico del área de estudio, donde se incluyen los sitios de muestreo magnético. Modificado de Gutiérrez *et al.* (2013a).

Por otro lado, la información geográfica de cada uno de los sitios de muestreo y los resultados de susceptibilidad magnética se presentan en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Información geográfica de los sitios de muestreo magnético y resultados de susceptibilidad magnética.

Sitio de muestreo	Información geográfica (UTM, zona 19H)			Susceptibilidad magnética (10^{-6} [SI])	
	Este [m]	Norte [m]	Altitud [msnm]	Promedio	Desviación E.
1	394163	6294138	1487	4594	260
2	392375	6292848	1450	4678	258
3	393879	6292726	1510	2979	266
4	394160	6293132	1515	4269	336
5	394234	6294721	1680	4100	427
6	391785	6293201	1418	4339	365
7	395019	6293710	1545	4506	366
8	394745	6293557	1522	4183	1347
9	393032	6292433	1419	5070	459
10	393032	6292433	1575	4642	2627
11	394091	6293716	1590	4103	234
12	394091	6293716	1650	4234	324
13	392706	6291770	1737	4681	277
14	392754	6291976	1651	4187	1554
19	396362	6292496	1353	4454	861
20	391737	6293345	1507	4905	1890
21	396379	6282074	2997	5513	531
22	396191	6281369	3014	6427	2844
23	395464	6282567	3425	7178	2835
24	395934	6282496	3215	5363	943
25	394731	6284047	3822	5899	2027
26	394903	6283669	3687	6180	957
27	397159	6280745	2999	5385	225
28	397285	6283071	3040	4628	1889
29	397059	6283854	3235	5530	1419
30	397342	6284918	3406	5522	888
31	397000	6284567	3375	8483	1273
32	397318	6285921	3592	5550	667
33	397374	6286502	3604	6080	1025
34	397360	6286881	3410	7018	802
35	397955	6288593	2665	6900	883
36	397974	6289307	2434	4992	388
40	393717	6295630	2078	6228	601
41	395670	6291834	2050	4884	368
42	395441	6291236	2232	5571	1326
43	394963	6290259	2518	4024	424
44	394774	6289731	2631	5376	463
45	394292	6288921	2820	5428	613
46	394149	6288199	2944	7300	989
47	393543	6292516	1480	4578	602
48	394515	6294436	1574	4564	325
49	392583	6292464	1472	4754	783
50	391190	6294784	1793	6611	1347
52	391203	6295083	1965	4801	409
53	392301	6298794	2486	5143	310
54	391237	6299524	2980	4371	763

5.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

Mayoritariamente, las mediciones de susceptibilidad magnética del plutón La Gloria oscilan entre $3000 \cdot 10^{-6}$ [SI] y $8000 \cdot 10^{-6}$ [SI], con un promedio de $5230 \cdot 10^{-6}$ [SI]. De acuerdo a Ishihara (1977), esto indicaría que el intrusivo corresponde a un granitoide de la serie magnetita. Las 412 mediciones muestran una distribución unimodal con una asimetría levemente positiva (Figura 5-2).

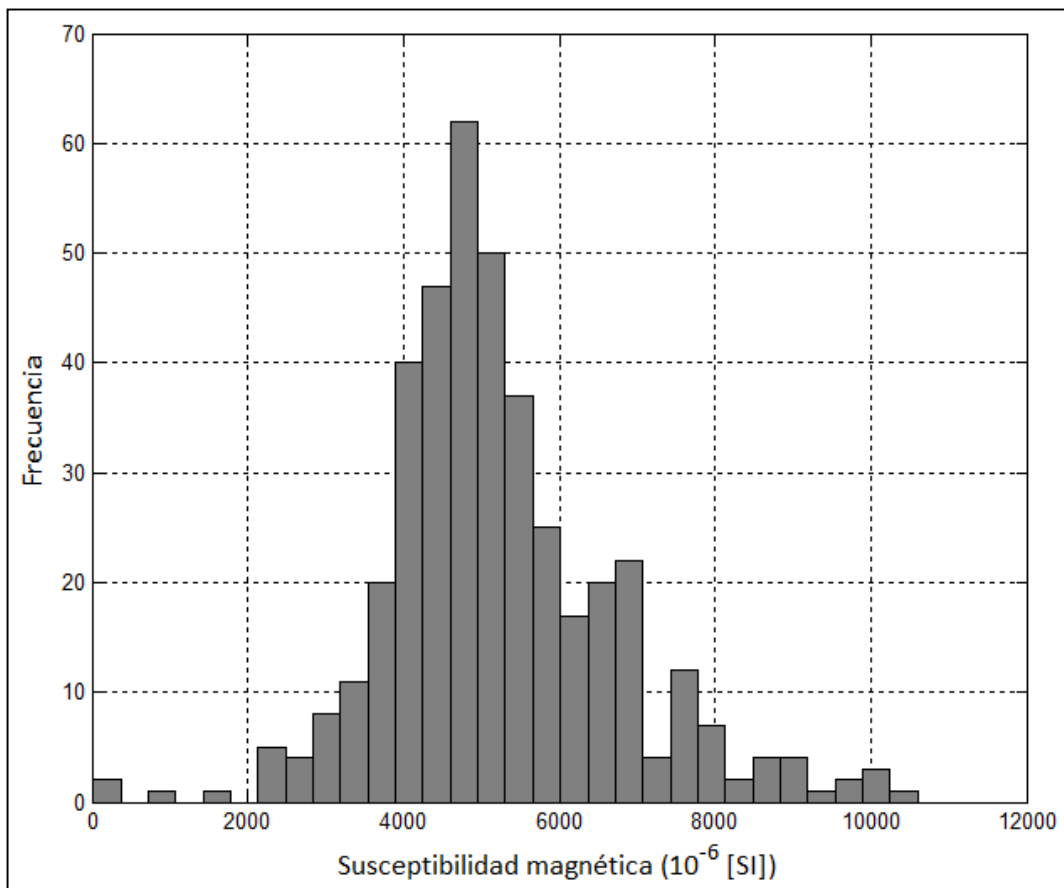


Figura 5-2: Histograma de distribución de los resultados de susceptibilidad magnética.

5.3 MODELOS DE VARIACIÓN ESPACIAL DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

La Figura 5-3 presenta los datos de susceptibilidad magnética promedio de cada uno de los sitios de muestreo proyectados en una representación en planta del intrusivo, y el modelo de variación espacial de la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria generado en base a la extrapolación de los resultados magnéticos en planta.

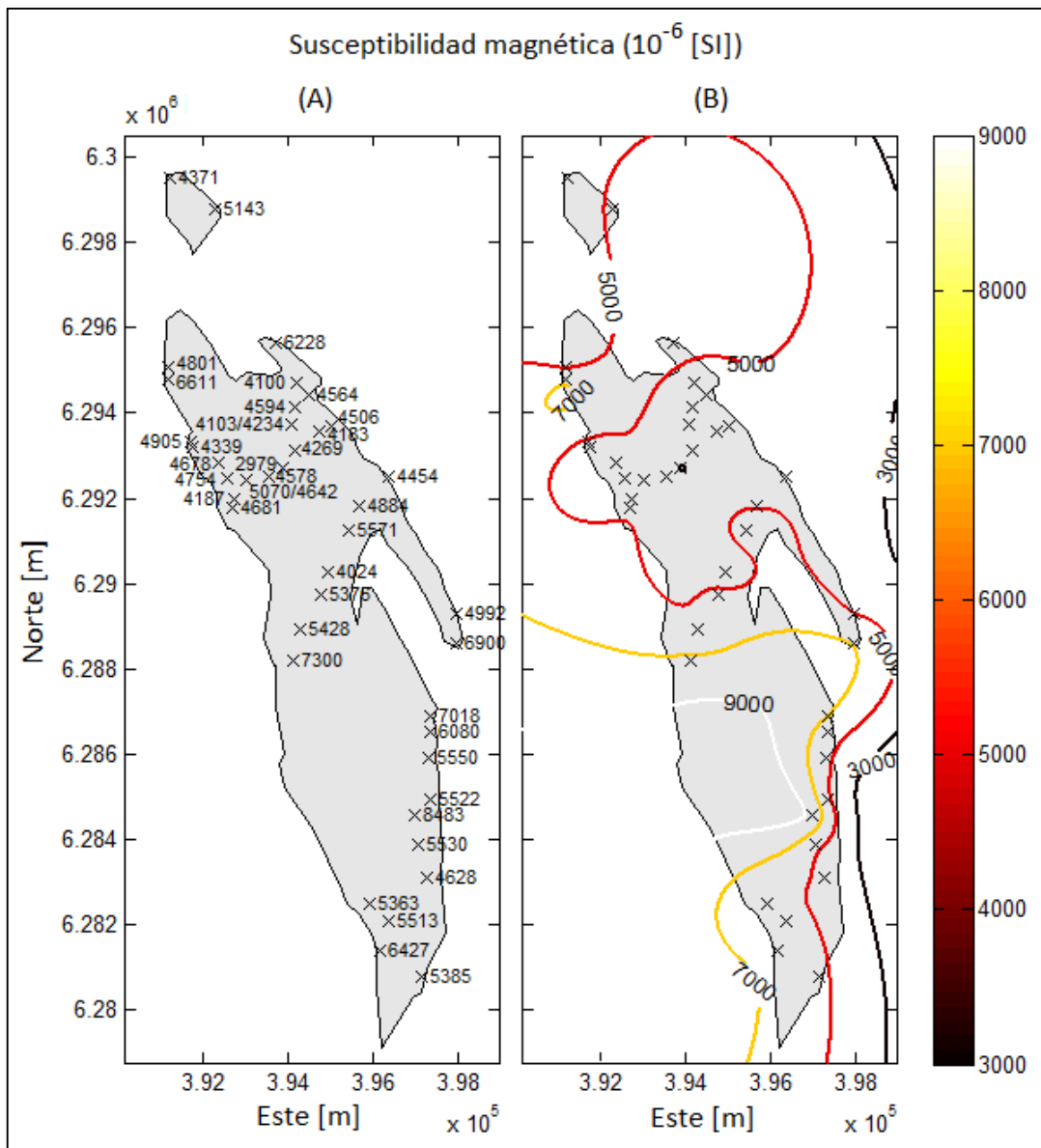


Figura 5-3: (A) Proyección en planta de los datos de susceptibilidad magnética promedio de los sitios de muestreo. (B) Modelo en planta de la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria. Las cruces representan la ubicación de los sitios de muestreo magnético.

Equivalentemente, la Figura 5-4 presenta la proyección de los datos de susceptibilidad magnética promedio en una sección N60E de ancho normalizado del intrusivo, y el modelo de variación espacial de la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria, producido a partir de la extrapolación de los resultados magnéticos en sección N60E.

En la Figura 5-4, se observa la presencia de un núcleo de susceptibilidad magnética relativamente baja en zonas de poca altitud y alejadas de los bordes del plutón, y valores crecientes hacia el techo y paredes del intrusivo. Dada la distribución de la altitud de exposición

del plutón La Gloria, los resultados de susceptibilidad magnética aumentan de norte a sur (Figura 5-3) (Gutiérrez *et al.*, 2013a).

El promedio de susceptibilidad magnética en aquellas muestras ubicadas a una altitud superior a 2600 msnm ($5990 \pm 1030 (10^{-6} [SI])$) es significativamente superior al de los sitios situados bajo los 2000 msnm y que se encuentran alejados del contacto con la roca de caja ($4380 \pm 460 (10^{-6} [SI])$); de modo que la presencia de un aumento sistemático de la susceptibilidad magnética hacia el techo del intrusivo no es producto de la distribución irregular de los sitios de muestreo.

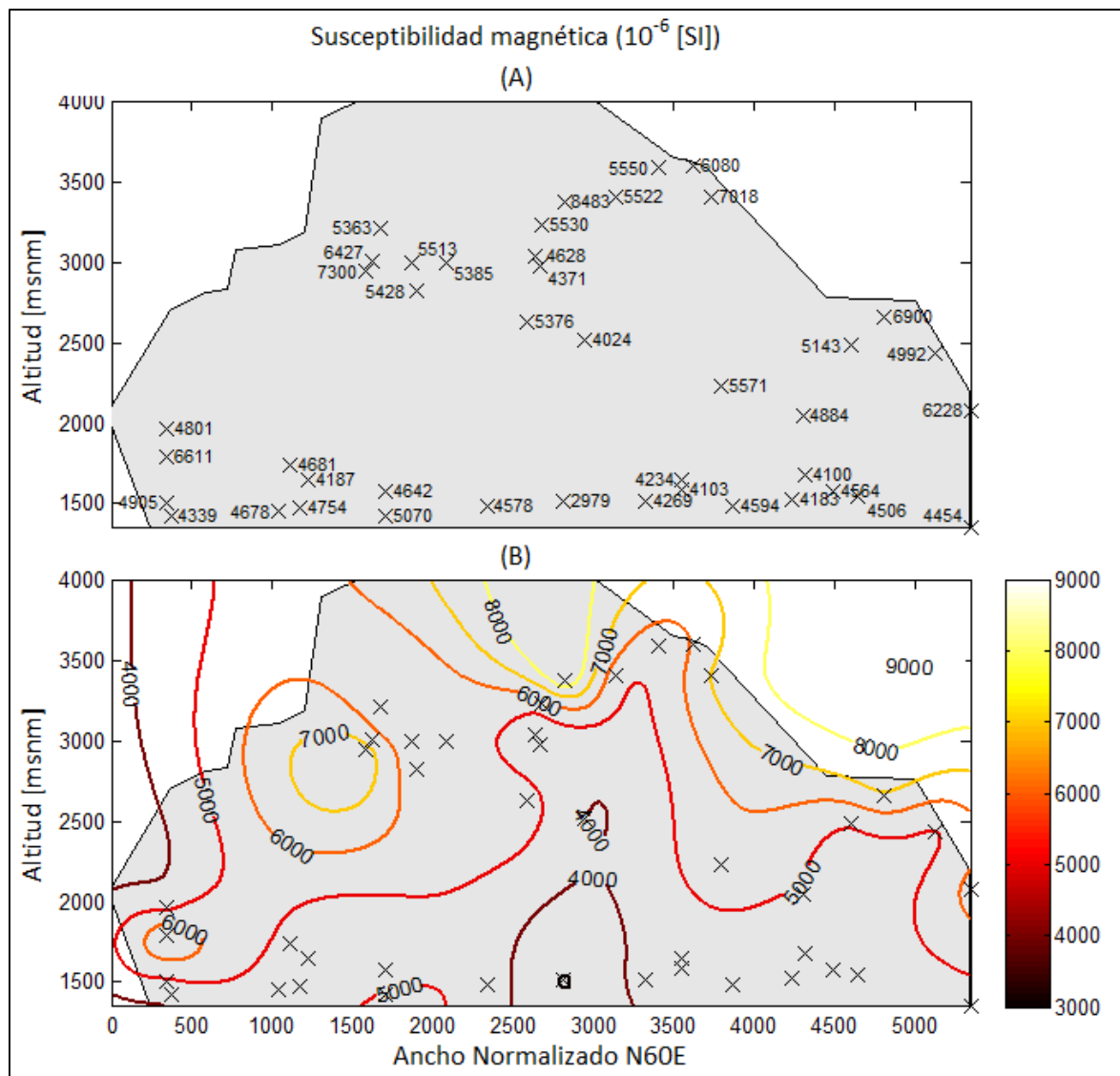


Figura 5-4: (A) Proyección en sección N60E de ancho normalizado de los datos de susceptibilidad magnética promedio de los sitios de muestreo. (B) Modelo en sección N60E de ancho normalizado de la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria. Las cruces representan la proyección de los sitios de muestreo magnético.

5.4 PARÁMETROS DE CONFIANZA DE LOS MODELOS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

5.4.1 DEFINICIÓN DEL PARÁMETRO DE CONFIANZA

Para establecer el parámetro de confianza del valor extrapolado de susceptibilidad magnética en un punto determinado, se han creado dos funciones que buscan reflejar tanto la cercanía como la distribución espacial de los sitios de muestreo de datos magnéticos, con respecto al punto en cuestión. La Fórmula (5.1) muestra la expresión utilizada en el modelo en planta, donde el parámetro de confianza depende de tres coordenadas; y la Fórmula (5.2) muestra la expresión utilizada en el modelo en sección N60E de ancho normalizado.

$$\text{Confianza}(E, N, H) = c_3 \left(\sum_{j=1}^8 \log \left(1 + \sum_{i=1}^N \frac{c_1}{c_2 + (E - E_{ji})^2 + (N - N_{ji})^2 + (f(H - H_{ji}))^2} \right) \right) \quad (5.1)$$

$$\text{Confianza}(x, y) = c_6 \left(\sum_{j=1}^4 \log \left(1 + \sum_{i=1}^N \frac{c_4}{c_5 + (x - x_{ji})^2 + (y - y_{ji})^2} \right) \right) \quad (5.2)$$

Donde el subíndice i se refiere a los puntos de muestreo de susceptibilidad magnética y el subíndice j se refiere al cuadrante en que dicho punto está, considerando (E, N, H) o (x, y) como origen, respectivamente. El argumento de la función presente en la Fórmula (5.1) representa las coordenadas este, norte y altitud, respectivamente; mientras que el argumento de la función presente en la Fórmula (5.2) corresponde a las coordenadas de un punto cualquiera de la sección N60E de ancho normalizado. Las constantes c_1, \dots, c_6 se han determinado heurísticamente, y el valor de f se ha calculado a partir de un procedimiento detallado en la sección Apéndice C.

5.4.2 CONSTANTES EMPLEADAS EN EL PARÁMETRO DE CONFIANZA

La Tabla 5-2 muestra el valor de las constantes utilizadas para calcular los parámetros de confianza asociados a los modelos de susceptibilidad magnética, tanto en planta como en sección N60E de ancho normalizado (Fórmulas (5.1) y (5.2)).

Tabla 5-2: Valor de las constantes asociadas al cálculo del parámetro de confianza de los modelos de susceptibilidad magnética.

Modelo en planta	
c_1	20.000
c_2	12.000
c_3	25
f	40
Modelo en sección N60E de ancho normalizado	
c_4	20.000
c_5	12.000
c_6	10

5.4.3 VARIACIÓN ESPACIAL DEL PARÁMETRO DE CONFIANZA

Las Figuras 5-5 y 5-6 muestran la distribución del coeficiente de confianza de los modelos de susceptibilidad magnética en planta y en sección N60E de ancho normalizado. Considerando que para el modelo en planta se tiene una función dependiente de tres coordenadas, se muestran cuatro gráficos en los cuales se fija el valor de la altitud.

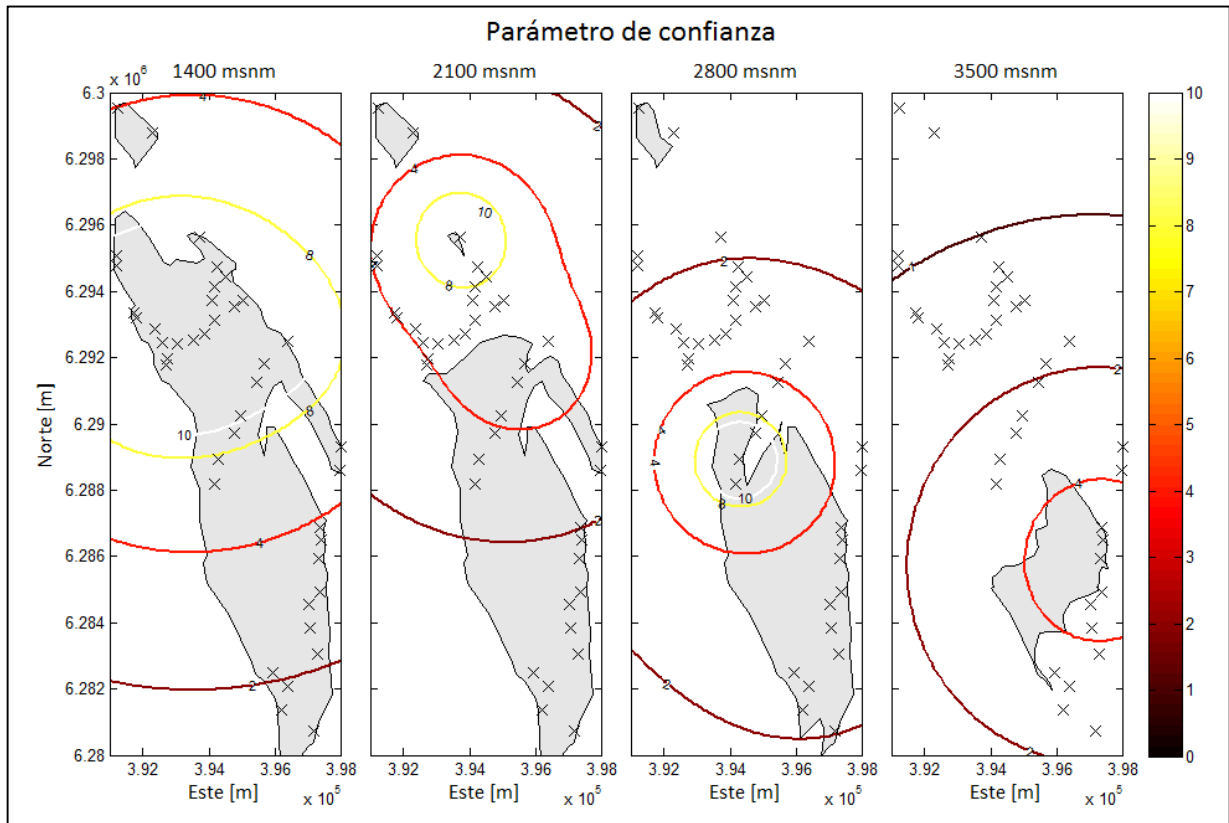


Figura 5-5: Parámetro de confianza asociado al modelo de susceptibilidad magnética en planta para distintas altitudes. Las cruces representan la ubicación de los sitios de muestreo magnético.

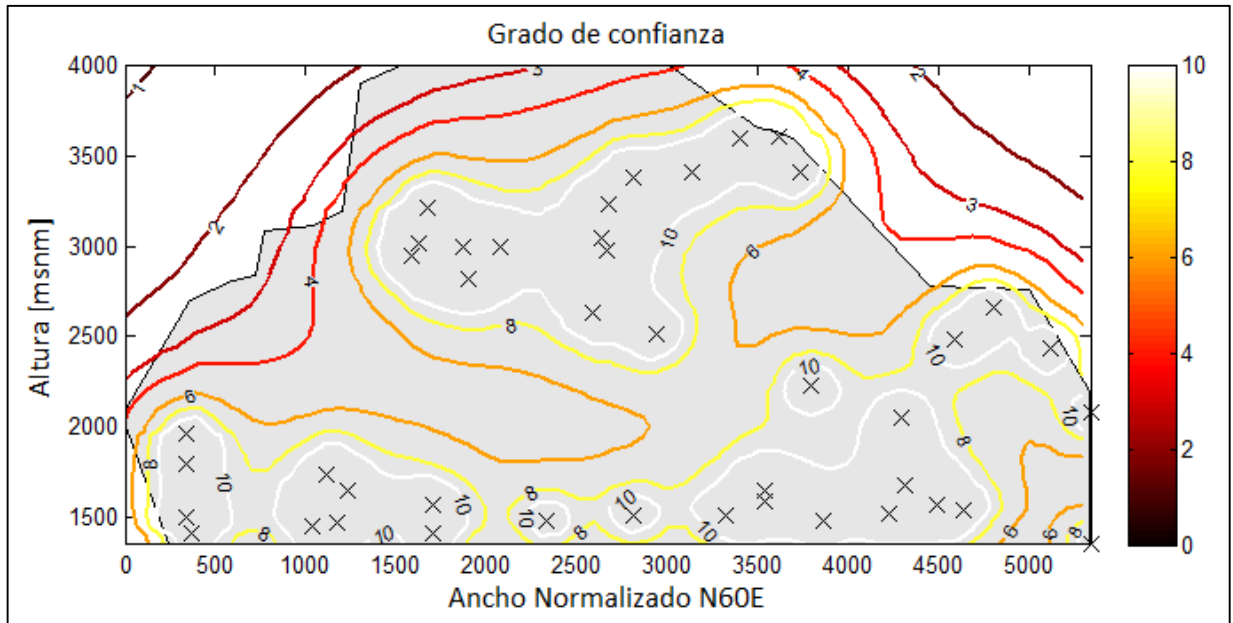


Figura 5-6: Parámetro de confianza asociado al modelo de susceptibilidad magnética en sección N60E de ancho normalizado. Las cruces representan la proyección de los sitios de muestreo magnético.

6 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES EN EL PLUTÓN LA GLORIA Y SU RELACIÓN CON LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

6.1 SITIOS DE MUESTREO Y RESULTADOS GEOQUÍMICOS DE ROCA TOTAL

La ubicación de los sitios de muestreo geoquímico (Cornejo, 1990) se presenta en la Figura 6-1; mientras que las Tablas 6-1 y 6-2 muestran la información geográfica, geoquímica y el parámetro de confianza asociado a los modelos de susceptibilidad magnética (ver sección 5.4), para cada uno de los sitios de muestreo geoquímico.

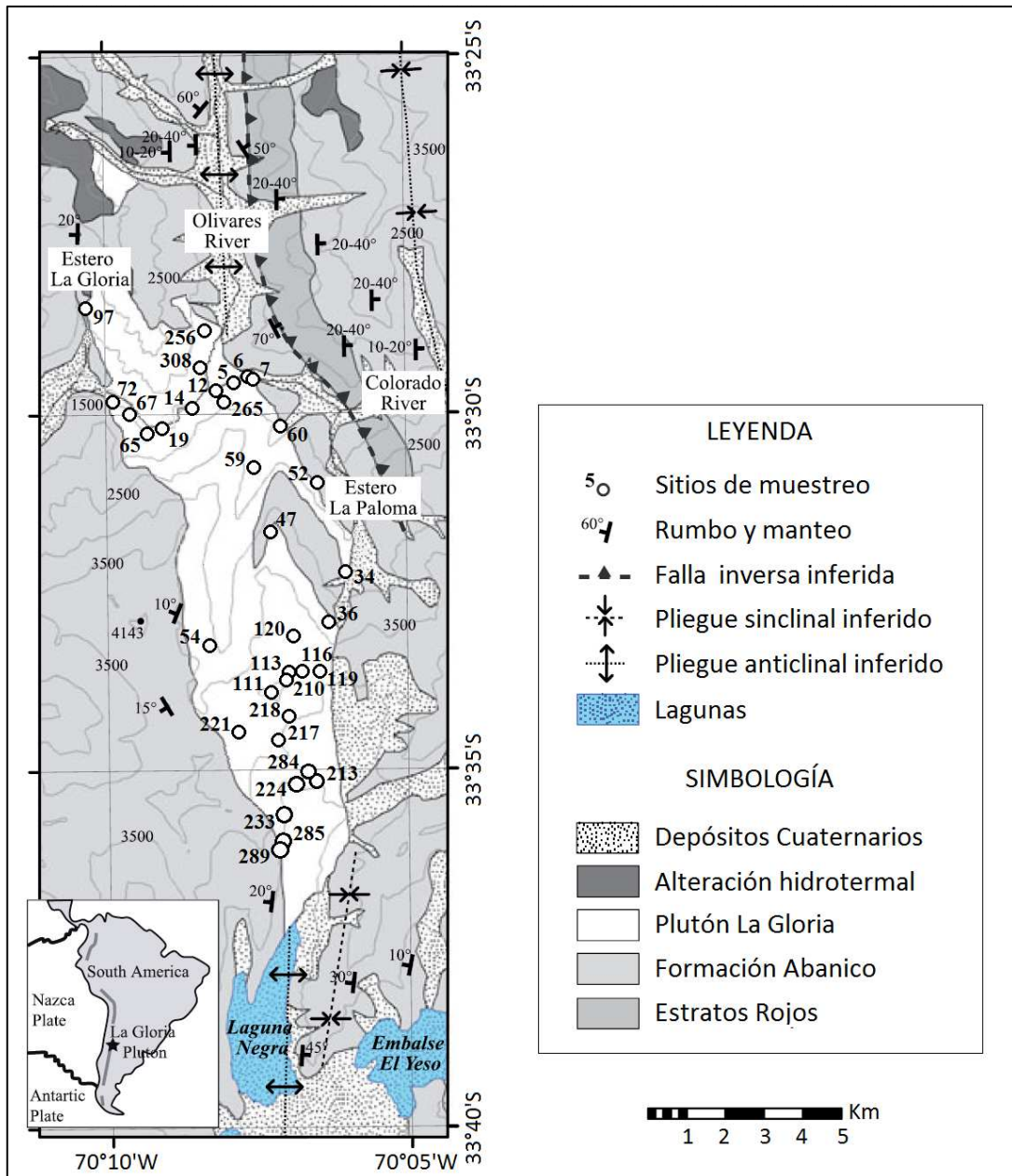


Figura 6-1: Mapa geológico del área de estudio, donde se incluyen los sitios de muestreo geoquímico. Basado en Cornejo (1990).

Tabla 6-1: Información geográfica, geoquímica (Cornejo, 1990) y parámetro de confianza de los modelos de susceptibilidad magnética de los sitios de muestreo geoquímico (1/2).

Muestra	Información geográfica (UTM, zona 19H)			Información geoquímica [% wt]												Parámetro de confianza	
	Este [m]	Norte [m]	Altitud [msnm]	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (t)	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Planta	Sección N60E		
5	394947	6293523	1565	66,7	15,7	4,14	1,70	3,39	4,27	3,36	0,56	0,04	0,15	64,48	19,63		
6	395317	6293627	1567	65,7	16,2	4,28	1,78	3,78	4,07	3,36	0,56	0,08	0,14	52,61	11,10		
7	395448	6293577	1568	65,1	16,6	4,47	1,83	3,88	4,12	3,27	0,59	0,06	0,14	46,37	7,47		
12	394535	6293296	1553	66,2	16,4	3,36	1,79	3,73	5,02	2,51	0,54	0,04	0,14	74,33	14,77		
14	393853	6292837	1551	68,3	15,7	3,56	1,48	3,19	3,99	3,17	0,44	0,05	0,12	52,78	11,60		
19	393111	6292297	1562	65,1	16,3	4,65	1,98	4,16	4,23	2,79	0,58	0,07	0,16	73,95	18,32		
34	397845	6288606	2725	65,6	16,5	4,41	1,51	3,42	4,26	3,67	0,49	0,03	0,12	5,05	7,49		
36	397394	6287303	3276	60,4	16,8	6,71	2,96	4,57	4,23	3,18	0,90	0,09	0,23	4,07	8,96		
47	395906	6289639	3227	63,0	16,7	4,79	2,01	4,11	5,07	3,43	0,68	0,04	0,19	2,42	8,10		
52	397125	6290874	2272	66,1	16,3	4,16	1,55	3,54	4,19	3,47	0,52	0,05	0,13	4,37	8,43		
54	394322	6286673	3129	66,1	16,4	4,13	1,54	3,52	4,14	3,48	0,53	0,05	0,13	3,25	6,83		
59	395455	6291320	2277	64,1	16,6	4,80	2,14	4,42	4,52	2,66	0,60	0,06	0,16	6,29	11,37		
60	396148	6292367	1919	64,3	17,2	4,36	1,74	4,22	4,45	2,96	0,58	0,07	0,14	3,22	6,23		
65	392730	6292171	1544	62,4	17,2	5,25	2,28	4,76	4,22	2,88	0,69	0,09	0,19	37,24	20,40		
67	392184	6292690	1516	63,3	16,7	5,08	2,37	4,52	4,19	3,00	0,60	0,09	0,16	52,14	8,68		
72	391827	6293009	1499	63,2	17,0	5,09	2,12	4,29	4,43	2,86	0,64	0,08	0,15	93,78	19,68		
97	391128	6295396	2047	65,0	16,6	4,40	1,63	3,69	4,41	3,46	0,56	0,07	0,15	4,96	4,01		
111	395933	6285470	4030	66,4	16,1	4,36	1,26	2,63	3,91	4,62	0,57	0,09	0,14	0,32	2,82		

Tabla 6-2: Información geográfica, geoquímica (Cornejo, 1990) y parámetro de confianza de los modelos de susceptibilidad magnética de los sitios de muestreo geoquímico (2/2).

Muestra	Información geográfica (UTM, zona 19H)			Información geoquímica [% wt]												Parámetro de confianza	
	Este [m]	Norte [m]	Altitud [msnm]	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (t)	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Planta	Sección N60E		
113	396377	6285986	3930	66,5	16,1	4,41	1,25	2,31	4,32	4,40	0,55	0,06	0,14	0,44	3,76		
116	396735	6286000	3863	65,6	16,4	4,43	1,30	2,56	4,28	4,74	0,58	0,05	0,15	0,60	4,66		
119	397179	6286018	3689	65,7	16,0	4,57	1,52	3,19	4,12	4,09	0,61	0,07	0,15	2,89	8,59		
120	396484	6286931	3885	65,4	16,4	4,07	1,44	3,15	4,32	4,32	0,60	0,09	0,17	0,53	4,65		
210	396320	6285785	3961	65,7	16,4	3,21	1,61	3,91	5,39	2,90	0,65	0,06	0,15	0,40	3,43		
213	397130	6283195	3157	60,0	17,3	5,99	2,70	5,11	4,98	2,75	0,85	0,05	0,24	6,32	13,41		
217	396107	6284250	3545	64,9	16,3	4,75	1,31	2,91	4,10	4,82	0,68	0,04	0,18	4,80	5,27		
218	396357	6284838	3698	62,5	16,5	6,05	1,78	3,46	4,39	4,25	0,81	0,05	0,23	2,18	4,58		
221	395072	6284451	3897	67,0	16,0	3,93	1,13	2,76	3,89	4,57	0,55	0,05	0,13	0,50	2,39		
224	396575	6283114	3131	64,4	16,4	4,69	2,04	3,94	4,28	3,45	0,61	0,05	0,16	5,69	12,08		
233	396265	6282285	3056	64,3	16,5	4,79	1,68	3,43	4,31	4,12	0,66	0,06	0,16	17,30	19,42		
256	394178	6294827	1640	66,9	15,0	4,46	1,92	3,05	3,41	4,53	0,56	0,07	0,14	29,56	16,07		
265	394728	6292988	1972	66,1	16,3	4,02	1,63	3,50	4,25	3,46	0,51	0,06	0,13	4,40	9,09		
284	396953	6283408	3274	61,3	17,8	4,48	2,49	5,17	5,38	2,01	0,86	0,07	0,22	10,37	9,81		
285	396232	6281640	3061	61,7	17,2	5,87	2,27	3,82	4,46	3,62	0,82	0,07	0,21	13,70	21,21		
289	396216	6281387	3013	61,3	17,7	5,65	1,93	3,69	4,67	4,12	0,77	0,06	0,19	678,13	23,16		
308	394092	6293898	1846	64,7	17,1	1,74	2,58	6,57	6,11	0,31	0,65	0,06	0,18	4,79	10,48		

6.2 MODELOS DE VARIACIÓN ESPACIAL DE DATOS GEOQUÍMICOS DE ROCA TOTAL Y DIAGRAMAS HARKER

La proyección de los datos geoquímicos del plutón La Gloria en secciones N60E de ancho normalizado muestra un patrón general caracterizado por cambios geoquímicos relativamente sistemáticos en la dirección radial de la sección (Figura 6-2): en el centro de la sección, a altitudes del orden de 3000 msnm, se observan composiciones de 60% de SiO_2 , valores que aumentan hacia las paredes de la cámara magmática, llegando incluso a superar el 68% de SiO_2 . Zonaciones similares se observan en otros elementos mayores: el contenido de Fe_2O_3^t disminuye hacia las paredes del plutón (desde más de 6% hasta alrededor de 4%, en promedio), el porcentaje de TiO_2 decrece hacia los bordes del intrusivo (desde más de 0,8% hasta valores del orden de 0,4%) y el contenido de P_2O_5 aumenta hacia el centro del cuerpo ígneo (desde porcentajes menores a 0,1% hasta mayores a 0,2%).

Con menor grado de claridad, es posible proponer patrones parecidos para MgO , cuyas concentraciones máximas se ubican en el núcleo del plutón y superan el 3,0%, mientras que los mínimos se concentran en los bordes del mismo, en torno al 1,5%.

Para Al_2O_3 , CaO , Na_2O y K_2O no se observan tendencias claras en las secciones N60E, ya que están fuertemente influenciadas por la presencia de muestras puntuales con anomalías tanto positivas como negativas, que no se condicen necesariamente con su entorno inmediato.

Cabe señalar que el núcleo de menor concentración de SiO_2 en la sección N60E de ancho normalizado difiere en altitud del núcleo de menor susceptibilidad magnética previamente identificado (ver sección 5.3).

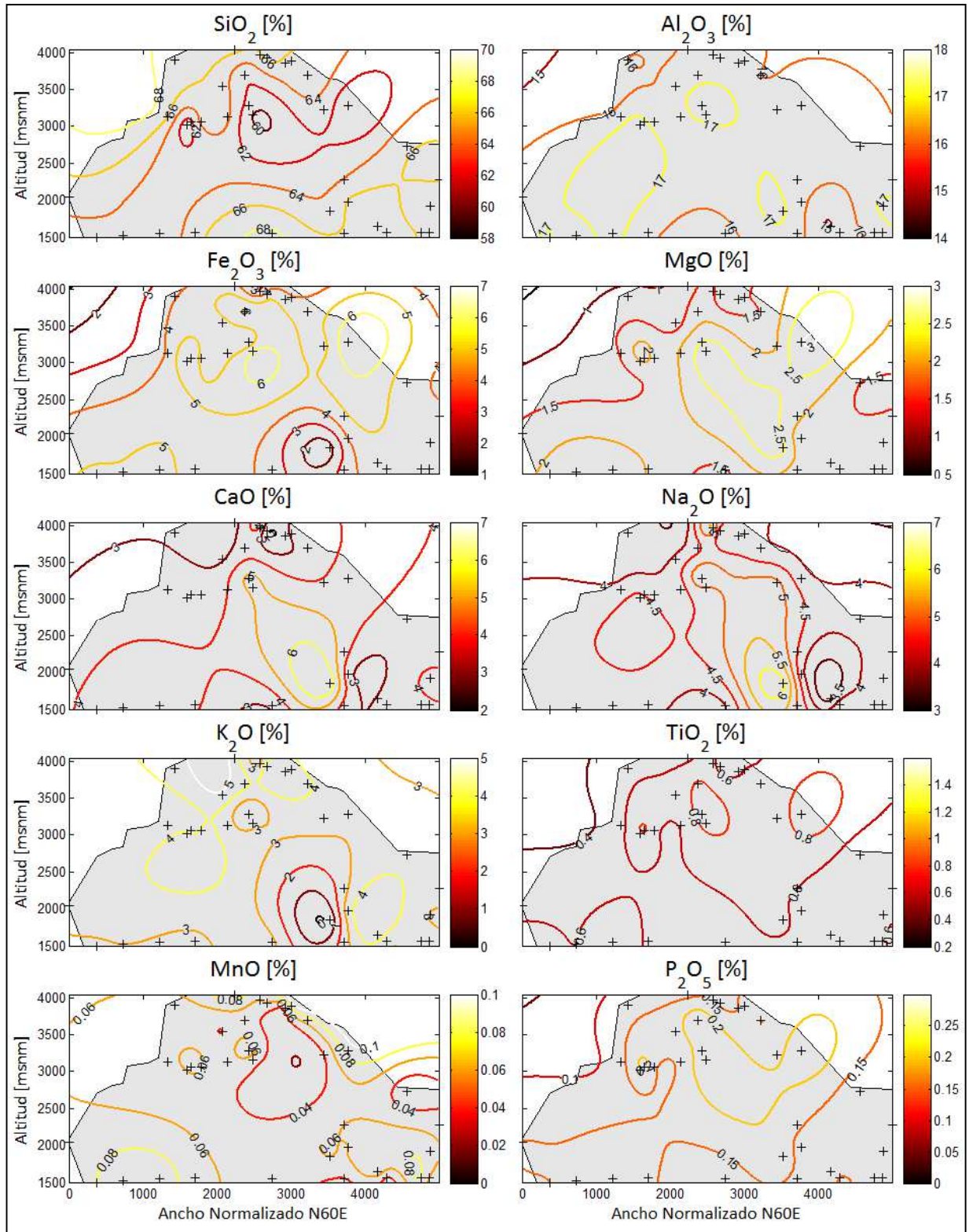


Figura 6-2: Modelos en sección N60E de ancho normalizado de geoquímica de roca total en el plutón La Gloria. Las cruces representan la proyección de los sitios de muestreo geoquímico.

La Figura 6-3 presenta diagramas Harker de elementos mayores del plutón La Gloria. Los contenidos de Fe_2O_3^t , TiO_2 y P_2O_5 muestran claras tendencias decrecientes a mayor grado de diferenciación, lo que es consistente con las zonaciones radiales observadas en las secciones N60E de ancho normalizado.

Con menor claridad, además, se observan patrones decrecientes para MgO , Al_2O_3 y CaO , con respecto a SiO_2 ; y ausencia de tendencias monótonas en los diagramas de Na_2O y K_2O .

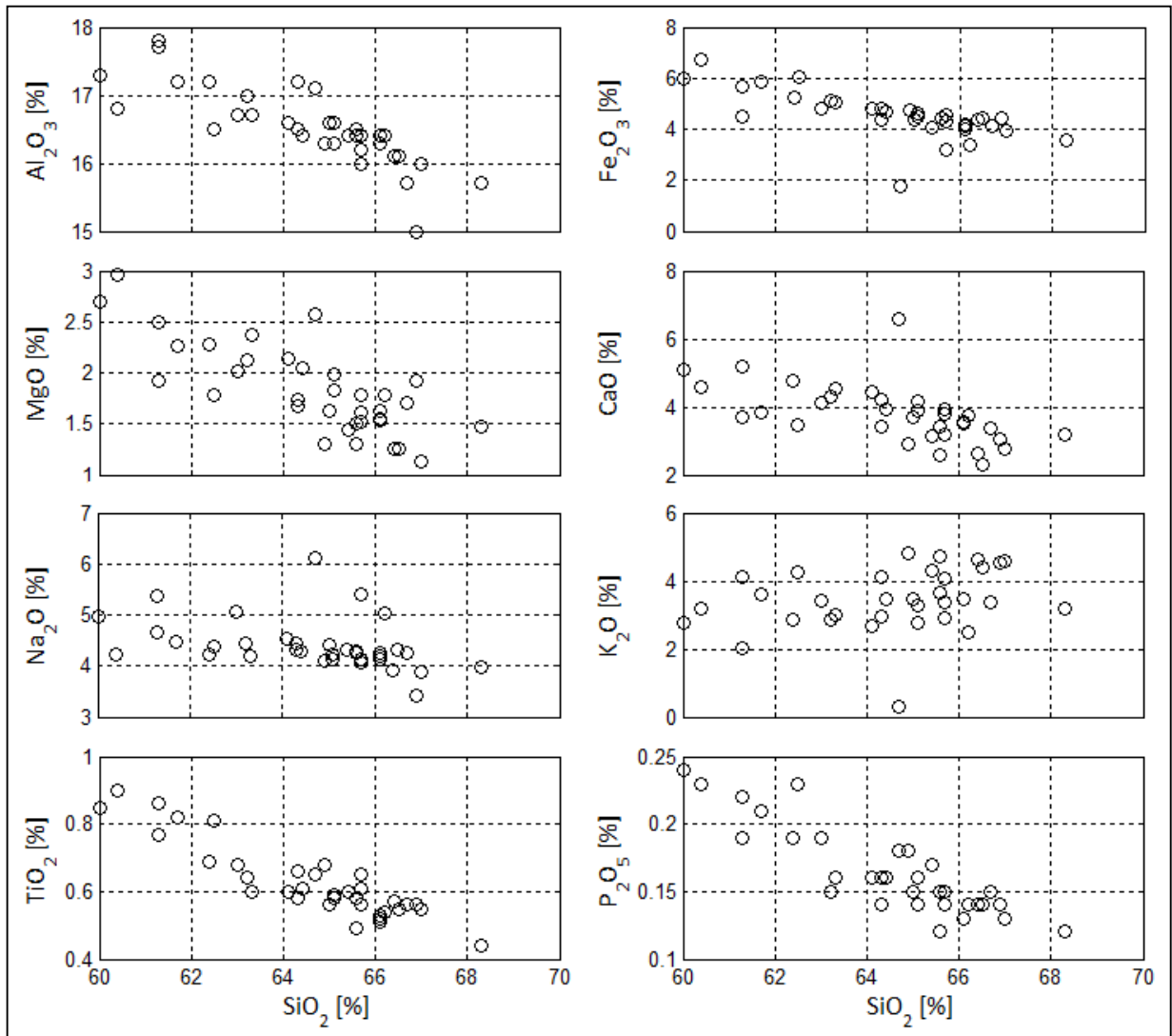


Figura 6-3: Diagramas Harker de los datos de geoquímica del plutón La Gloria.

6.3 RELACIONES ENTRE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

En esta sección solo se incluyen los óxidos para los cuales los coeficientes de correlación lineal obtenidos con respecto a los datos de susceptibilidad magnética han alcanzado un valor absoluto superior a 0,7.

6.3.1 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA CALCULADA A PARTIR DEL MODELO EN PLANTA

Las Figuras 6-4, 6-5 y 6-6 muestran gráficos de los coeficientes asociados a ajustes lineales entre susceptibilidad magnética e información geoquímica (contenidos de SiO_2 , Fe_2O_3^t y TiO_2), versus valores crecientes del parámetro de confianza mínimo aceptado (*Intolerancia*), o equivalentemente, versus un número decreciente de datos considerados (n). Se incluye, además, la esperanza de dichos coeficientes estadísticos, es decir, los valores asociados a ajustes en que se considera un subconjunto aleatorio de n datos. Es posible notar que:

- A. En los tres casos existe un desacople entre los coeficientes de correlación esperados y los obtenidos a partir de la aplicación del parámetro de confianza; lo que confirma la utilidad de dicho parámetro.
- B. Se presenta un importante aumento en la esperanza del coeficiente de correlación para valores elevados de la confianza mínima aceptada (cantidad de puntos considerados inferior a 10); por lo que los cambios en los coeficientes de correlación obtenidos en ese rango no son atribuibles al parámetro de confianza.
- C. La ausencia de aumentos significativos en los coeficiente de correlación para una cantidad de puntos considerados inferior a 17, indica la existencia de un límite para la resolución del parámetro de confianza.

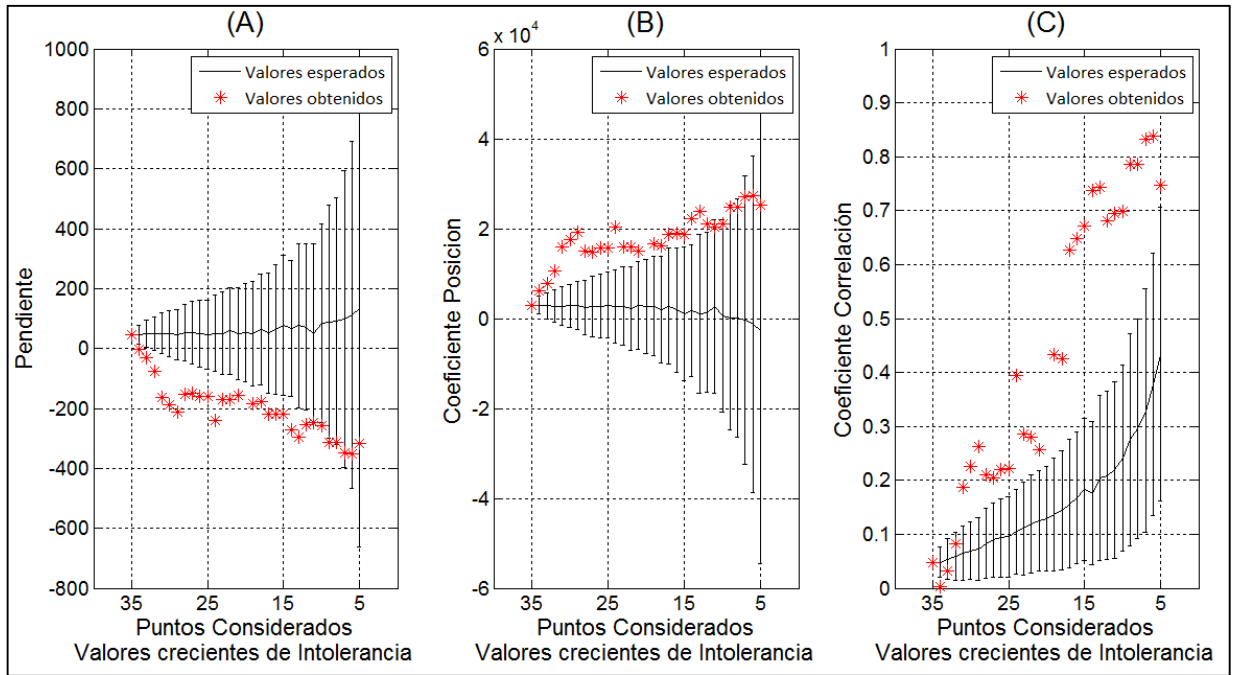


Figura 6-4: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre SiO_2 y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en planta), versus cantidad de datos considerados. A: pendiente. B: coeficiente de posición. C: coeficiente de correlación.

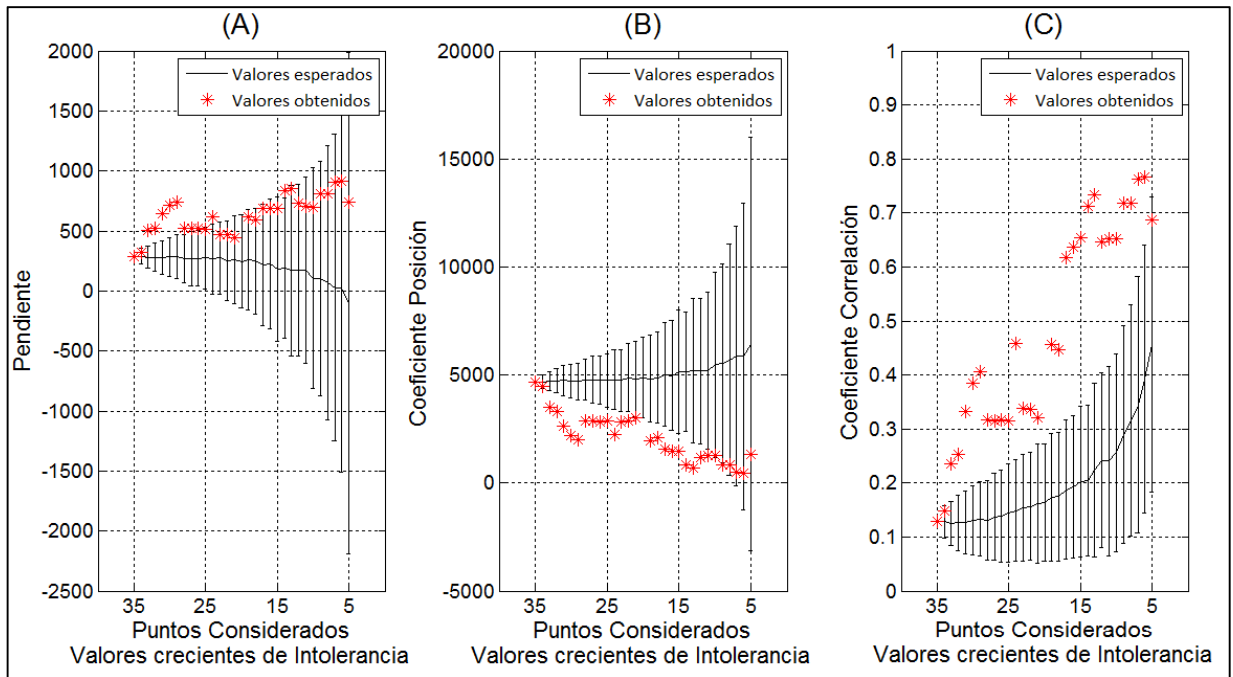


Figura 6-5: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre Fe_2O_3^t y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en planta), versus cantidad de datos considerados. A: pendiente. B: coeficiente de posición. C: coeficiente de correlación.

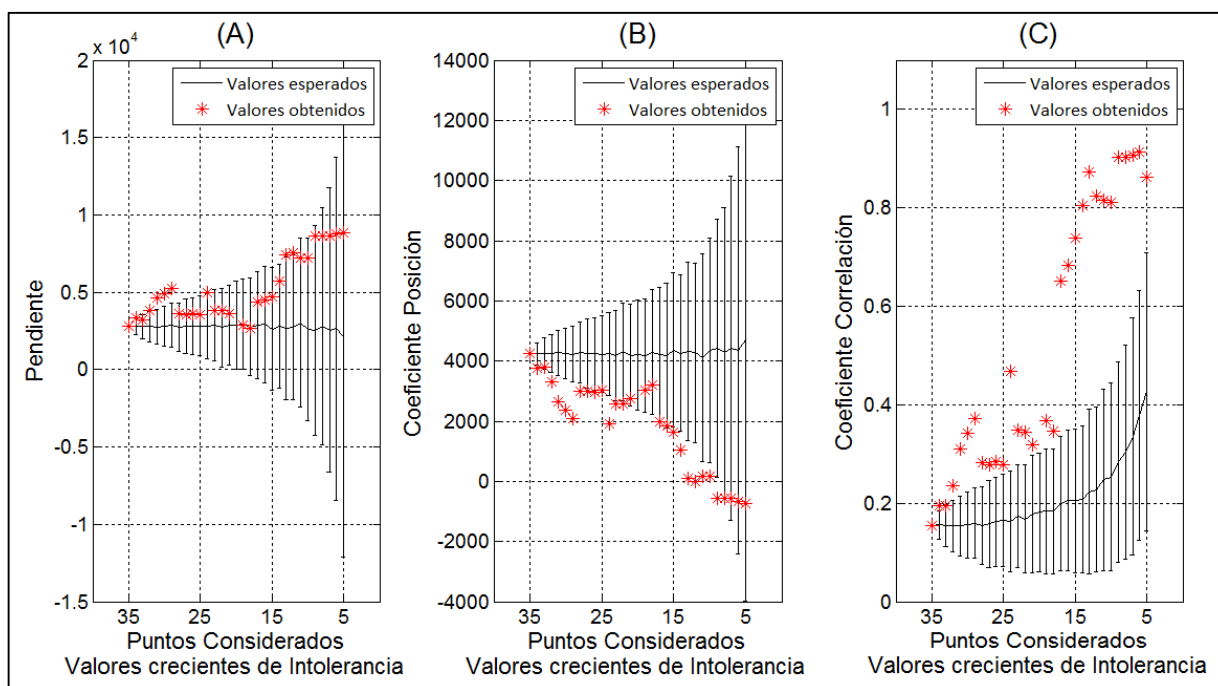


Figura 6-6: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre TiO_2 y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en planta), versus cantidad de datos considerados. A: pendiente. B: coeficiente de posición. C: coeficiente de correlación.

La Tabla 6-3 muestra el promedio y desviación estándar de la pendiente, coeficiente de posición y coeficiente de correlación obtenidos para la relación lineal propuesta entre susceptibilidad magnética y cada uno de los datos geoquímicos, tomando el rango entre 10 y 16 puntos considerados.

Tabla 6-3: Coeficientes de ajuste lineal entre datos geoquímicos y susceptibilidad magnética extrapolada desde modelo en planta.

Susceptibilidad magnética - SiO_2		
Pendiente	Coeficiente de posición	Coeficiente de correlación (R)
-250 ± 30	20900 ± 1800	$-0,70 \pm 0,03$
Susceptibilidad magnética - $Fe_2O_3^t$		
Pendiente	Coeficiente de posición	Coeficiente de correlación (R)
740 ± 70	1170 ± 310	$0,67 \pm 0,04$
Susceptibilidad magnética - TiO_2		
Pendiente	Coeficiente de posición	Coeficiente de correlación (R)
6300 ± 1300	700 ± 800	$0,79 \pm 0,06$

6.3.2 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA CALCULADA A PARTIR DEL MODELO EN SECCIÓN N60E

Las Figuras 6-7, 6-8 y 6-9 muestran gráficos de coeficientes de ajustes lineales y de correlación entre susceptibilidad magnética e información geoquímica (porcentaje de SiO_2 ,

Fe_2O_3^t y TiO_2), versus la cantidad de puntos considerados en el ajuste lineal, en los que se incluye la esperanza de dichos coeficientes. Es posible observar que:

- A. Existe un desacople entre los coeficientes de correlación esperados y los obtenidos a partir de la aplicación del parámetro de confianza.
- B. Para una cantidad de puntos considerados inferior a 10, se observa un marcado aumento en la esperanza del coeficiente de correlación.
- C. No existen aumentos significativos de los coeficientes de correlación obtenidos para una cantidad de puntos considerados inferior a 21.

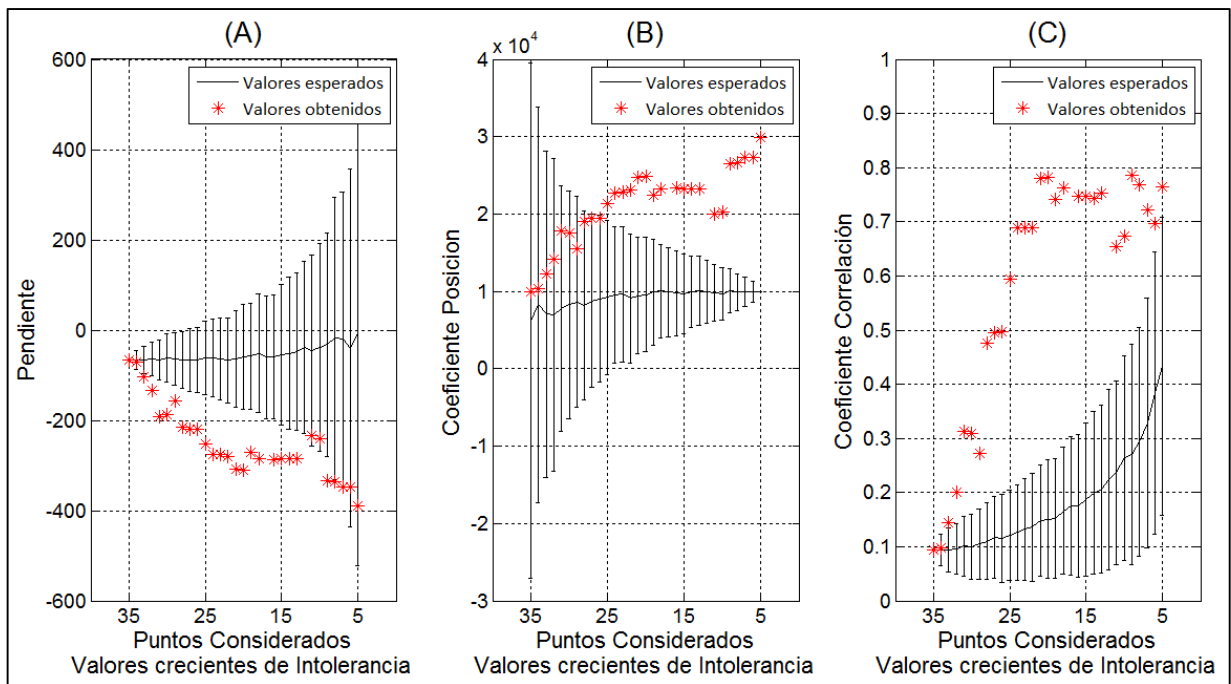


Figura 6-7: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre SiO_2 y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en sección N60E), versus cantidad de datos considerados. A: pendiente. B: coeficiente de posición. C: coeficiente de correlación.

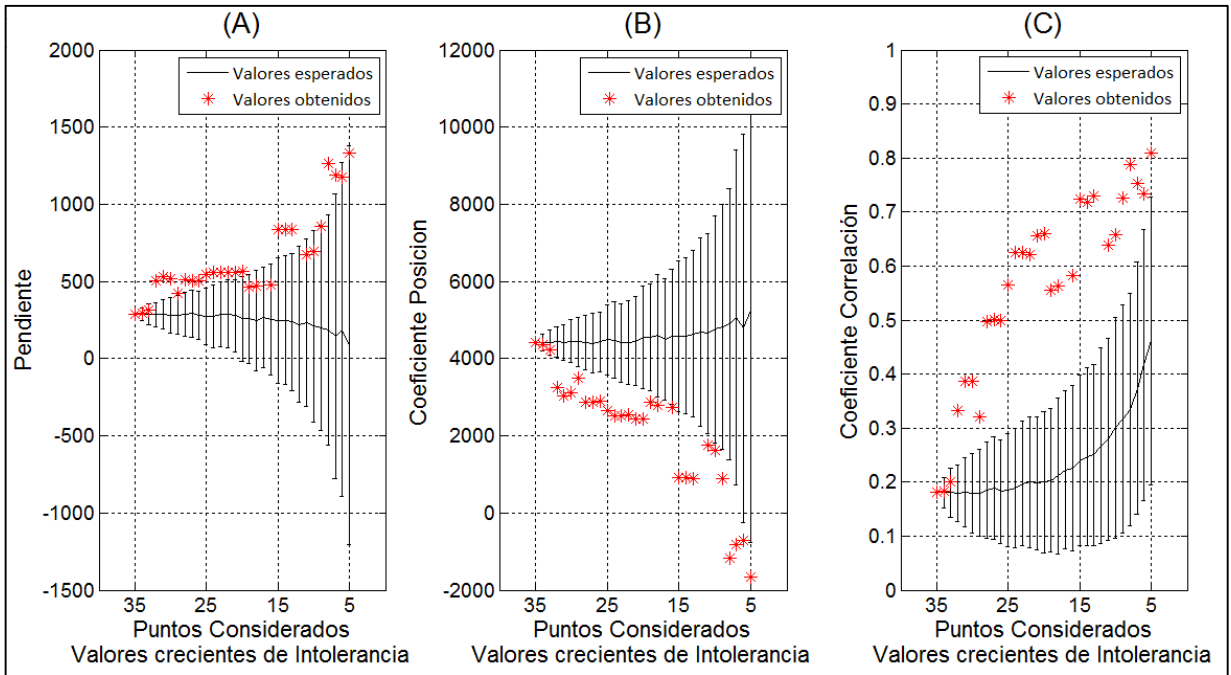


Figura 6-8: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre Fe_2O_3^t y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en sección N60E), versus cantidad de datos considerados. A: pendiente. B: coeficiente de posición. C: coeficiente de correlación.

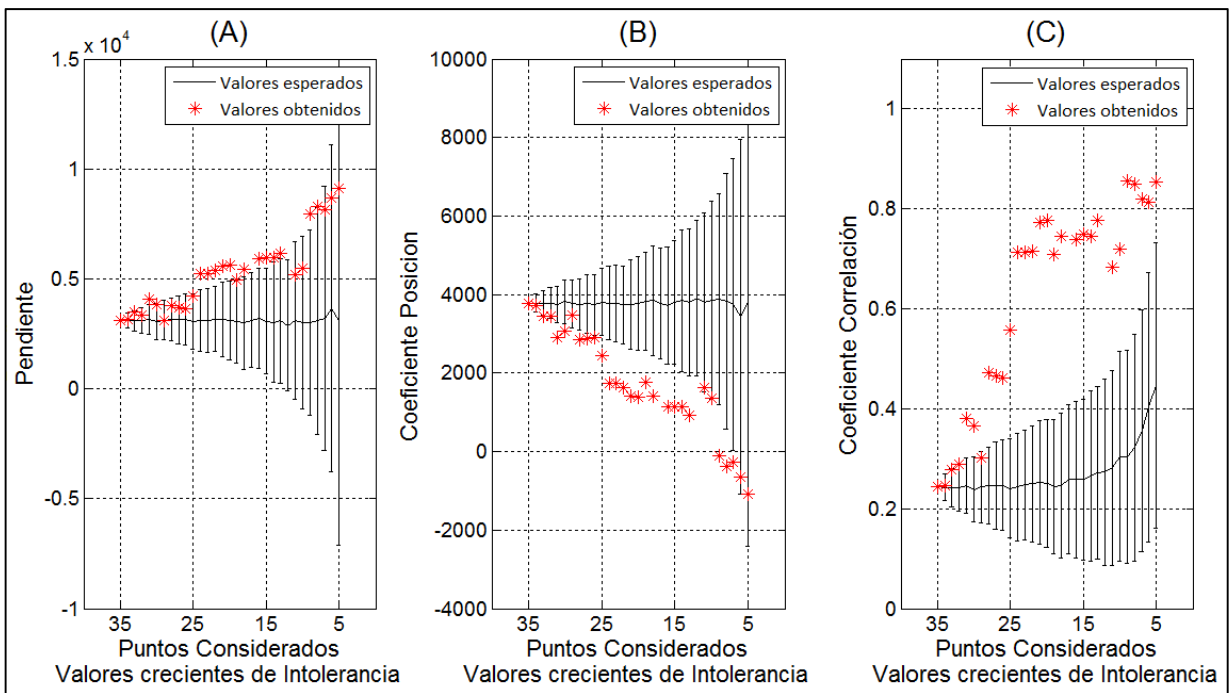


Figura 6-9: Gráficos de coeficientes de ajuste lineal y de correlación entre TiO_2 y susceptibilidad magnética extrapolada (modelo en sección N60E), versus cantidad de datos considerados. A: pendiente. B: coeficiente de posición. C: coeficiente de correlación.

La Tabla 6-4 presenta el promedio y desviación estándar de la pendiente, coeficiente de posición y coeficiente de correlación obtenidos para la relación lineal propuesta entre

susceptibilidad magnética y cada uno de los datos geoquímicos, tomando el rango entre 10 y 20 puntos considerados.

Tabla 6-4: Coeficientes de ajuste lineal entre datos geoquímicos y susceptibilidad magnética extrapolada desde modelo en sección N60E.

Susceptibilidad magnética - SiO ₂		
Pendiente	Coefficiente de posición	Coefficiente de correlación (R)
-280 ± 25	22900 ± 1500	-0,73 ± 0,04
Susceptibilidad magnética - Fe ₂ O ₃ ^t		
Pendiente	Coefficiente de posición	Coefficiente de correlación (R)
640 ± 150	1990 ± 800	0,65 ± 0,06
Susceptibilidad magnética - TiO ₂		
Pendiente	Coefficiente de posición	Coefficiente de correlación (R)
5600 ± 350	1350 ± 250	0,74 ± 0,03

6.3.3 OBSERVACIONES GENERALES

A partir del estudio de las relaciones existentes entre susceptibilidad magnética y geoquímica de roca total, es posible notar que:

- A. No se observan diferencias significativas en los valores de pendiente, coeficiente de posición y coeficiente de correlación obtenidos a partir de los diferentes modelos de variación de susceptibilidad magnética: en planta y en sección N60E de ancho normalizado.
- B. Se observa una correlación inversa débil a moderada entre los resultados de susceptibilidad magnética y el porcentaje de SiO₂ (R ~ - 0,72).
- C. Existe correlación directa débil entre la susceptibilidad magnética y los contenidos de Fe₂O₃^t (R ~ 0,66); y moderada con respecto al porcentaje de TiO₂ (R ~ 0,77).

7 CARACTERIZACIÓN, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE CRISTALES DE MAGNETITA Y SU RELACIÓN CON LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

7.1 SECCIONES DELGADAS TRANSLÚCIDAS ESTUDIADAS

El listado de secciones delgadas translúcidas analizadas y la información geográfica y de susceptibilidad magnética promedio asociada a sus respectivos sitios de muestreo se presenta en las Tablas 7-1 y 7-2.

Tabla 7-1: Listado de secciones delgadas translúcidas estudiadas (1/2).

Muestra	Información geográfica (UTM; zona 19H)			K medida (10^{-6} [SI])
	Este [m]	Norte [m]	Altitud [msnm]	
LG0103	394163	6294138	1487	4630
LG0106	394163	6294138	1487	5230
LG0204	392375	6292848	1450	4430
LG0302	393879	6292726	1510	3630
LG0309-1	393879	6292726	1510	2690
LG0309-2	393879	6292726	1510	2690
LG0309-3	393879	6292726	1510	2690
LG0403	394160	6293132	1515	4010
LG0407-1	394160	6293132	1515	4400
LG0407-2	394160	6293132	1515	4400
LG0407-3	394160	6293132	1515	4400
LG0502	394234	6294721	1680	3600
LG0601	391785	6293201	1418	3940
LG0706	395019	6293710	1545	5090
LG0810	394745	6293557	1522	4530
LG0901	393032	6292433	1419	4440
LG0909-1	393032	6292433	1419	5370
LG0909-2	393032	6292433	1419	5370
LG0909-3	393032	6292433	1419	5370
LG1005	393032	6292433	1575	3680
LG1101	394091	6293717	1590	4010
LG1110	394091	6293717	1590	4990
LG1207	394091	6293717	1650	4220
LG1308	392706	6291770	1737	5100
LG1406	392754	6291976	1651	3830
LG1410	392754	6291976	1651	856
LG1413	392754	6291976	1651	-
LG1504	394654	6294793	1624	8080
LG1907	396362	6292496	1353	3790
LG1910	396362	6292496	1353	6330
LG2017	391737	6293345	1507	2420
LG2017-1	391737	6293345	1507	2420
LG2017-2	391737	6293345	1507	2420
LG2017-3	391737	6293345	1507	2420
LG2101	396379	6282074	2997	-
LG2103	396379	6282074	2997	-
LG2211	396191	6281369	3014	-
LG2310	395464	6282567	3425	-
LG2315	395464	6282567	3425	7050
LG2408	395934	6282496	3215	3540
LG2411-1	395934	6282496	3215	5580

Tabla 7-2: Listado de secciones delgadas translúcidas estudiadas (2/2).

Muestra	Información geográfica (UTM; zona 19H)			K medida (10^{-6} [SI])
	Este [m]	Este [m]	Este [m]	
LG2411-2	395934	6282496	3215	5580
LG2411-3	395934	6282496	3215	5580
LG2502	394731	6284047	3822	-
LG2506	394731	6284047	3822	-
LG2607	394903	6283669	3687	-
LG2611	394903	6283669	3687	-
LG2618	394903	6283669	3687	4570
LG2707	397159	6280745	2999	5740
LG2710	397159	6280745	2999	5460
LG2803	397285	6283071	3040	2380
LG2807	397285	6283071	3040	6490
LG2909	397059	6283854	3235	6440
LG3002	397342	6284918	3406	5440
LG3010	397342	6284918	3406	-
LG3106	397000	6284567	3375	-
LG3205	397318	6285921	3592	4730
LG3306	397374	6286502	3604	7460
LG3401	397360	6286881	3410	6670
LG3402-3	397360	6286881	3410	7270
LG3405-1	397360	6286881	3410	8960
LG3405-2	397360	6286881	3410	8960
LG3504	397955	6288593	2665	-
LG3510	397955	6288593	2665	6010
LG3605	397974	6289307	2434	5100
LG3702	397485	6286411	3628	-
LG4108-1	395670	6291834	2050	4850
LG4108-2	395670	6291834	2050	4850
LG4108-3	395670	6291834	2050	4850
LG4305-1	394963	6290259	2518	3700
LG4305-2	394963	6290259	2518	3700
LG4305-3	394963	6290259	2518	3700
LG4605-1	394149	6288199	2944	6710
LG4605-2	394149	6288199	2944	6710
LG4605-3	394149	6288199	2944	6710
LG4805-1	394515	6294436	1574	5130
LG4805-2	394515	6294436	1574	5130
LG4805-3	394515	6294436	1574	5130
LG5201-1	391203	6295083	1965	4610
LG5201-2	391203	6295083	1965	4610
LG5201-3	391203	6295083	1965	4610
LG5303-1	392301	6298794	2486	5500
LG5303-2	392301	6298794	2486	5500
LG5303-3	392301	6298794	2486	5500

7.2 CARACTERIZACIÓN DE CRISTALES DE MAGNETITA

La ocurrencia de la fase magnetita, en base al estudio de secciones delgadas translúcidas, ha sido categorizada en tres tipos:

- A. Cristales individuales euhedrales a subhedrales. En algunos casos, se observan formando lineamientos.
- B. Inclusiones dentro de otras fases minerales (biotita y anfíbola, principalmente).
- C. Cristales que forman parte de cúmulos máficos irregulares de granulometría fina, formados por magnetita y cristales de anfíbola y biotita. Esta textura se interpreta como evidencia de interacción entre el fundido magmático y material proveniente de la roca de caja.

Imágenes representativas de cada una de las categorías definidas se presentan en la Figura 7-1 y en el Apéndice D, donde también se incluyen imágenes de microscopía óptica de luz reflejada.

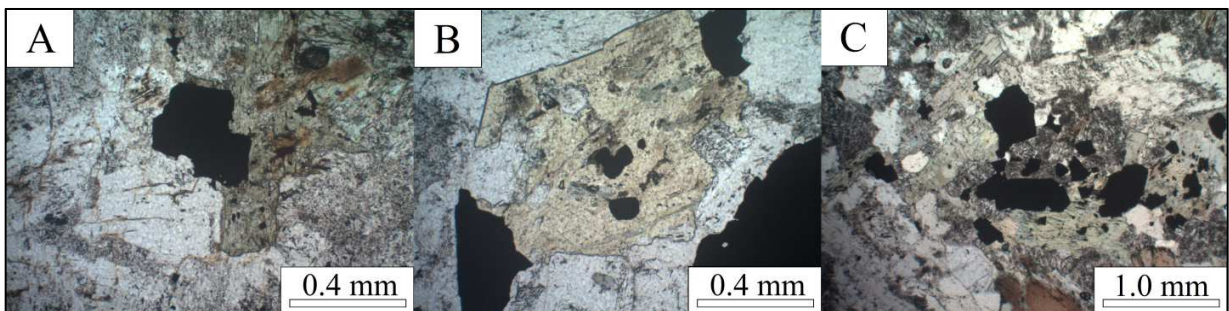


Figura 7-1: Imágenes representativas de cada una de las categorías de ocurrencia de magnetita. A: Cristales individuales (LG2411-2). B: Inclusiones en minerales máficos (LG0601). C: En cúmulos de granulometría fina (LG2310).

Por otro lado, los cristales de magnetita muestran escasas evidencias ópticas de exsolución *lamellae* (Apéndice D), lo que es consistente con el carácter homogéneo de los granos de magnetita, enunciado por [Cornejo y Mahood \(1997\)](#) en base a análisis de micro-sonda y microscopio electrónico de barrido.

7.3 CONTENIDO DE MAGNETITA DE LAS SECCIONES DELGADAS TRANSLÚCIDAS ESTUDIADAS

7.3.1 DETALLE DE LOS RESULTADOS

Las Tablas 7-3, 7-4 y 7-5 muestran los resultados asociados a la cuantificación del porcentaje de cristales de magnetita, agrupados de acuerdo a su tamaño. Se incluyen, además, algunos aspectos petrográficos de interés:

- A. Contenidos particularmente elevados de minerales ferromagnesianos.
- B. Presencia de magnetita que forma parte de cúmulos máficos irregulares.
- C. Tipo de litología, donde el concepto de *plutón principal* (PP) ha sido utilizado para referirse a muestras del intrusivo, excluyendo a las zonas de *enclave máfico* (EM) y *dique leucocrático* (DL).

Cabe señalar que el tamaño de los cristales de magnetita ha sido estudiado en términos de diámetro equivalente (Fórmula (7.1)).

$$\text{Diámetro Equivalente (px)} = 2 \sqrt{\frac{\text{FE}^2 \cdot \text{px}}{\pi}} \quad (7.1)$$

Donde FE es el ancho de un pixel de la fotografía y px es la cantidad de pixeles asociados a un cristal de magnetita dado.

Tabla 7-3: Contenido de magnetita de las secciones delgadas translúcidas estudiadas (1/3)
(PP: plutón principal, DL: dique leucocrático, EM: enclave máfico).

Muestra	Tipo de litología	Contenido de magnetita [%v]			Observaciones
		0,0 - 0,3 [mm]	0,3 - 0,6 [mm]	Sobre 0,6 [mm]	
LG0103	PP	0,21	0,02	0,30	-
LG0106	PP	1,40	0,01	0,09	Alto contenido de anfíbola y biotita
LG0204	PP	0,33	0,04	0,00	-
LG0302	PP	0,05	0,06	0,05	-
LG0309-1	PP	0,52	0,02	0,01	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG0309-2	PP	0,33	0,01	0,00	-
LG0309-3	PP	0,73	0,14	0,12	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG0403	PP	0,21	0,06	0,00	-
LG0407-1	PP	1,28	0,16	0,00	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG0407-2	PP	0,84	0,07	0,03	-
LG0407-3	PP	1,10	0,29	0,01	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG0502	PP	0,20	0,03	0,00	-
LG0601	PP	0,17	0,06	0,00	-

Tabla 7-4: Contenido de magnetita de las secciones delgadas translúcidas estudiadas (2/3)
(PP: plutón principal, DL: dique leucocrático, EM: enclave máfico).

Muestra	Tipo de litología	Contenido de magnetita [%v]			Observaciones
		0,0 - 0,3 [mm]	0,3 - 0,6 [mm]	Sobre 0,6 [mm]	
LG0706	PP	0,25	0,13	0,00	-
LG0810	PP	0,11	0,01	0,00	-
LG0901	PP	0,42	0,11	0,05	-
LG0909-1	PP	0,10	0,06	0,28	-
LG0909.2	PP	0,24	0,04	0,31	-
LG0909-3	PP	0,12	0,03	0,06	-
LG1005	PP	0,02	0,01	0,04	-
LG1101	PP	0,12	0,03	0,03	-
LG1110	PP	1,08	0,02	0,00	Alto contenido de anfíbola y biotita
LG1207	PP	0,17	0,05	0,05	-
LG1308	PP	0,43	0,05	0,00	Alto contenido de anfíbola y biotita
LG1406	PP	0,14	0,05	0,04	-
LG1410	DL	0,04	0,00	0,00	-
LG1413	PP	0,89	0,00	0,02	Muestra con anomalías texturales.
LG1504	PP	2,02	0,12	0,00	Zona con plagioclasa acumulada
LG1907	Mixta	0,13	0,07	0,00	Zona de contacto entre litologías PP y DL
LG1910	PP	1,21	0,00	0,00	Sitio con anomalías texturales y composicionales
LG2017	PP	0,17	0,03	0,12	-
LG2017-1	PP	0,12	0,01	0,00	-
LG2017-2	PP	1,40	0,49	0,06	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG2017-3	PP	0,51	0,22	0,01	-
LG2101	PP	0,24	0,14	0,06	-
LG2103	PP	0,09	0,00	0,00	-
LG2211	Mixta	3,92	0,14	0,06	Zona de contacto entre litologías PP y EM
LG2310	Mixta	8,64	0,40	0,05	Zona de contacto entre litologías PP y EM
LG2315	PP	2,62	0,52	0,67	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG2408	PP	0,17	0,08	0,00	-
LG2411-1	PP	0,44	0,05	0,00	-
LG2411-2	PP	0,79	0,27	0,01	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG2411-3	PP	1,10	0,16	0,02	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG2502	Mixta	2,21	0,55	0,04	Zona de contacto entre litologías PP y EM
LG2506	Mixta	1,80	0,65	0,11	Zona de contacto entre litologías PP y EM
LG2607	Mixta	9,28	0,31	0,19	Zona de contacto entre litologías PP y EM
LG2611	Mixta	0,72	0,19	0,41	Zona de contacto entre litologías PP y EM
LG2618	Mixta	0,56	0,08	0,01	Zona de contacto entre litologías PP y EM
LG2707	PP	0,22	0,00	0,00	Alto contenido de anfíbola y biotita

Tabla 7-5: Contenido de magnetita de las secciones delgadas translúcidas estudiadas (3/3)
(PP: plutón principal, DL: dique leucocrático, EM: enclave máfico).

Muestra	Litología	Contenido de magnetita [%v]			Observaciones
		0,0 - 0,3 [mm]	0,3 - 0,6 [mm]	Sobre 0,6 [mm]	
LG2710	PP	0,16	0,04	0,00	-
LG2803	Mixta	0,04	0,00	0,00	Zona de contacto entre litologías PP y DL
LG2807	PP	0,26	0,21	0,03	-
LG2909	PP	0,16	0,03	0,07	-
LG3002	PP	0,40	0,11	0,04	-
LG3010	Mixta	0,09	0,00	0,00	Zona de contacto entre litologías PP y DL
LG3106	PP	0,51	0,40	0,00	-
LG3205	PP	0,13	0,00	0,04	-
LG3306	PP	0,61	0,13	0,02	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG3401	PP	0,55	0,15	0,07	Alto contenido de anfíbola y biotita
LG3402-3	PP	0,77	0,10	0,06	-
LG3405-1	PP	0,24	0,12	0,01	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG3405-2	PP	0,28	0,10	0,04	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG3504	PP	1,49	0,04	0,00	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG3510	PP	0,21	0,08	0,00	-
LG3605	PP	0,32	0,02	0,00	-
LG3702	Mixta	2,33	0,00	0,00	Zona de contacto entre litologías PP, EM y DL
LG4108-1	PP	0,25	0,01	0,00	-
LG4108-2	PP	0,28	0,02	0,26	-
LG4108-3	PP	0,25	0,06	0,00	-
LG4305-1	PP	0,14	0,03	0,01	-
LG4305-2	PP	0,15	0,04	0,09	-
LG4305-3	PP	0,10	0,01	0,00	-
LG4605-1	PP	0,32	0,08	0,09	-
LG4605-2	PP	0,76	0,04	0,15	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG4605-3	PP	0,36	0,10	0,11	-
LG4805-1	PP	0,30	0,06	0,00	-
LG4805-2	PP	1,02	0,30	0,12	Presenta zonas de grano muy fino y abundantes minerales opacos
LG4805-3	PP	0,30	0,05	0,00	-
LG5201-1	PP	0,15	0,01	0,00	-
LG5201-2	PP	0,09	0,00	0,00	-
LG5201-3	PP	0,33	0,11	0,00	-
LG5303-1	PP	0,16	0,02	0,00	-
LG5303-2	PP	0,12	0,04	0,00	-
LG5303-3	PP	0,16	0,00	0,00	-

El porcentaje de magnetita varía desde menos del 0,5% del volumen de roca hasta contenidos superiores al 4,0%, con un promedio del orden de 1,0%. Sobre el 80% de la

magnetita observada corresponde a cristales de un diámetro equivalente inferior a 0,3 mm; mientras que alrededor de un 5% supera un diámetro equivalente de 0,6 mm.

7.3.2 MODELOS DE VARIACIÓN ESPACIAL DEL CONTENIDO DE MAGNETITA

Las Figuras 7-2 y 7-3 presentan modelos de variación del contenido total de magnetita en el plutón La Gloria, en proyecciones en planta y sección N60E de ancho normalizado, respectivamente²; donde se observa un sistemático aumento del porcentaje de magnetita hacia el techo y paredes del intrusivo, lo que es consistente con [Cornejo y Mahood \(1997\)](#).

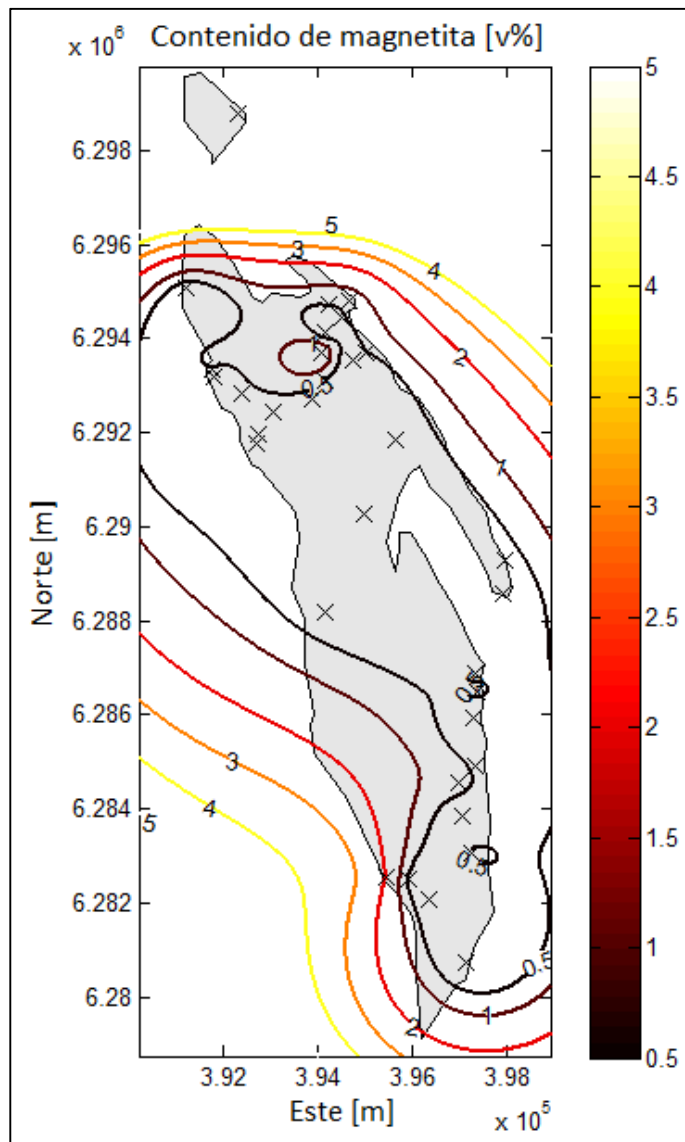


Figura 7-2: Modelo en planta del contenido de magnetita del plutón La Gloria. Las cruces representan la ubicación de los sitios de muestreo asociados a las secciones delgadas translúcidas estudiadas.

² Para efectos de modelamiento, fueron excluidas las secciones delgadas translúcidas que exhiben litología mixta, de dique leucocrático o anomalías texturales considerables (ver Tablas 7-3, 7-4 y 7-5).

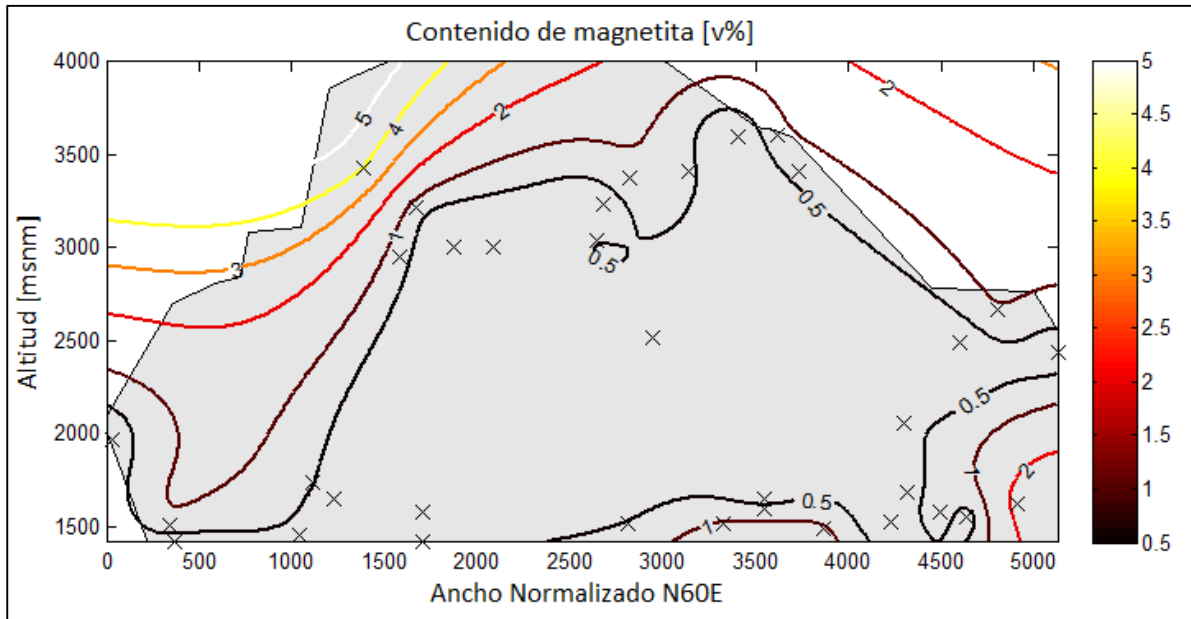


Figura 7-3: Modelo en sección N60E de ancho normalizado del contenido de magnetita del plutón La Gloria. Las cruces representan la proyección de los sitios de muestreo asociados a las secciones delgadas translúcidas estudiadas.

La Figura 7-4 presenta un gráfico del error relativo de las mediciones del porcentaje de magnetita (Fórmula (7.2)) versus la altitud de cada sitio, donde solo se incluyen los sitios en que el contenido de magnetita se ha determinado a partir del análisis tres o más secciones delgadas translúcidas.

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{Desviación Estándar}}{\text{Promedio}} \quad (7.2)$$

No se observa dependencia alguna entre el error relativo de las mediciones del porcentaje de magnetita y la altitud de las muestras; sin embargo, es posible sugerir una mayor heterogeneidad de los contenidos de magnetita en los sectores cercanos a las paredes del plutón La Gloria.

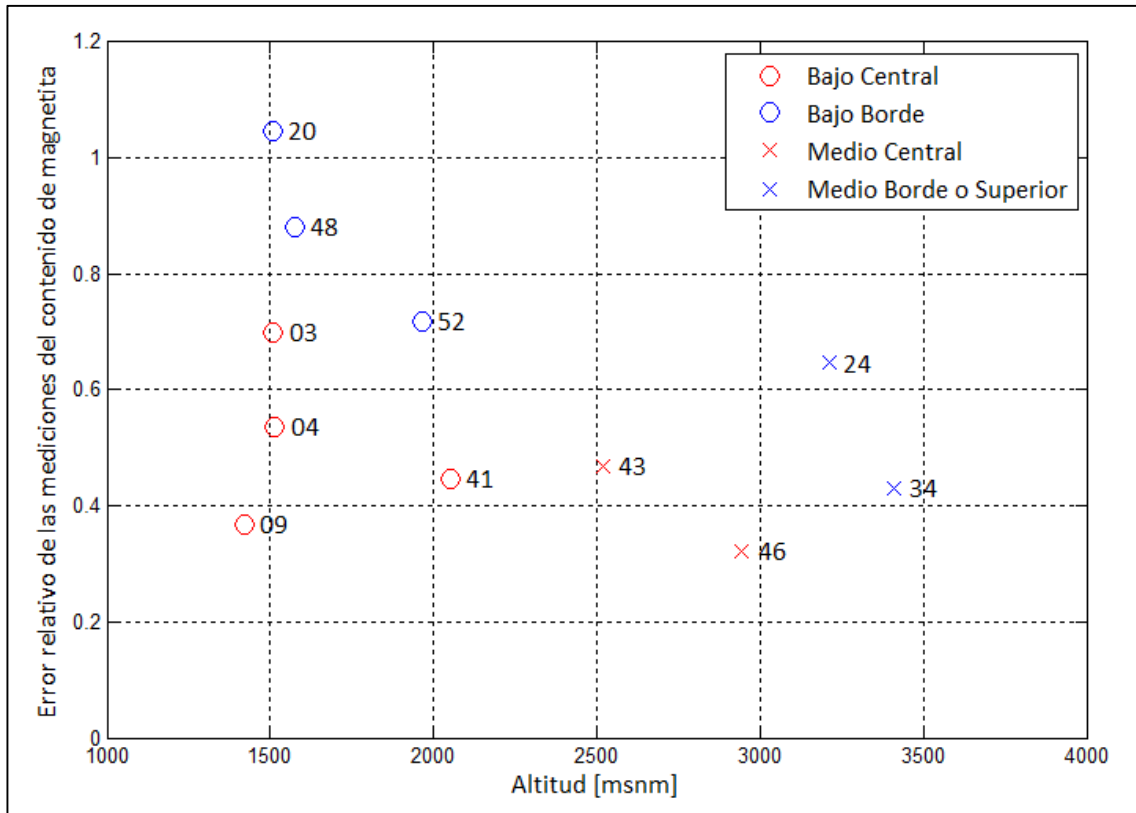


Figura 7-4: Gráfico del error relativo de las mediciones del porcentaje de magnetita versus la altitud de cada sitio.

7.3.3 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE CRISTALES DE MAGNETITA

La Figura 7-5 muestra modelos en sección N60E del porcentaje de cristales de magnetita de distintos rangos de tamaño; donde se observa con relativa claridad un aumento en el contenido de magnetita hacia las paredes y techo del plutón La Gloria, para todas las clases de tamaño consideradas (sobre 0.6 mm; entre 0.3 mm y 0.6 mm; y bajo 0.3 mm).

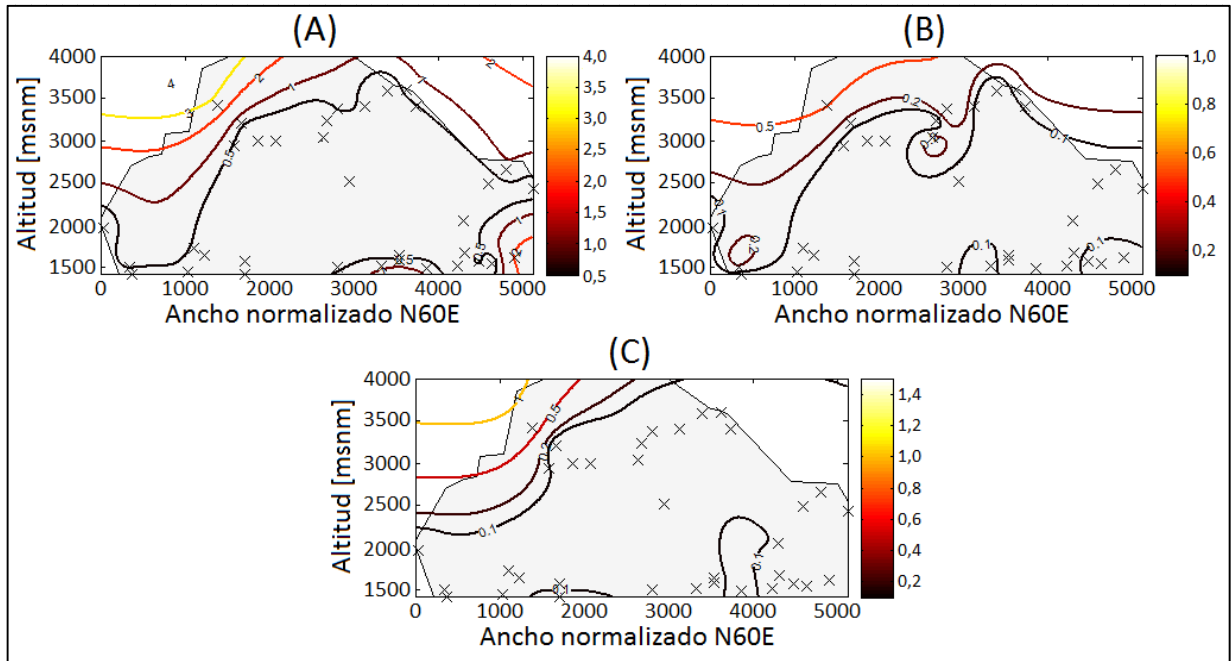


Figura 7-5: Modelos en sección N60E de ancho normalizado del porcentaje de cristales de magnetita de distintos rangos de tamaño. (A) Tamaño inferior a 0.30 mm. (B) Tamaño entre 0.30 mm y 0.60 mm. (C) Tamaño sobre 0.60 mm. Las cruces representan la proyección de los sitios de muestreo asociados a las secciones delgadas translúcidas estudiadas.

Por otro lado, la distribución de tamaño de los cristales de magnetita es fractálica, es decir, se ajusta a la Fórmula (7.3) (Mandelbrot, 1982; Turcotte, 1986).

$$N(R) = kR^{-D} \quad (7.3)$$

Donde N es la densidad de cristales de un radio mayor que R, mientras que k y D (dimensión fractal) son constantes. La Figura 7-6 muestra un histograma de los resultados de dimensión fractal estimada a partir del análisis de secciones delgadas translúcidas, con un promedio $\bar{D} = 2,1$ y desviación estándar $\sigma_D = 0,4$.

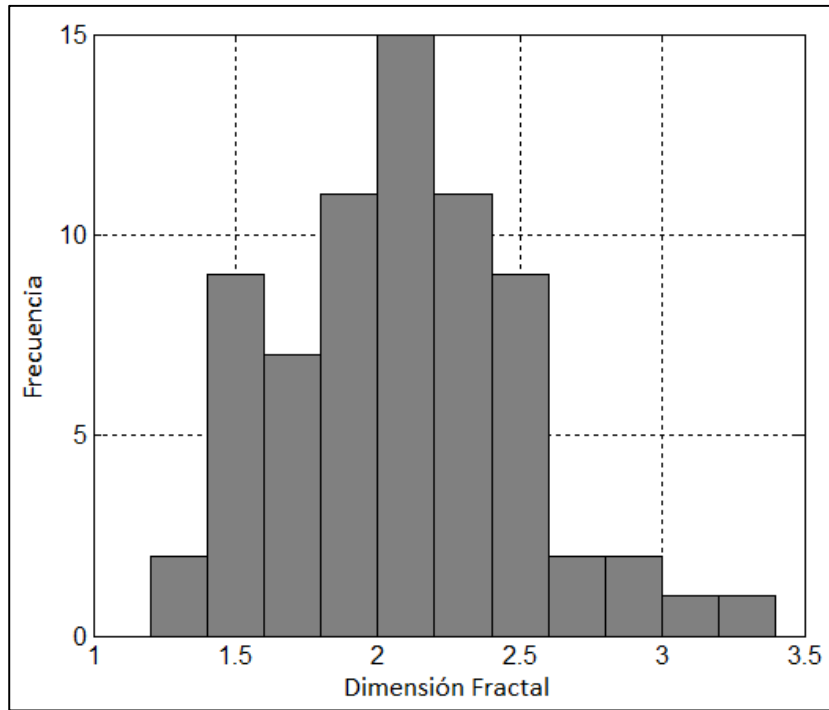


Figura 7-6: Histograma de distribución de los resultados de dimensión fractal.

La Figura 7-7 presenta un modelo de variación, en sección N60E, de la dimensión fractal de la distribución de tamaño de cristales de magnetita. Es posible observar un aumento sistemático de la dimensión fractal hacia las paredes y techo del plutón, lo que implica un menor predominio de cristales de magnetita de granulometría fina en el núcleo del intrusivo.

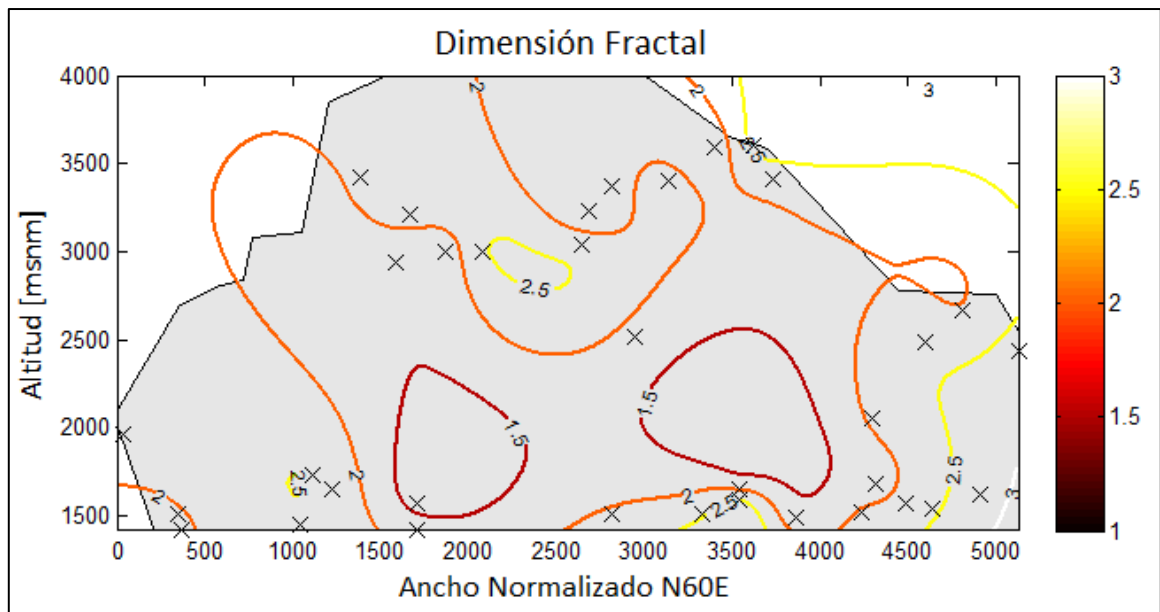


Figura 7-7: Modelo en sección N60E de ancho normalizado de la dimensión fractal de la distribución de tamaño de cristales de magnetita en el plutón La Gloria. Las cruces representan la proyección de los sitios de muestreo asociados a las secciones delgadas translúcidas estudiadas.

La distribución de tamaño de los cristales de magnetita difiere del comportamiento observado en las fases plagioclasa, biotita y anfíbola del plutón La Gloria, que exhiben una distribución semi-logarítmica (Gutiérrez *et al.*, 2013b), es decir, se ajustan a la Fórmula (7.4):

$$\log(N) = -\frac{R}{C} + \log(N_0) \quad (7.4)$$

Donde N es la densidad de cristales de un radio mayor a R, mientras que C y N_0 son constantes.

Se propone que la distribución de tamaño de la magnetita habría sido perturbada por la ocurrencia de una población, que llamaremos *tardía*, compuesta por cristales tardi-magmáticos de granulometría predominantemente fina; superpuesta a un conjunto previo de origen magmático y distribución semi-logarítmica, que llamaremos *temprana*. La Figura 7-8 presenta un gráfico de diámetro equivalente versus densidad de cristales de la muestra LG0103, que exhibe de manera esquemática la relación existente entre las dos poblaciones de cristales propuestas y las distribuciones de tamaño de la fase magnetita. Cabe señalar que, a nivel de sección delgada translúcida, no ha sido posible distinguir entre las dos poblaciones de cristales antes definidas.

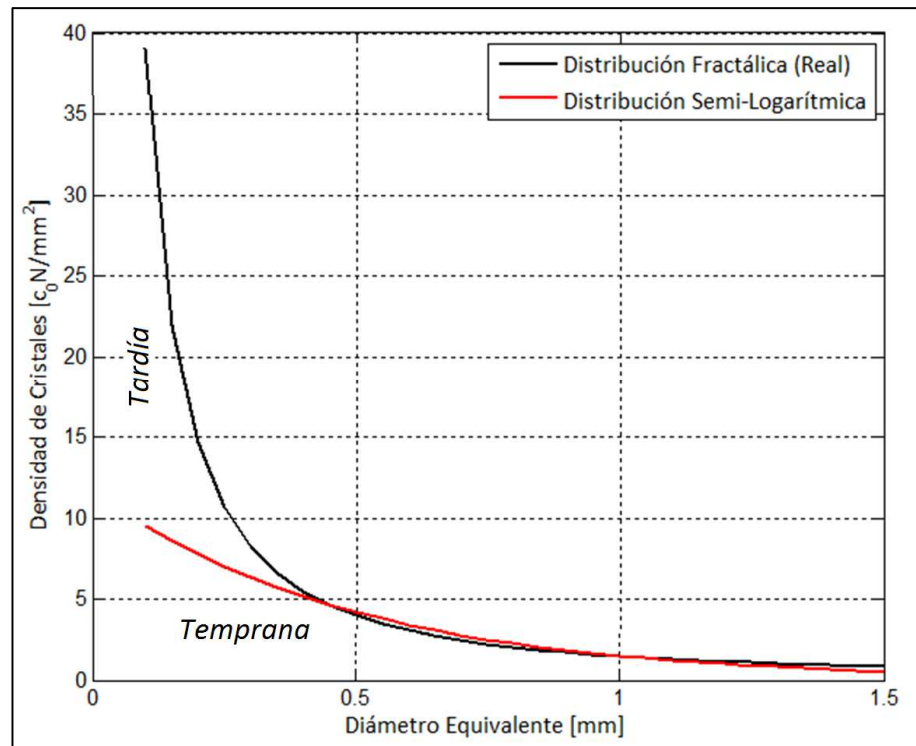


Figura 7-8: Gráfico de diámetro equivalente versus densidad de cristales (muestra LG0103). Se exhibe, de forma esquemática, la relación existente entre las dos poblaciones de cristales propuestas y las distribuciones de tamaño de la fase magnetita.

7.3.4 PORCENTAJE DE MAGNETITA TEMPRANA

La Tabla 7-6 muestra los contenidos corregidos de magnetita *temprana*, considerando las secciones con más de tres cristales de magnetita de diámetro equivalente superior a 0,25 mm.

Tabla 7-6: Contenido corregido de magnetita *temprana* en las secciones delgadas translúcidas.

Muestra	0,0 - 0,3 [mm]	0,3 - 0,6 [mm]	Sobre 0,6 [mm]
LG0103	0,06	0,02	0,19
LG0106	0,04	0,01	0,08
LG0302	0,03	0,08	0,03
LG0309-1	0,07	0,02	0,01
LG0309-3	0,23	0,20	0,08
LG0403	0,11	0,05	0,00
LG0407-2	0,18	0,06	0,00
LG0407-3	0,34	0,38	0,01
LG0706	0,30	0,16	0,00
LG0901	0,23	0,10	0,00
LG0909-1	0,02	0,07	0,23
LG0909-2	0,08	0,05	0,26
LG1207	0,07	0,07	0,04
LG1308	0,24	0,06	0,00
LG1406	0,15	0,05	0,00
LG1504	0,50	0,12	0,00
LG2017	0,20	0,03	0,00
LG2017-2	0,40	0,62	0,03
LG2017-3	0,25	0,22	0,01
LG2101	0,11	0,19	0,01
LG2315	0,52	0,87	0,55
LG2411-1	0,14	0,03	0,00
LG2411-2	0,51	0,40	0,01
LG2411-3	0,32	0,23	0,02
LG2710	0,06	0,04	0,00
LG2807	0,21	0,30	0,01
LG2909	0,05	0,04	0,03
LG3002	0,31	0,08	0,01
LG3106	0,49	0,22	0,00
LG3205	0,07	0,00	0,03
LG3306	0,32	0,25	0,01
LG3401	0,22	0,26	0,05
LG3402-3	0,36	0,09	0,00
LG3405-1	0,16	0,12	0,00
LG3405-2	0,14	0,12	0,00
LG3504	0,07	0,03	0,00
LG3510	0,15	0,06	0,00
LG4108-1	0,06	0,01	0,00
LG4108-2	0,05	0,01	0,12
LG4305-1	0,06	0,02	0,00
LG4305-2	0,06	0,04	0,02
LG4605-1	0,12	0,10	0,04
LG4605-2	0,11	0,03	0,08
LG4605-3	0,06	0,09	0,05
LG4805-2	0,24	0,48	0,08
LG4805-3	0,18	0,04	0,00
LG5201-3	0,34	0,08	0,00

El porcentaje corregido de magnetita *temprana* varía desde menos del 0,1% del volumen de roca hasta contenidos cercanos al 2,0%, con un promedio del orden de 0,4%. Sobre el 50% de la magnetita corresponde a cristales de un diámetro equivalente inferior a 0,3 mm; mientras que alrededor de un 10% supera un diámetro equivalente de 0,6 mm.

La Figura 7-9 muestra un modelo de variación del contenido total de magnetita *temprana* en el plutón La Gloria, en sección N60E de ancho normalizado. Se observa un aumento sistemático del porcentaje de magnetita *temprana* hacia el techo y paredes del intrusivo.

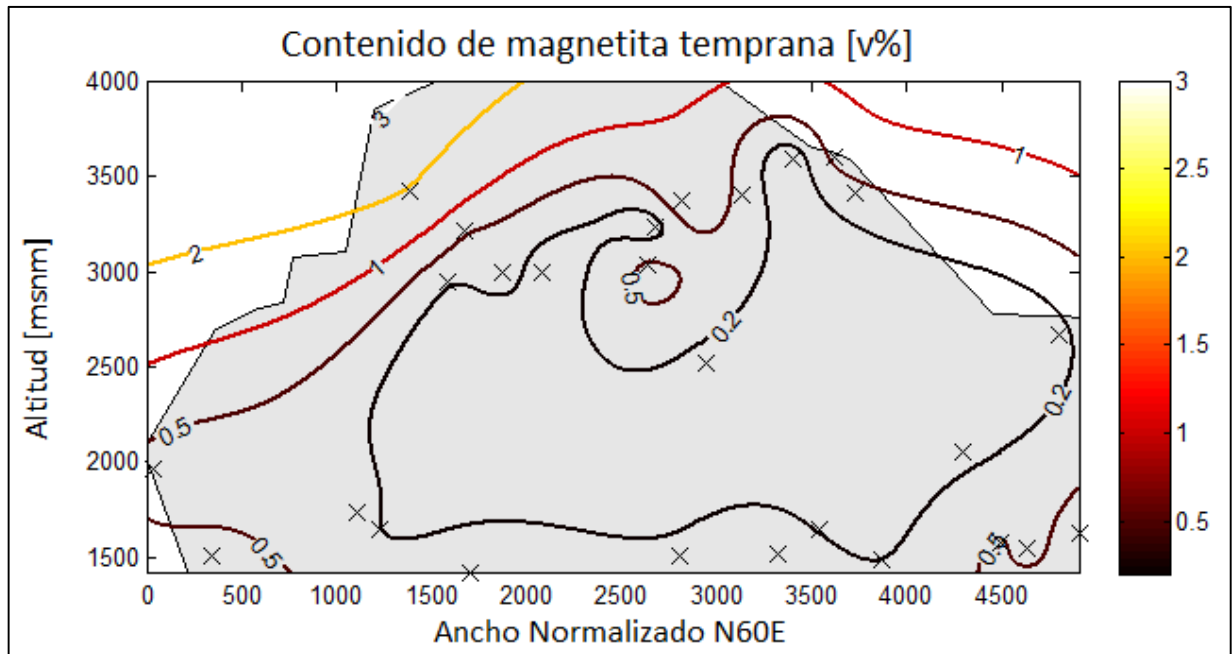


Figura 7-9: Modelo en sección N60E de ancho normalizado del contenido de magnetita *temprana* del plutón La Gloria. Las cruces representan la proyección de los sitios de muestreo asociados a las secciones delgadas translúcidas estudiadas.

7.4 RELACIONES ENTRE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE CRISTALES DE MAGNETITA

En esta sección se utilizan solo las secciones delgadas translúcidas que cuentan con datos de susceptibilidad magnética, se componen de un único tipo de litología y no presentan heterogeneidades texturales (Tablas 7-3, 7-4 y 7-5). Adicionalmente, se excluyen:

- A. Las muestras del sitio LG19, debido a que presenta diferencias texturales y composicionales con respecto al resto de los sitios del plutón La Gloria. Esto se debería a que el sitio LG19 exhibe un contenido particularmente elevado de xenolitos de roca de caja.
- B. Las muestras de los sitios LG03, LG20, LG24, LG48 y LG52 debido a que poseen errores relativos en las mediciones de los contenidos de magnetita demasiado elevados.

Se han planteado dos casos, de acuerdo al conjunto de datos de magnetita empleado:

- A. Utilización del contenido total de magnetita, es decir, incluyendo cristales tanto de la población *temprana* como de la *tardía* (ver sección 7.3.3).
- B. Utilización del contenido de magnetita *temprana*.

7.4.1 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y CONTENIDO TOTAL DE MAGNETITA

7.4.1.1 ANÁLISIS GLOBAL DEL INTRUSIVO

La Fórmula (7.5) muestra la expresión que permite aproximar la susceptibilidad magnética a partir de la concentración real de cada una de las clases de tamaño de magnetita.

$$K (10^{-6} [SI]) = 3960 + 1120C_1 + 10160C_2 + 2960C_3 \quad (7.5)$$

Donde C_i representa el porcentaje en volumen de cada una de las clases de tamaño de magnetita [%v] (Tabla 7-7). En la sección Apéndice E se presenta un análisis de sensibilidad de los resultados del ajuste lineal, en relación a la definición de las clases empleadas.

Tabla 7-7: Clases utilizadas para la distribución de tamaño de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

Clase	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro máximo (mm)
1	0,00	0,30
2	0,30	0,60
3	0,60	∞

La Figura 7-10 muestra un gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la aproximada por la Fórmula (7.5), donde se tiene un coeficiente de correlación $R = 0,68$.

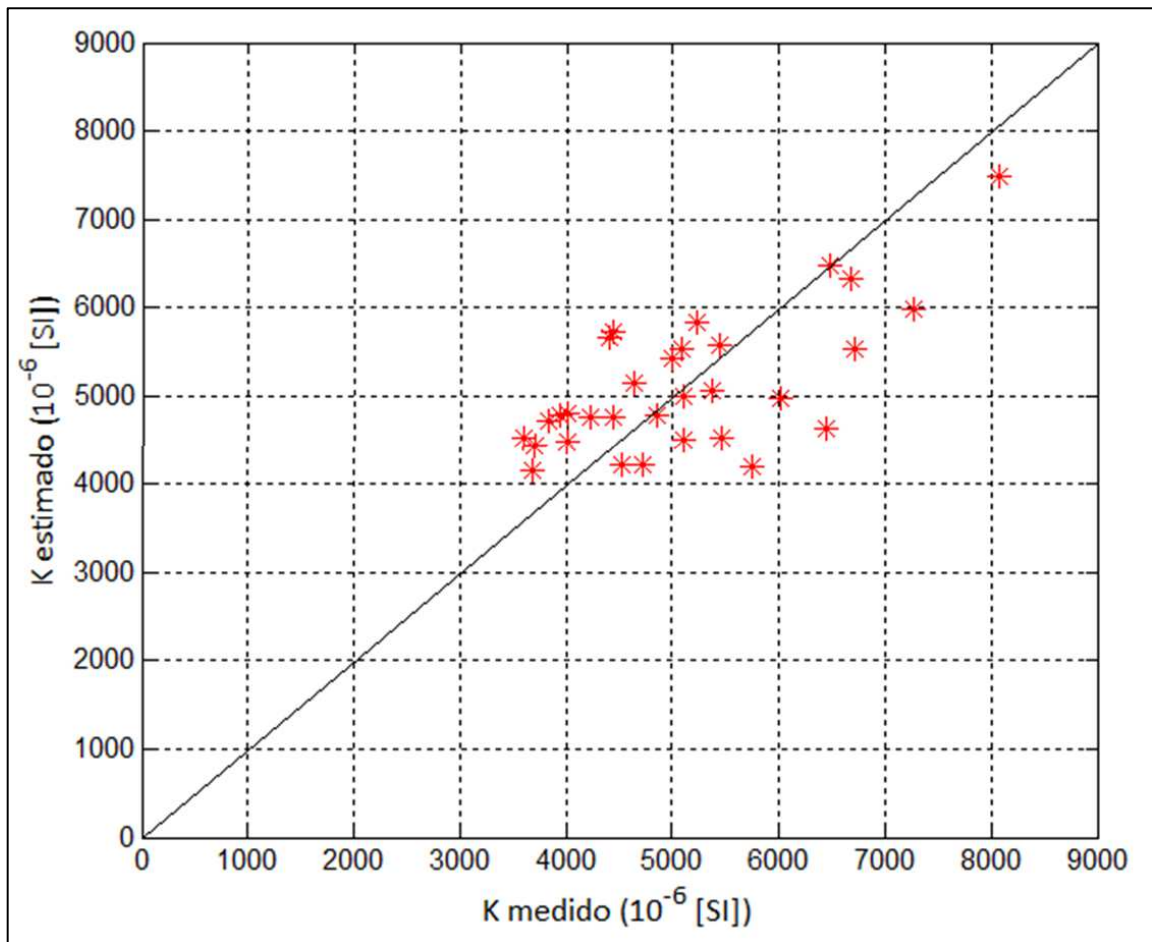


Figura 7-10: Gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la estimada a partir de la abundancia y tamaño de los cristales de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

Los intervalos de confianza (95%) de las constantes del ajuste lineal se muestran en la Tabla 7-8. Por otro lado, la Figura 7-11 muestra el tamaño promedio de los cristales de magnetita de cada clase, versus la contribución porcentual a la susceptibilidad magnética, incluyendo barras que representan un intervalo de 95% de confianza.

Tabla 7-8: Intervalos de confianza (95%) de las constantes del ajuste lineal entre K y el contenido de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

Coefficiente	Valor del coeficiente	Error típico	Intervalo de confianza (95%)
T_0	3960	300	(3350, 4570)
T_1	1120	380	(340, 1910)
T_2	10160	3300	(3390, 16940)
T_3	2360	2430	(-2630, 7350)

La diferencia entre T_1 y T_2 , estadísticamente significativa, indica una mayor contribución porcentual a la susceptibilidad magnética de los cristales de magnetita de mayor tamaño, al menos para diámetros equivalentes mayores a 0,3 mm. Para tamaños superiores, no se presentan variaciones estadísticamente relevantes.

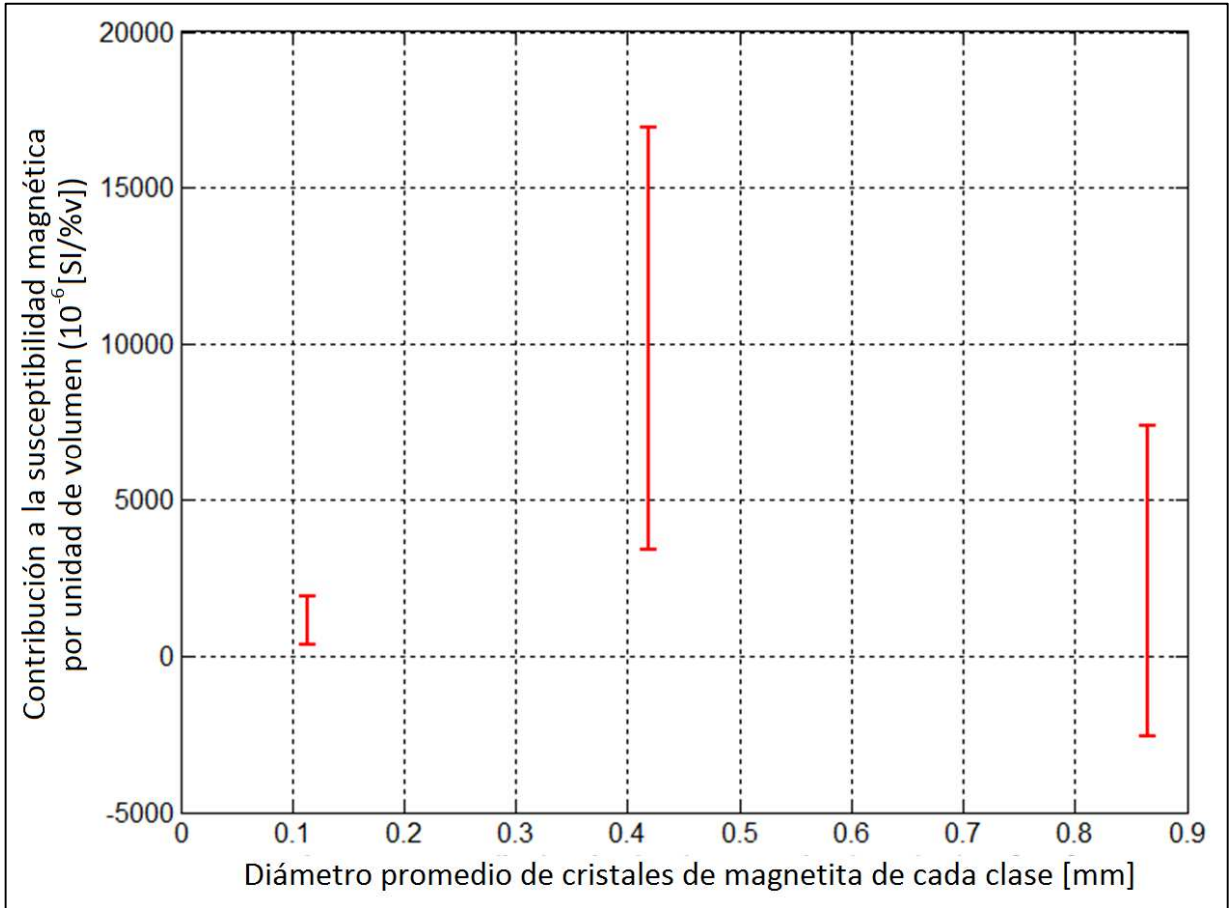


Figura 7-11: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución porcentual a la susceptibilidad magnética (análisis global del intrusivo, relacionando K y contenido total de magnetita).

7.4.1.2 ANÁLISIS PARTICIONADO DEL INTRUSIVO

Las muestras fueron agrupadas en dos conjuntos: aquellas cuya altitud sea menor a 2000 msnm (base) y aquellas que se encuentren sobre dicho nivel (techo). Las Fórmulas (7.6) y (7.7) presentan las expresiones que permiten aproximar la susceptibilidad magnética a partir de la concentración real de cada una de las clases de tamaño de magnetita, para el conjunto de muestras de la base y el techo del plutón, respectivamente.

$$K (10^{-6} [SI]) = 3400 + 1410C_1 + 8830C_2 + 2940C_3 \quad (7.6)$$

$$K (10^{-6} [SI]) = 4580 + 2220C_1 + 6020C_2 + 2050C_3 \quad (7.7)$$

Donde C_i representa el porcentaje en volumen de cada una de las clases de tamaño de magnetita [%v] (Tabla 7-9). En Apéndice E se presenta un análisis de sensibilidad de los resultados de los ajustes lineales, en relación a la definición de las clases empleadas.

Tabla 7-9: Clases utilizadas para la distribución de tamaño de magnetita (análisis particionado del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

Clase	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro máximo (mm)
1	0,00	0,30
2	0,30	0,60
3	0,60	∞

Los gráficos de susceptibilidad magnética medida versus la aproximada con las Fórmulas (7.6) y (7.7) (base y techo del intrusivo), se muestran en las Figuras 7-12 y 7-13; donde se tiene un coeficiente de correlación de $R = 0,87$ y $R = 0,72$, respectivamente.

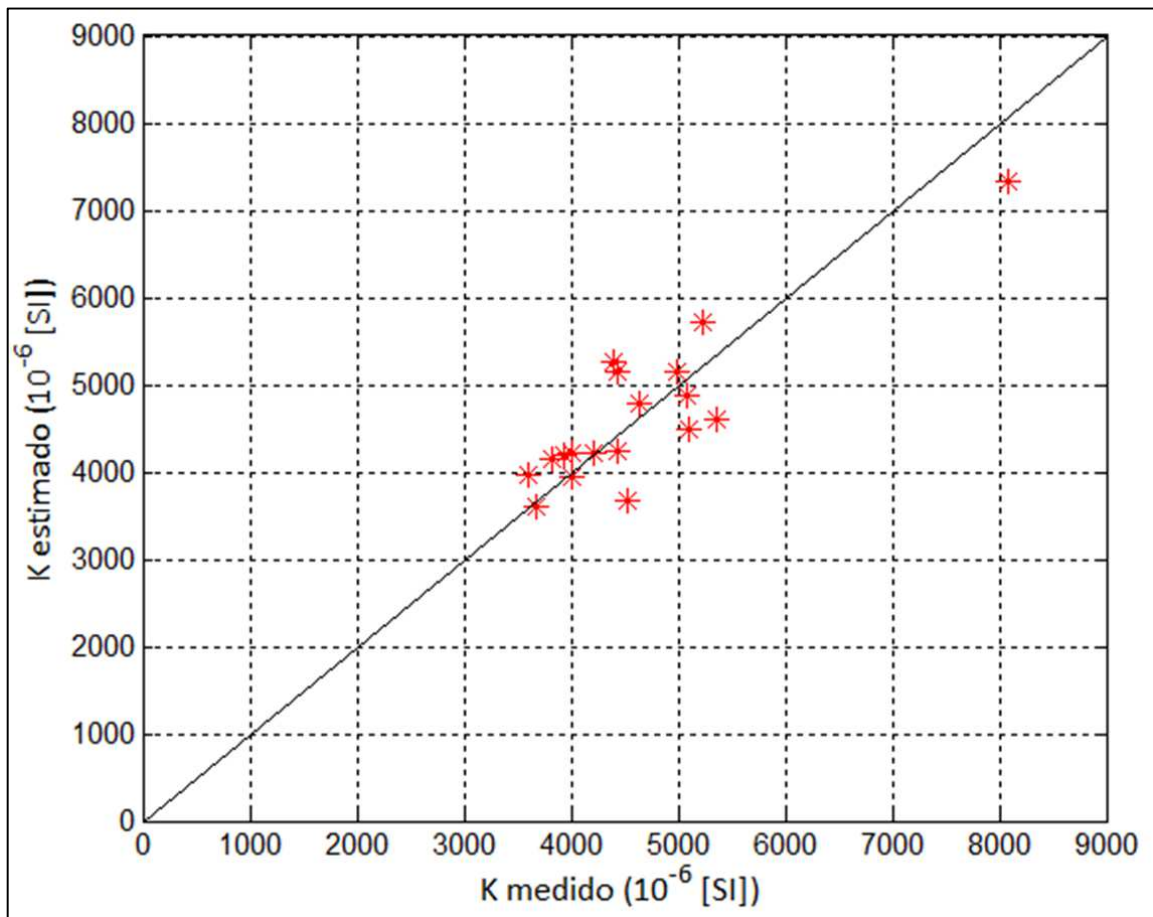


Figura 7-12: Gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la estimada a partir de la abundancia y tamaño de los cristales de magnetita (base del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

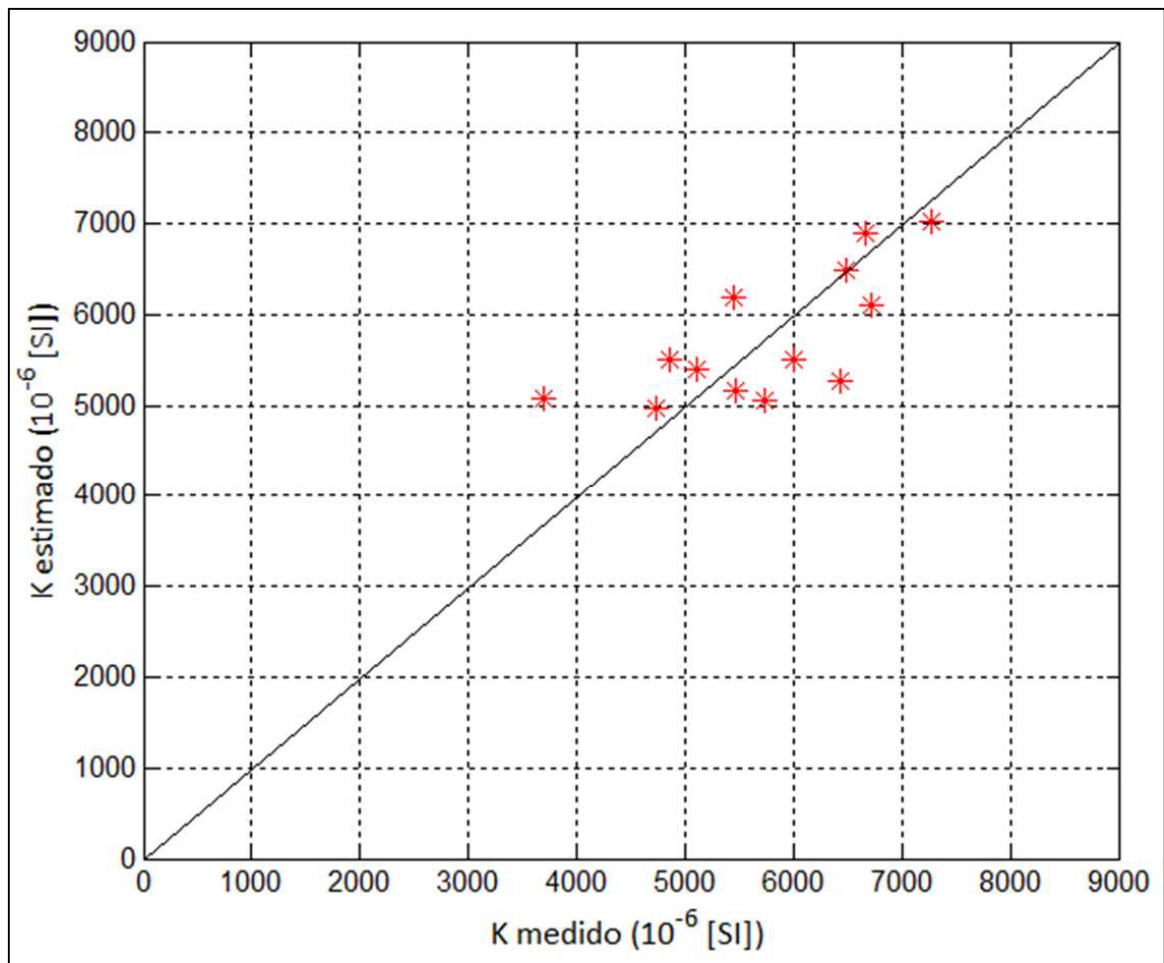


Figura 7-13: Gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la estimada a partir de la abundancia y tamaño de los cristales de magnetita (techo del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

La Tabla 7-10 muestra los intervalos de confianza (95%) de las constantes de los ajustes lineales resultantes para las muestras de la base y el techo del plutón La Gloria.

Tabla 7-10: Intervalos de confianza (95%) de las constantes del ajuste lineal entre K y el contenido de magnetita (análisis particionado del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

Base del plutón La Gloria			
Coefficiente	Valor del coeficiente	Error típico	Intervalo de confianza (95%)
T_0	3400	270	(2830, 3980)
T_1	1410	260	(850, 1960)
T_2	8830	3830	(610, 17050)
T_3	2940	1670	(-650, 6520)
Techo del plutón La Gloria			
Coefficiente	Valor del coeficiente	Error típico	Intervalo de confianza (95%)
T_0	4580	460	(3530, 5630)
T_1	2220	1480	(-1130, 5570)
T_2	6020	4180	(-3400, 15480)
T_3	2050	7090	(-13980, 18080)

7.4.2 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y CONTENIDO DE MAGNETITA TEMPRANA

7.4.2.1 ANÁLISIS GLOBAL DEL INTRUSIVO

La expresión que permite aproximar la susceptibilidad magnética a partir de la concentración de las clases de tamaño de magnetita *temprana* se muestra en la Fórmula (7.8).

$$K (10^{-6} [SI]) = 4180 + 5600C_1 + 5210C_2 + 2760C_3 \quad (7.8)$$

Donde C_i es el porcentaje en volumen de cada una de las clases de tamaño de magnetita *temprana* [%v]. En Anexo E se muestra un análisis de sensibilidad de los resultados del ajuste lineal, en función de las clases de tamaño empleadas.

La Figura 7-14 muestra un gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la aproximada por la Fórmula (7.8), donde se tiene un coeficiente de correlación $R = 0,73$.

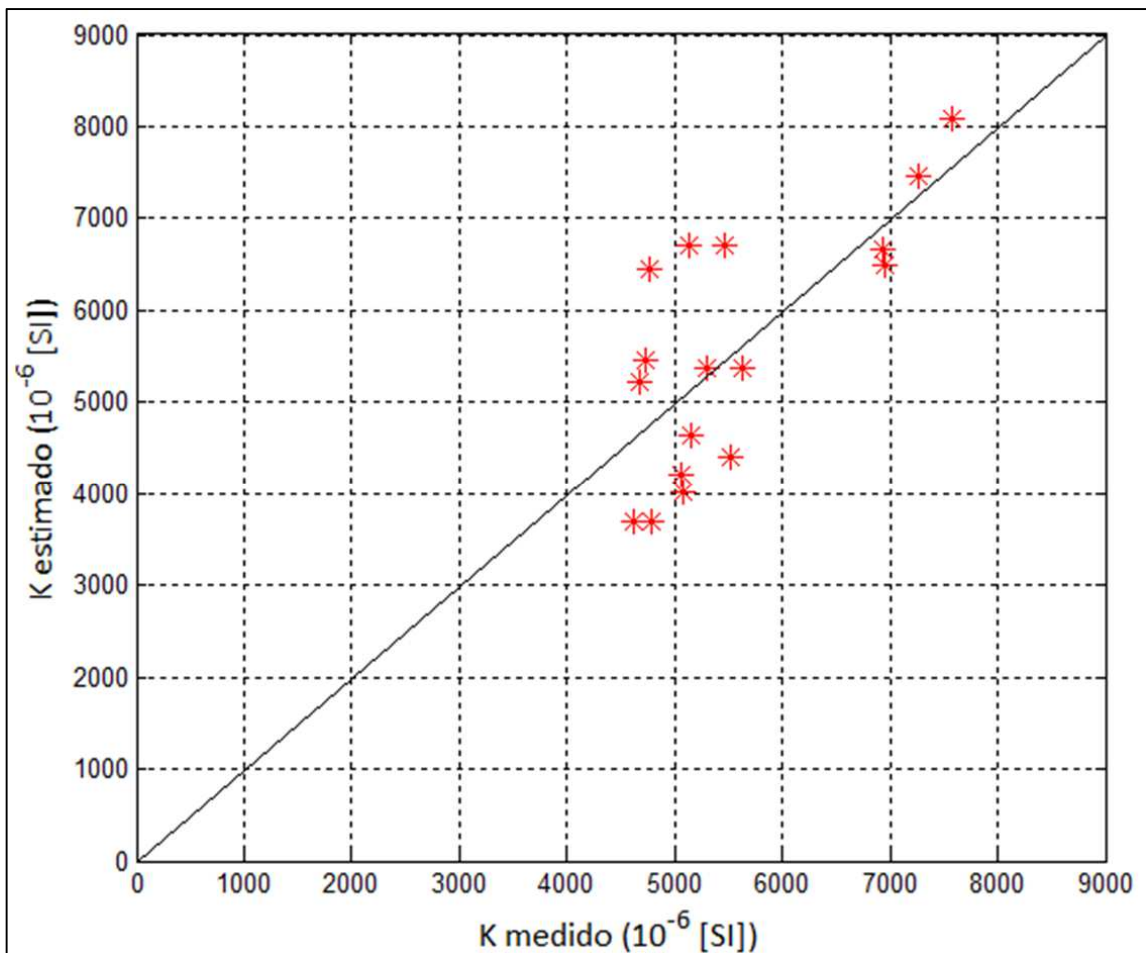


Figura 7-14: Gráfico de susceptibilidad magnética medida versus la estimada a partir de la abundancia y tamaño de los cristales de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido de magnetita *temprana*).

La Tabla 7-11 muestra los intervalos de confianza (95%) de las constantes del ajuste lineal, de donde es posible notar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre T_1 , T_2 y T_3 .

Tabla 7-11: Intervalos de confianza (95%) de las constantes del ajuste lineal entre K y el contenido de magnetita (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido de magnetita *temprana*).

Coefficiente	Valor del coeficiente	Error típico	Intervalo de confianza (95%)
T_0	4180	500	(3100, 5270)
T_1	5600	2720	(-270, 11470)
T_2	5210	3540	(-2430, 12850)
T_3	2760	3290	(-4350, 9870)

7.4.3 OBSERVACIONES GENERALES

En base al estudio de las relaciones existentes entre susceptibilidad magnética y distribución de tamaño del total de los cristales de magnetita (población *temprana* y *tardía*), es posible notar que:

- A. Existe una mayor contribución a la susceptibilidad magnética por unidad de volumen de los cristales de magnetita de mayor tamaño (diámetros equivalentes superiores a 0,3 mm). Cabe señalar que corresponde a un resultado estadísticamente significativo.
- B. Aunque no es un resultado suficientemente confiable, es posible notar que la contribución por unidad de volumen de los cristales de magnetita sobre la susceptibilidad magnética muestra un *peak* en torno a un diámetro equivalente entre 0,3 y 0,6 mm.
- C. No se observan diferencias significativas en los resultados de T_1 , T_2 y T_3 entre las muestras provenientes de la base del plutón La Gloria y aquellas provenientes de niveles superiores.
- D. El valor de T_0 es significativamente mayor en el caso de las muestras ubicadas sobre los 2000 msnm del plutón La Gloria.

Por otro lado, no se identifica dependencia alguna entre la contribución porcentual a la susceptibilidad magnética de los cristales de magnetita *temprana* y su diámetro equivalente (T_1 , T_2 y T_3 no presentan diferencias estadísticamente significativas).

8 MODELO EVOLUTIVO DEL SISTEMA MAGMÁTICO

8.1 GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL Y SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

8.1.1 INTRODUCCIÓN: EL NÚCLEO INTERMEDIO

Los resultados de susceptibilidad magnética del plutón La Gloria, como ha sido establecido en el presente estudio (ver sección 6.3), exhiben una correlación directa respecto a los contenidos de Fe_2O_3^t y TiO_2 , e inversa respecto a los porcentajes de SiO_2 .

Sin embargo, los patrones de distribución espacial de susceptibilidad magnética y geoquímica de elementos mayores no muestran con claridad las relaciones descritas, determinado por la presencia de un sector empobrecido en SiO_2 y enriquecido en TiO_2 y Fe_2O_3^t , que no exhibe anomalía alguna en los datos de susceptibilidad magnética y abundancia de cristales de magnetita. Esta zona, que llamaremos *núcleo intermedio*, se ubica alrededor de los 3000 msnm (ver Figura 6-2); y su presencia evidencia la ocurrencia de procesos magmáticos capaces de alterar la composición química del plutón sin afectar su susceptibilidad magnética, o viceversa.

Si bien el *núcleo intermedio* presenta forma tabular (ver Figura 6-2), la densidad de muestreo geoquímico no permite considerar esta observación como un dato suficientemente confiable.

8.1.2 CONTROL GEOQUÍMICO SOBRE LA CRISTALIZACIÓN DE MAGNETITA

Con el fin de evaluar la viabilidad de que el *núcleo intermedio* sea producto de un proceso que modifique la susceptibilidad magnética de un sector del plutón La Gloria, sin afectar su composición geoquímica; se ha estudiado la relación existente entre el contenido de magnetita, principal responsable de los resultados de susceptibilidad magnética (Gutiérrez *et al.*, 2013a), y la composición geoquímica del magma en cristalización.

Para ello, se ha modelado en el programa MELTS la evolución de magmas de distinta composición inicial (*núcleo intermedio* y el *resto del intrusivo*), obteniéndose información del contenido total de la fase magnetita, para porcentajes variables de H_2O . Como composición del *núcleo intermedio* se ha empleado el promedio de los sectores "medio central" y "medio borde" definidos por Cornejo y Mahood (1997) (Tabla 8-1); mientras que el promedio de las zonas "inferior central", "inferior borde" y "superior" ha sido utilizado como la composición del *resto del intrusivo* (Tabla 8-1).

Tabla 8-1: Composición química promedio de cada sector del plutón La Gloria (Cornejo y Mahood, 1997).

Óxido	Inferior central	Inferior borde	Medio central	Medio borde	Superior	Leucogranito
SiO ₂ [%]	65,3	64,7	62,8	63,0	66,5	77,5
TiO ₂ [%]	0,57	0,58	0,72	0,69	0,56	0,15
Al ₂ O ₃ [%]	16,3	16,6	16,9	17,0	16,1	13,0
Fe ₂ O ₃ (t) [%]	4,41	4,56	5,01	5,22	4,38	0,28
MnO [%]	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,02
MgO [%]	1,85	1,80	2,21	2,04	1,25	0,01
CaO [%]	3,80	3,82	4,41	4,00	2,47	1,05
Na ₂ O [%]	4,20	4,26	4,69	4,38	4,12	2,58
K ₂ O [%]	3,28	3,40	3,00	3,43	4,51	5,33
P ₂ O ₅ [%]	0,15	0,15	0,19	0,17	0,14	0,02

Las condiciones impuestas en los modelos de MELTS son:

- A. Presión de 2 kbar.
- B. Temperatura entre 1200°C y 700°C.
- C. Contenido de agua entre 1% y 3% en masa.
- D. Buffer: QFM+2.

La Figura 8-1 muestra un gráfico del contenido modelado de espinela versus la temperatura del magma, empleando como composición inicial del fundido la información geoquímica del *núcleo intermedio* y del *resto del intrusivo*. Es posible notar que:

- A. La cristalización de magnetita ocurre durante gran parte de la historia de enfriamiento del magma.
- B. La ocurrencia de espinela es significativamente superior para el caso en que la geoquímica del magma modelado coincide con la información del *núcleo intermedio*; probablemente condicionado por la mayor concentración de Fe y Ti.
- C. La influencia del contenido de H₂O sobre el contenido total de magnetita es relativamente baja, al menos en el rango composicional utilizado.
- D. Aún cuando los contenidos modelados de magnetita son ligeramente superiores a los observados en el plutón La Gloria, se espera que las tendencias identificadas no se vean afectadas por cambios ligeros en las condiciones iniciales impuestas en los modelos,

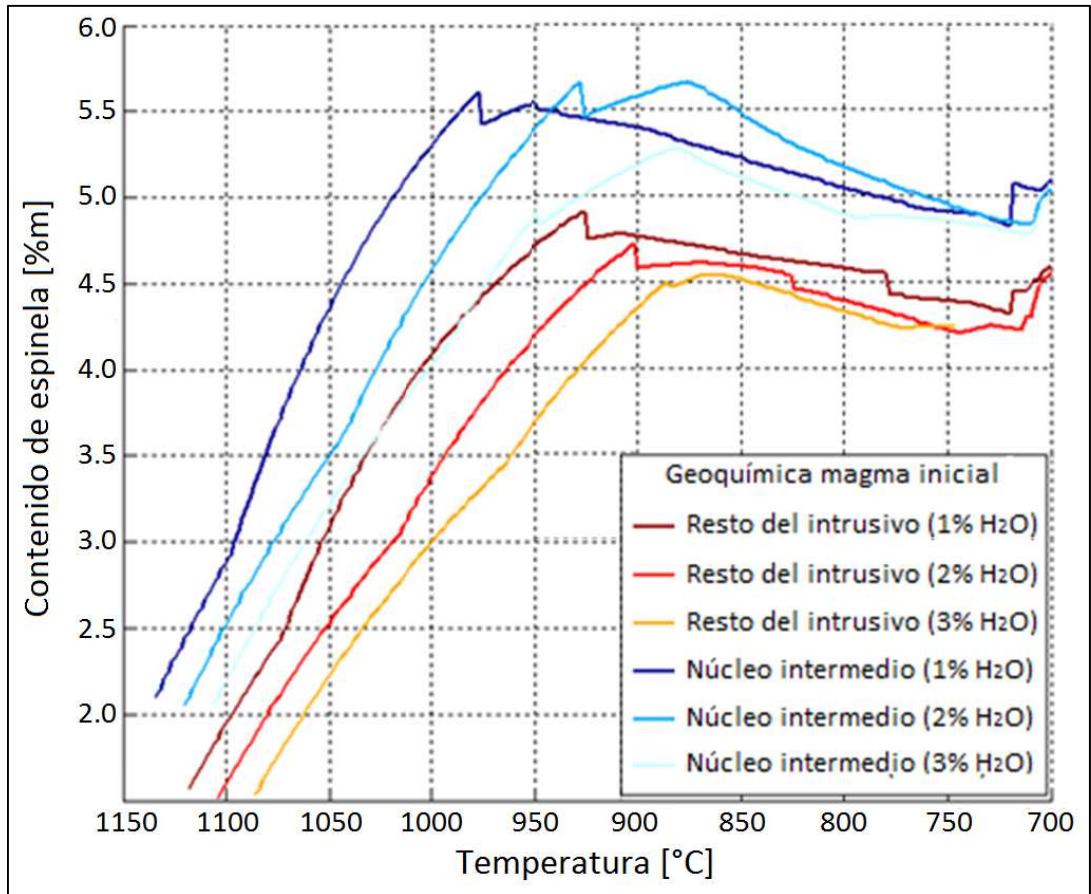


Figura 8-1: Gráfico del contenido de espinela modelado en MELTS versus la temperatura del magma, empleando la información geoquímica del *núcleo intermedio* y del *resto del intrusivo*.

Como la magnetita cristaliza durante gran parte de la historia de enfriamiento del intrusivo y su concentración está fuertemente condicionada por la composición química del magma inicial, es posible concluir que el proceso petrológico responsable de la presencia del *núcleo intermedio* debió ocurrir en etapas tardías de cristalización, posterior a la generación de los cristales de magnetita.

Por otro lado, una inyección tardía de un pulso magmático relativamente pobre en sílice tampoco explicaría los patrones de distribución de susceptibilidad magnética y contenidos de magnetita observados; pues se manifestaría en un volumen de elevada susceptibilidad magnética, alto contenido de magnetita y/o anomalías texturales respecto al resto del intrusivo, rasgos que no han sido observados.

En consecuencia, se propone una hipótesis alternativa para la generación del mencionado *núcleo intermedio*: migración tardía de fluidos diferenciados hacia niveles someros de la corteza.

8.2 MIGRACIÓN TARDÍA DE FLUIDOS DIFERENCIADOS

8.2.1 MECANISMOS DE TRANSPORTE

Se han identificado dos posibles mecanismos de migración de fluidos diferenciados:

Ascenso de material producto de la compactación de fases sólidas:

La migración de fluidos por compactación pura parece ser improbable en el plutón La Gloria dado que este no presenta texturas de compactación pura ni zonas de acumulación de minerales densos, como la fase magnetita. Por otro lado, la habilidad de un fundido para separarse de una fase cristalina que ha experimentado un proceso de compactación pura depende principalmente de su viscosidad; y en el caso de magmas graníticos, aún cuando la fracción de fundido sea superior al 10% y se encuentre sobre-saturada en agua, solo puede ocurrir el fraccionamiento de una pequeña porción de material (McKenzie, 1985).

Generación de una red de diques:

La presencia de diques leucocráticos dentro del intrusivo es la principal evidencia que sustenta esta alternativa. En la sección 8.2.2 se presenta una breve descripción de los diques leucocráticos observados en el plutón La Gloria; mientras que en las secciones 8.2.3 y 8.2.4 se exponen algunas implicancias asociadas a un modelo de extracción de fluidos diferenciados a través de diques canalizadores.

8.2.2 DIQUES LEUCOCRÁTICOS DEL PLUTÓN LA GLORIA

Los diques leucocráticos del plutón La Gloria exhiben un espesor variable entre < 1 cm y ~ 1 m (Figura 8-2). Aquellos de espesor inferior a 5 – 10 cm tienden a ser sinusoidales, discontinuos y con frecuentes ramificaciones (Figura 8-2(A-C)), mientras que los de mayor tamaño suelen ser rectos y continuos (Figura 8-2(D)). Es importante señalar que no es posible asumir que estos rasgos hayan permanecido inalterables durante todo el proceso de transporte de fluidos.

Los diques presentan una orientación preferencial NNW y distribución espacial irregular; observándose sitios con hasta un 5% de material leucocrático, y sectores donde esta litología está ausente. Se estima que el porcentaje global de diques dentro del plutón La Gloria es inferior al 0,1%.

En general, la mineralogía de relleno es cuarzo - feldespato potásico - plagioclasa de grano muy fino a medio, observándose también texturas pegmatíticas de biotita y turmalina.

Existe cierto grado de reorientación de los cristales del plutón adyacentes a los bordes de los diques leucocráticos, lo que sumado a la presencia de límites poco nítidos en los diques de menor tamaño, evidencia que estas discontinuidades funcionaron como canalizadores de material proveniente del mismo cuerpo ígneo.

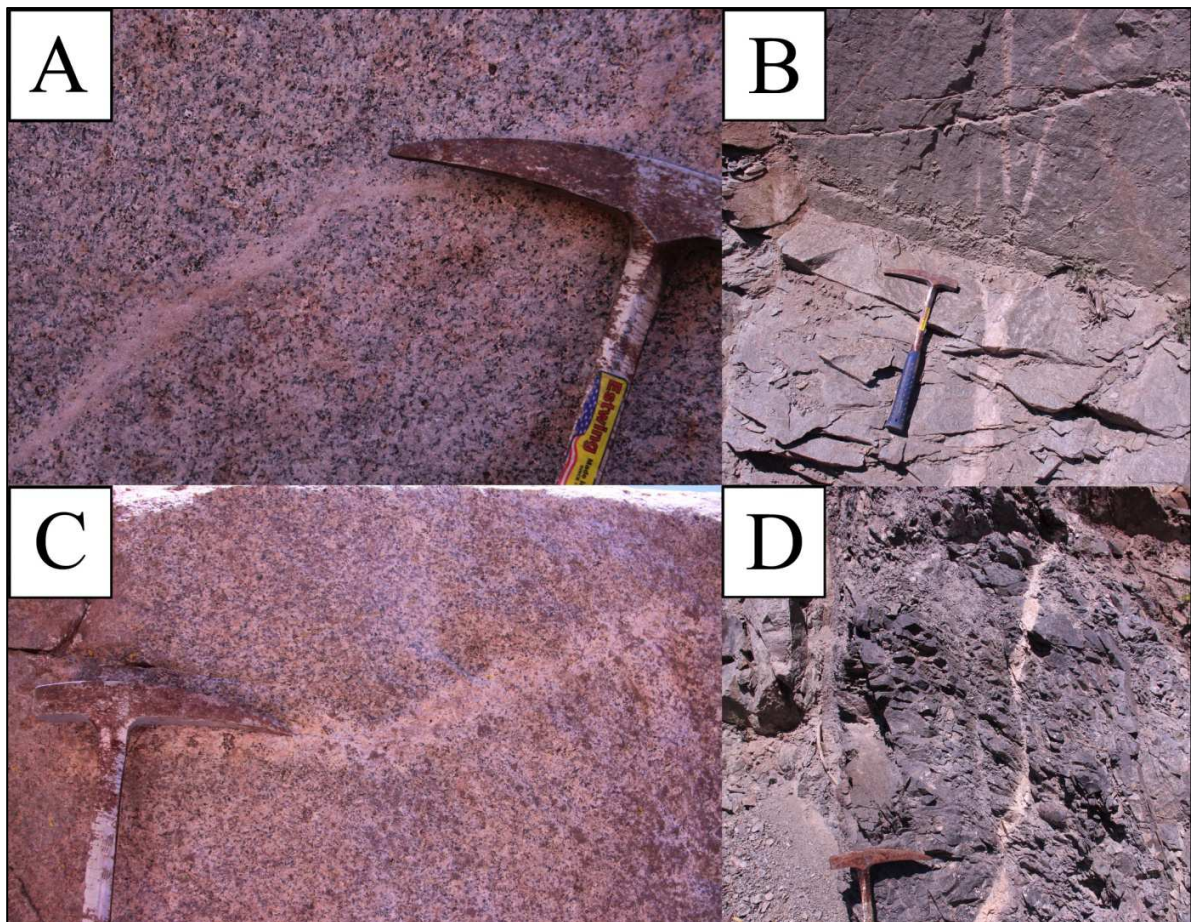


Figura 8-2: Imágenes de diques leucocráticos del plutón La Gloria. A: Sitio LG09. B: Sitio LG15. C: Sitio LG48. D: Sitio LG15.

8.2.3 BALANCE DE MASA ASOCIADO A LA MIGRACIÓN DE FLUIDOS DIFERENCIADOS

En la presente sección, a partir de información geoquímica, se busca cuantificar el porcentaje de material extraído que permitió generar el denominado *núcleo intermedio*, asumiendo un modelo de extracción de fluidos a través de diques canalizadores.

Los datos utilizados, que han sido determinados en base a la Tabla 8-1, se muestran en la Tabla 8-2. Los criterios empleados son:

- A. Como composición del *material fraccionado* se utilizó la geoquímica de los diques leucocráticos presentes en el intrusivo (columna "Leucogranito").
- B. El promedio de las columnas "Medio central" y "Medio borde" corresponde a la composición del *material remanente* de la extracción de fluidos.
- C. El promedio de las columnas restantes representa la composición del *material inicial*.

Tabla 8-2: Datos geoquímicos empleados en el balance de masa. Basado en [Cornejo y Mahood \(1997\)](#).

Óxido	Material inicial	Material remanente	Material fraccionado
SiO ₂ [%]	65,5 ± 0,9	62,9 ± 0,1	77,5
TiO ₂ [%]	0,57 ± 0,01	0,71 ± 0,02	0,15
Al ₂ O ₃ [%]	16,3 ± 0,3	16,95 ± 0,07	13,0
Fe ₂ O ₃ (t) [%]	4,5 ± 0,1	5,1 ± 0,1	0,28
MnO [%]	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,02
MgO [%]	1,6 ± 0,3	2,1 ± 0,1	0,01
CaO [%]	3,4 ± 0,8	4,2 ± 0,3	1,05
Na ₂ O [%]	4,2 ± 0,1	4,5 ± 0,2	2,58
K ₂ O [%]	3,7 ± 0,7	3,2 ± 0,3	5,33
P ₂ O ₅ [%]	0,14 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,02

Definiendo una iteración sobre distintas razones de mezcla entre el *material fraccionado* y *remanente* se determina la proporción que genera la geoquímica del *material inicial*, de acuerdo a un criterio de mínima sumatoria del cuadrado del error porcentual de cada elemento mayor; donde Mg, Ca, P y Mn han sido ignorados dado que las desviaciones estándar de las composiciones del *material inicial* y *remanente* son demasiado elevadas con respecto a las concentraciones del *material fraccionado*.

Se ha determinado que la proporción óptima es de un 83% de *material remanente* y 17% de *material fraccionado*, como se observa en la Figura 8-3.

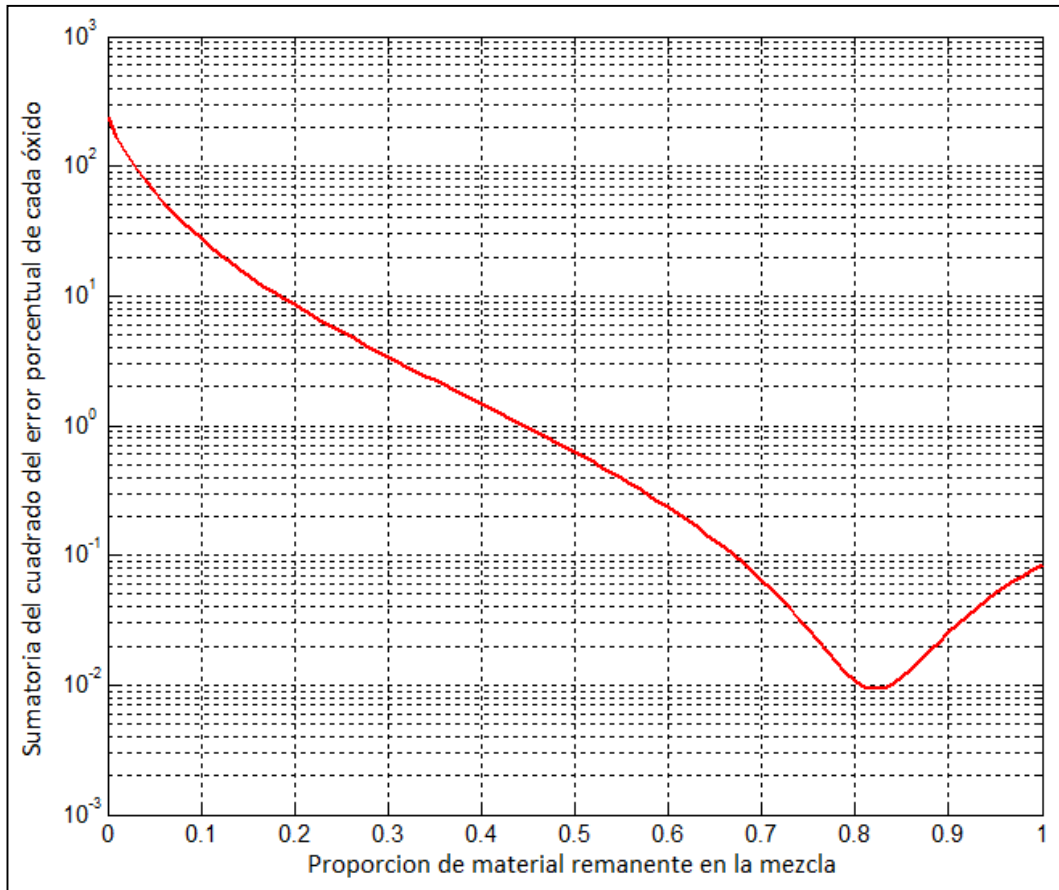


Figura 8-3: Gráfico de la sumatoria del error porcentual al cuadrado entre la geoquímica medida del *material inicial* y la estimada a partir de la mezcla del *material remanente* y *fraccionado*, versus la proporción de *material remanente* en la mezcla.

La Tabla 8-3 muestra una comparación entre los resultados de *material inicial* empleando la proporción propuesta y los provenientes de los análisis químicos. Los resultados indican que es posible explicar la presencia del *núcleo intermedio* como el material remanente de un proceso de segregación de material diferenciado, a través de diques canalizadores.

Tabla 8-3: Comparación de los resultados de *material inicial* empleando la proporción propuesta y los datos de análisis químicos.

Óxido	Datos químicos	Utilizando $p = 0,83$	Error porcentual
SiO ₂ [%]	65,5 ± 0,9	65,38	0,2
TiO ₂ [%]	0,57 ± 0,01	0,61	7,9
Al ₂ O ₃ [%]	16,3 ± 0,3	16,28	0,1
Fe ₂ O ₃ (t) [%]	4,5 ± 0,1	4,28	4,9
Na ₂ O [%]	4,2 ± 0,1	4,17	0,6
K ₂ O [%]	3,7 ± 0,7	3,56	3,7

Es importante destacar que la proporción modelada de la fase extraída (*material fraccionado*) respecto al *material remanente* (17/83) no se condice con las evidencias de

terreno, pues la presencia de diques leucocráticos es significativamente inferior; lo que indicaría que gran parte del material diferenciado no ha sido conservado.

8.2.4 ANÁLISIS GEOQUÍMICO ASOCIADO A LA MIGRACIÓN DE FLUIDOS DIFERENCIADOS

En la presente sección se pretende evaluar la consistencia geoquímica existente entre los diques leucocráticos observados en el plutón La Gloria y el fundido remanente en la cámara magmática, a medida que el magma cristaliza; de modo de evaluar la viabilidad del modelo de migración de fluidos propuesto, y estimar las condiciones en que habría ocurrido el fraccionamiento de material diferenciado.

Se ha empleado el programa MELTS para determinar la composición química de la fase líquida a medida que un magma cristaliza, imponiendo:

- A. La información de la columna "Material inicial", presente en la Tabla 8-2, como composición del magma inicial.
- B. Presión de 2 kbar.
- C. Temperatura entre 1200°C y 700°C.
- D. Contenido de agua entre 1% y 3% en masa.
- E. Buffer: QFM+2.

Se ha seleccionado la temperatura del magma que minimiza la sumatoria del cuadrado del error relativo entre la composición de los diques leucocráticos (columna "Material diferenciado" de la Tabla 8-2) y la composición del líquido residual según MELTS; donde se excluye Fe, Mg, Mn, P y Ti dada su baja concentración (Figura 8-4).

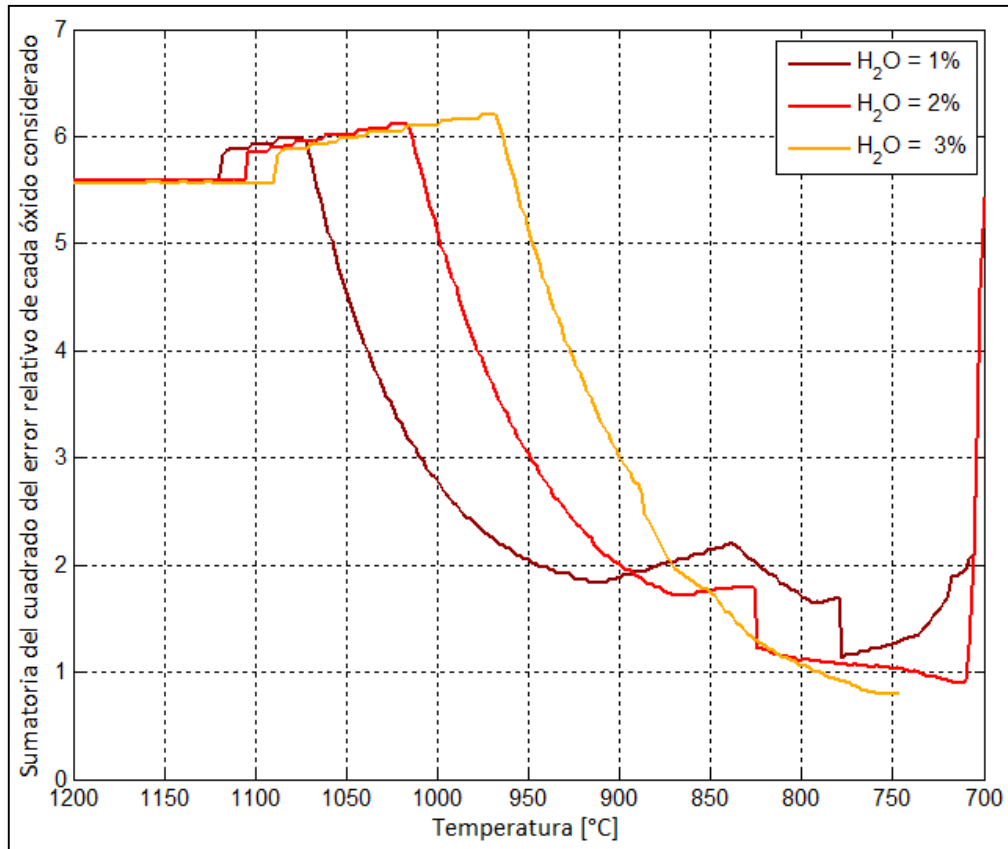


Figura 8-4: Gráfico de la sumatoria del cuadrado del error porcentual entre la composición de los diques leucocráticos y la composición del líquido residual según MELTS, versus la temperatura del magma.

Las temperaturas óptimas de extracción del fluido diferenciado, para un fundido con 1%, 2% y 3% de H₂O, son de 778°C, 716°C y 758°C, respectivamente. La Tabla 8-4 muestra la composición química del líquido residual óptimo para los tres casos modelados en MELTS, y la geoquímica de los diques leucocráticos observados.

Tabla 8-4: Composición química del líquido residual óptimo extraído modelado en MELTS y la composición de los diques leucocráticos observados.

Óxido	Modelación en MELTS			Diques leucocráticos observados
	H ₂ O = 1%	H ₂ O = 2%	H ₂ O = 3%	
SiO ₂ [%]	79,65	80,41	76,96	77,5
Al ₂ O ₃ [%]	10,13	9,94	12,00	13,0
CaO [%]	2,07	1,93	1,94	1,05
Na ₂ O [%]	1,83	2,12	2,86	2,58
K ₂ O [%]	3,96	3,56	4,03	5,33

La diferencia entre la composición química modelada y los diques leucocráticos es relativamente elevada, obteniéndose los mejores resultados para un magma inicial con 3% de H₂O.

Cabe señalar que, en la temperatura óptima de extracción, el ~60% del magma corresponde a material de la fase cristalina, mientras que la viscosidad del líquido residual es del orden de $10^5 - 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (datos extraídos de los modelos de MELTS).

9 DISCUSIÓN

9.1 GEOQUÍMICA, MINERALOGÍA MAGNÉTICA Y SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

9.1.1 GENERALIDADES

Las relaciones observadas entre la información geoquímica de roca total y la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria son concordantes con las estudiadas en otros intrusivos (Gleizes *et al.*, 1993; Aydin *et al.*, 2007)³: relación directa entre susceptibilidad magnética y los porcentajes de Fe_2O_3^t y TiO_2 ; e inversa con respecto al contenido de SiO_2 .

La correlación entre susceptibilidad magnética y el porcentaje de Fe_2O_3^t se explica por la presencia de Fe en los tres minerales de mayor susceptibilidad magnética presentes en el plutón La Gloria: magnetita, biotita y anfíbola. En el caso del TiO_2 , se debe a la presencia de Ti dentro de la solución sólida de la titano-magnetita y por la ocurrencia de cristales de titanita en el entorno inmediato de minerales como biotita y magnetita (Cornejo y Mahood, 1997). Finalmente, la relación entre susceptibilidad magnética y el contenido de SiO_2 sería consecuencia indirecta de la relación inversa existente entre los porcentajes de SiO_2 y Fe_2O_3^t , originada por sus diferencias de compatibilidad durante la cristalización de un magma intermedio.

Los coeficientes de correlación calculados (Tablas 6-3 y 6-4) no permiten proponer a la susceptibilidad magnética como una variable capaz de predecir adecuadamente cambios geoquímicos al interior del intrusivo, y ha sido necesario incluir otros parámetros, como la mineralogía ferromagnética. Se sugiere que esto estaría condicionado por el patrón de zonación débilmente desarrollado que exhibe el plutón La Gloria, en relación a los intrusivos estudiados en los documentos antes citados (Mont-Louis Andorra y Saruhan).

Sin embargo, dada la utilización de conjuntos independientes de datos geoquímicos y magnéticos, es probable que la correlación estimada entre la susceptibilidad magnética y la geoquímica de roca total haya sido subestimada; de modo que no es posible descartar fehacientemente el potencial de la susceptibilidad magnética como un indicador confiable de cambios geoquímicos en el plutón La Gloria.

La mineralogía ferromagnética, por su parte, es capaz de explicar los resultados de susceptibilidad magnética solo si se incluye en el análisis la distribución de tamaño de los

³ Los intrusivos estudiados en los trabajos citados son el plutón Mont-Louis Andorra y el plutón Saruhan.

cristales de magnetita, obteniéndose índices de correlación relativamente elevados ($R = 0,87$ y $R = 0,72$; en la base y el techo del intrusivo, respectivamente).

Cabe destacar que el control existente sobre los resultados de susceptibilidad magnética por parte de la fase magnetita, enunciado por *Gutiérrez et al. (2013a)* y corroborado en el presente estudio, es consistente con los datos de temperatura de Curié de cuatro muestras del plutón ($(578,0 \pm 1,5)^\circ\text{C}$) (Apéndice F) y con los patrones comunes de zonación observados: tanto los contenidos de magnetita como la susceptibilidad magnética medida exhiben un sistemático aumento hacia las paredes y techo del plutón La Gloria.

9.1.2 MAGNETITA TEMPRANA VERSUS MAGNETITA TARDÍA

Se ha observado que el aporte porcentual de los cristales de magnetita sobre los resultados de susceptibilidad magnética es dependiente del diámetro equivalente de los minerales (ver sección 7.4).

La menor contribución porcentual a la susceptibilidad magnética la presentan los cristales de la clase de menor tamaño (C_1 , diámetro equivalente inferior a 0,3 mm), lo que se ha interpretado como producto de la generación de dos poblaciones de cristales de magnetita:

- A. *Temprana*: población formada durante las primeras etapas de enfriamiento de la cámara magmática, incluida en las tres clases de tamaño definidas (diámetro equivalente inferior a 0,3 mm; entre 0,3 y 0,6 mm; y superior a 0,6 mm).
- B. *Tardía*: población formada en las últimas etapas de enfriamiento del intrusivo, cuya ocurrencia se concentraría en la clase de menor tamaño (C_1), debido a un crecimiento cristalino limitado.

La presencia de dos poblaciones de cristales de magnetita está sustentada por la distribución anómala de tamaño que presenta la magnetita respecto a otros minerales (plagioclasa, biotita y anfíbola): mientras la magnetita exhibe una distribución fractálica, el resto de los minerales mencionados se distribuyen de forma semi-logarítmica (*Gutiérrez et al., 2013b*).

La ausencia de diferencias significativas en la contribución porcentual a la susceptibilidad magnética por parte de los cristales de las distintas clases de tamaño de magnetita *temprana*, y la mayor presencia magnetita *tardía* en la clase C_1 ; sugiere que los cristales de la población *tardía*

son los que representan un menor aporte a la susceptibilidad magnética del plutón, respecto a la *población temprana*.

Los factores que pueden explicar las diferencias granulométricas y magnéticas de los cristales de magnetita de ambas poblaciones (*temprana* y *tardía*) son:

- A. La granulometría más fina de los cristales de magnetita de la *población tardía* estaría condicionada por las menores tasas de crecimiento y mayores tasas de nucleación predominantes durante los períodos de cristalización.
- B. La mayor susceptibilidad magnética de los cristales de magnetita de la *población temprana* se asociaría a un cambio en las condiciones de fugacidad de oxígeno del sistema, a medida que el magma cristalizaba; pudiendo generarse diferencias composicionales en la titanio-magnetita de cada una de las poblaciones antes definidas o cambios en la razón magnetita/hematita de la mineralogía opaca.

Las muestras de menor temperatura del plutón La Gloria, de hecho, exhiben una fugacidad de oxígeno ligeramente superior al resto de las muestras del intrusivo, aproximándose a las condiciones fO_2 -temperatura del *buffer* hematita - magnetita (Cornejo y Mahood, 1997). Esto podría generar una proporción ligeramente menor de magnetita con respecto al contenido de hematita en las etapas tardías de enfriamiento del intrusivo (*población tardía*).

Cabe destacar que la relación propuesta por Hartstra (1982), que vincula la granulometría con las propiedades magnéticas de la magnetita, no es aplicable a este estudio debido a que todos los rangos de tamaño utilizados presentan magnetita de carácter multi-dominio.

9.2 IMPLICANCIAS PETROLÓGICAS: MIGRACIÓN TARDÍA DE FLUIDOS DIFERENCIADOS

A partir del estudio de los patrones de variación espacial de la susceptibilidad magnética, mineralogía magnética y geoquímica de roca total; se ha propuesto la ocurrencia de un proceso de migración tardía de fluidos diferenciados a través de diques canalizadores (ver sección 8.2).

El balance de masa asociado a la migración de fluidos diferenciados (ver sección 8.2.3), permite comprobar que es geoquímicamente aceptable la hipótesis propuesta, es decir, es posible generar material de composición similar al *núcleo intermedio* (ver sección 8.1.1) y a los diques leucocráticos a partir de la segregación de fluidos diferenciados.

En el volumen correspondiente al *núcleo intermedio*, esta alternativa implicaría la migración de un ~17% del material (~1,7 km³ considerando un volumen de 1 km × 1 km × 10 km para el *núcleo intermedio*). De modo que este proceso podría corresponder a una importante fuente de magmas riolíticos pobres en cristales y ricos en volátiles, capaces de generar erupciones altamente explosivas (Bachmann y Bergantz, 2008).

El modelamiento de la evolución del líquido residual (ver sección 8.2.4), acorde la cámara magmática se enfría, también muestra resultados coherentes con la hipótesis propuesta:

- A. La temperatura óptima de fraccionamiento es relativamente baja (~750°C), posterior a la generación de gran parte de la mineralogía ferromagnética; de modo que la red de diques no habría alterado significativamente la susceptibilidad magnética del *núcleo intermedio*, como ha sido observado.
- B. La cristalinidad óptima de fraccionamiento es relativamente elevada (60%), lo que favorece la presencia de una masa cristalina auto-soportada capaz de sustentar la presencia de diques canalizadores.

La extracción del ~17% del material de un volumen significativo del plutón La Gloria, bajo condiciones termodinámicas relativamente acotadas, implica la necesidad de generar un proceso de extracción de fluidos altamente eficiente.

De acuerdo a Dufek y Bachmann (2010), existe dependencia entre el grado de cristalinidad y la eficiencia para segregar una fase líquida desde una cámara magmática, y justamente la cristalinidad óptima de fraccionamiento estimada en este estudio (~60%) se ubica dentro del rango de cristalinidad de mayor eficiencia de extracción de material (50% - 70%), denominado *ventana de cristalinidad* (Dufek y Bachmann, 2010). Este hecho, si bien no permite asegurar la viabilidad física de un proceso de segregación de importantes volúmenes de material a través de diques canalizadores, es un importante sustento teórico para el modelo petrológico propuesto.

10 CONCLUSIONES

El factor determinante de la susceptibilidad magnética en el plutón La Gloria es el contenido y distribución de tamaño de la fase magnetita; siendo posible estimar los datos de susceptibilidad magnética como una combinación lineal del porcentaje en volumen de los cristales de magnetita, agrupados en clases de acuerdo a su tamaño. Los coeficientes de correlación obtenidos en la base y el techo del intrusivo son $R = 0,87$ y $R = 0,72$, respectivamente; y se ha observado que la contribución porcentual de la fase magnetita sobre los resultados de susceptibilidad magnética varía de acuerdo al tamaño de los cristales, siendo significativamente inferior en el caso de granulometrías finas (diámetro equivalente inferior a 0,3 mm).

Por otro lado, la distribución de tamaño de los cristales de magnetita es fractálica, es decir, se ajusta a la relación $N = kR^{-D}$, donde N es la densidad de cristales de un radio mayor que R , mientras que k y D son constantes. Este comportamiento difiere del observado en otros minerales del plutón La Gloria: plagioclasa, anfíbola y biotita, los que exhiben una distribución semi-logarítmica.

Se sugiere que el conjunto de cristales de diámetro equivalente inferior a 0,3 mm está compuesto por dos poblaciones: una formada durante las primeras etapas de enfriamiento de la cámara magmática (*temprana*) y una de carácter tardi-magmático (*tardía*). Los dos conjuntos restantes (diámetro equivalente superior a 0,3 mm) estarían compuestos casi exclusivamente por minerales de la población *temprana*. La contribución sobre los resultados de susceptibilidad magnética por parte de los cristales de magnetita de la población *temprana* sería significativamente superior a la de la población *tardía*.

Adicionalmente, se ha observado que la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria presenta una relación inversa respecto al contenido de SiO_2 , y directa respecto al porcentaje de Fe_2O_3^t y TiO_2 . Sin embargo, los bajos coeficientes de correlación estimados ($R \sim 0,7$ respecto al SiO_2 y Fe_2O_3^t ; y $R \sim 0,8$ en relación al TiO_2) no permiten emplear dicha variable magnética como indicador de variaciones geoquímicas dentro del plutón.

Finalmente, en base al estudio de los patrones de variación espacial de la susceptibilidad magnética, mineralogía magnética y geoquímica de roca total, se sugiere la ocurrencia de procesos de extracción tardía de material diferenciado desde algunos sectores del plutón, en los

que habría migrado del orden del 17% de la masa. El transporte de material habría ocurrido a través de diques capaces de canalizar el líquido residual dentro del magma, evidenciado por la presencia de diques leucocráticos dentro del plutón.

Basado en modelos numéricos de fraccionamiento, la extracción de material residual habría ocurrido a una temperatura de $\sim 750^{\circ}\text{C}$ y un 60% de cristalinidad, dentro del rango de mayor eficiencia para la extracción de material (Dufek y Bachmann, 2010).

La Figura 10-1 presenta un esquema que resume las relaciones establecidas en el presente estudio.

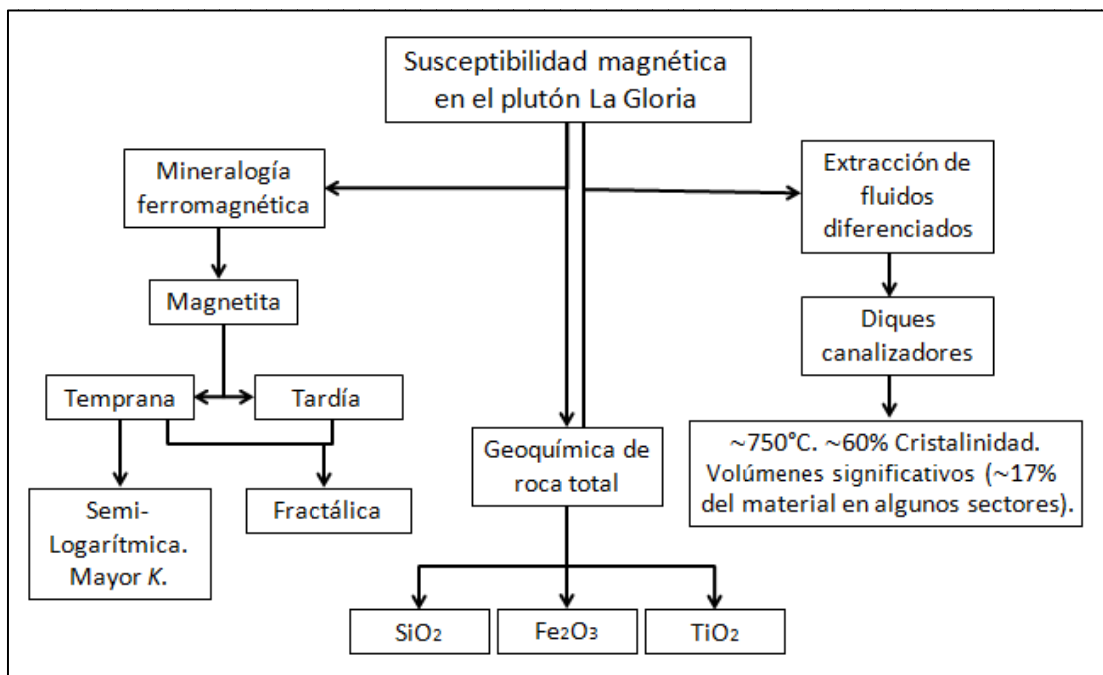


Figura 10-1: Esquema de las relaciones establecidas en el presente estudio.

REFERENCIAS

- Aguirre, L. (1960). Geología de los Andes de Chile central (provincia de Aconcagua), Santiago, Inst. Invest. Geol. Bol., **9**, 70.
- Aguirre, L., Féraud, G., Vergara, M., Carrasco, J., & Morata, D. (2000). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of basic flows from the Valle Nevado stratified sequence (Farellones Formation): Andes of central Chile. IX Congreso Geológico Chileno, Actas: Puerto Varas, Sociedad Geológica de Chile, v.1, 583-585.
- Araneda, M., Avendaño, M., & Merlo, C. (2000). Modelo gravimétrico de la Cuenca de Santiago, etapa III final. In Congreso Geológico Chileno (No. **9**, 404-408).
- Aydin, A., Ferré, E. C., & Aslan, Z. (2007). The magnetic susceptibility of granitic rocks as a proxy for geochemical composition: Example from the Saruhan granitoids, NE Turkey. Tectonophysics, **441**(1), 85-95.
- Bachmann, O., & Bergantz, G. W. (2008). Rhyolites and their source mushes across tectonic settings. Journal of Petrology, **49**(12), 2277-2285.
- Charrier, R., Bustamante, M., Comte, D., Elgueta, S., Flynn, J. J., Iturra, N., & Wyss, A. R. (2005). The Abanico extensional basin: Regional extension, chronology of tectonic inversion and relation to shallow seismic activity and Andean uplift. (With 5 figures). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, **236**(1-2), 43-78.
- Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. The geology of Chile (Moreno, T.; Gibbons, W.; editors). The Geological Society, 21-114.
- Cornejo, P. C. (1990). Geology, mineral compositions, and magmatic gradients of a zoned pluton, central Chilean Andes. Stanford Univ., Stanford, Calif., pp. 160.
- Cornejo, P. C., & Mahood, G. A. (1997). Seeing past the effects of re-equilibration to reconstruct magmatic gradients in plutons: La Gloria Pluton, central Chilean Andes. Contributions to Mineralogy and Petrology, **127**(1-2), 159-175.
- Day, R., Fuller, M., & Schmidt, V. A. (1977). Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence. Physics of the Earth and Planetary Interiors, **13**(4), 260-267.
- Deckart, K., Godoy, E., Bertens, A., Jerez, D., & Saeed, A. (2010). Barren Miocene granitoids in the Central Andean metallogenic belt, Chile: Geochemistry and Nd-Hf and U-Pb isotope systematics. Andean Geology, **37**(1), 1-31.

- Drake, R., Vergara, M., Munizaga, F., & Vicente, J. C. (1982). Geochronology of Mesozoic-Cenozoic magmatism in central Chile, lat. 31–36°S. Earth-Science Reviews, **18**(3), 353-363.
- Dufek, J., & Bachmann, O. (2010). Quantum magmatism: Magmatic compositional gaps generated by melt-crystal dynamics. Geology, **38**(8), 687-690.
- Ferrando, R., Roperch, P., Morata, D., Arriagada, C., Ruffet, G., & Córdova, M. L. (2014). A paleomagnetic and magnetic fabric study of the Illapel Plutonic Complex, Coastal Range, central Chile: Implications for emplacement mechanism and regional tectonic evolution during the mid-Cretaceous. Journal of South American Earth Sciences, **50**, 12-26.
- Farias, M. (2007). Tectónica y erosión en la evolución del relieve de los Andes de Chile central durante el Neógeno [Thesis]: Santiago. Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Fock, A. (2005). Cronología y tectónica de la exhumación en el Neógeno de los Andes de Chile Central entre los 33 y los 34°S. Memoria de Título (Inédito), Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Gana, P., & Tosdal, R. M. (1996). Geocronología U-Pb y K-Ar en intrusivos del Paleozoico y Mesozoico de la Cordillera de la Costa, Región de Valparaíso, Chile. Andean Geology, **23**(2), 151-164.
- Gil-Imaz, A., Pocovi, A., Lago, M., Gale, C., Arranz, E., Rillo, C., & Guerrero, E. (2006). Magma flow and thermal contraction fabric in tabular intrusions inferred from AMS analysis. A case study in a late-Variscan folded sill of the Albarracín Massif (southeastern Iberian Chain, Spain). Journal of structural geology, **28**(4), 641-653.
- Gleizes, G., Nédélec, A., Bouchez, J. L., Autran, A., & Rochette, P. (1993). Magnetic susceptibility of the Mont-Louis andorra ilmenite-type granite (Pyrenees): A new tool for the petrographic characterization and regional mapping of zoned granite plutons. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012), **98**(B3), 4317-4331.
- Gutiérrez, F., Payacán, I., Gelman, S. E., Bachmann, O., & Parada, M. A. (2013a). Late-stage magma flow in a shallow felsic reservoir: Merging the anisotropy of magnetic susceptibility record with numerical simulations in La Gloria Pluton, central Chile. Journal of Geophysical Research: Solid Earth.
- Gutiérrez, F., Payacán, I., Pasten, D., Aravena, A., Gelman, S., Bachmann, O., & Parada, M.A. (2013b). The fractal behavior of crystal distribution of La Gloria Pluton, Chile. AGU Fall Meeting.

- Hartstra, R. L. (1982). Grain-size dependence of initial susceptibility and saturation magnetization-related parameters of four natural magnetites in the PSD—MD range. Geophysical Journal International, **71**(2), 477-495.
- Hunt, C. P., Moskowitz, B. M., & Banerjee, S. K. (1995). Magnetic properties of rocks and minerals. AGU Reference Shelf, **3**, 189-204.
- Ishihara, S. (1977). The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. Mining Geology, **27**, 293-305.
- Ishihara, S., Hashimoto, M., & Machida, M. (2000). Magnetite/Ilmenite-series Classification and Magnetic Susceptibility of the Mesozoic-Cenozoic Batholiths in Peru. Resource Geology, **50**(2), 123-129.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P.J. (1990). Finding groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. New York: John Wiley.
- Klohn, C. (1960). Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central (provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó). Instituto de Investigaciones Geológicas. Boletín **8**, pp. 95.
- Kurtz, A. C., Kay, S. M., Charrier, R., & Farrar, E. (1997). Geochronology of Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente region, Central Chile (34-35° S). Andean Geology, **24**(1), 75-90.
- Mahood, G. A., & Cornejo, P. C. (1992). Evidence for ascent of differentiated liquids in a silicic magma chamber found in a granitic pluton. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, **83**(1-2), 63-69.
- Mandelbrot, B. B. (1982). The fractal geometry of nature. San Francisco, CA.
- McKenzie, D. (1985). The extraction of magma from the crust and mantle. Earth and Planetary Science Letters, **74**(1), 81-91.
- McNulty, B. A., Tobisch, O. T., Cruden, A. R., & Gilder, S. (2000). Multistage emplacement of the Mount Givens pluton, central Sierra Nevada batholith, California. Geological Society of America Bulletin, **112**(1), 119-135.
- Nyström, J. O., Vergara, M., Morata, D., & Levi, B. (2003). Tertiary volcanism during extension in the Andean foothills of central Chile (33 15'–33 45' S). Geological Society of America Bulletin, **115**(12), 1523-1537.
- O'Reilly, W. (1984). Rock and mineral magnetism. Blackie.

- Parada, M. A., Roperch, P., Guisresse, C., & Ramírez, E. (2005). Magnetic fabrics and compositional evidence for the construction of the Caleu pluton by multiple injections, Coastal Range of central Chile. Tectonophysics, **399**(1), 399-420.
- Payacán, I., Gutiérrez, F., Gelman, S.E., Bachmann, O., & Parada, M.A. (2013). Magma flow recorded by magmatic and magnetic fabrics in a shallow granitic pluton: La Gloria Pluton, Central Chile. AGU Fall Meeting.
- Rauld, R. (2002). Análisis morfoestructural del frente cordillerano de Santiago oriente, entre el Río Mapocho y la Quebrada de Macul. Memoria de Título (Inédito), Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Tauxe, L., Butler, R. F., Van der Voo, R., & Banerjee, S. K. (2010). Essentials of paleomagnetism (Vol. 723). Berkeley: University of California Press.
- Thiele, R. (1980). Carta Geológica de Chile, Escala 1:250.000, Hoja de Santiago, Carta 39. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, pp. 21.
- Turcotte, D. L. (1986). Fractals and fragmentation. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012), **91**(B2), 1921-1926.
- Vergara, M., & Drake, R. (1978). Edades potasio-argón y su implicancia en la geología regional de Chile central. Comunicaciones, **23**, 1-11.
- Vergara, M., & Drake, R. (1979). Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales post-neocomianas de Chile Central; su depositación en cuencas intermontanas restringidas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, **34**, 42-52.
- Vergara, M., Charrier, R., Munizaga, F., Rivano, S., Sepúlveda, P., Thiele, R., & Drake, R. (1988). Miocene volcanism in the central Chilean Andes (31°30'S–34°35'S). Journal of South American Earth Sciences, **1**(2), 199-209.
- Vergara, M., Morata, D., Villarroel, R., Nyström, J. O., & Aguirre, L. (1999). ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages, very low grade metamorphism and geochemistry of the volcanic rocks from "Cerro El Abanico", Santiago Andean Cordillera (33°30'S-70°25'W). In International Symposium on Andean Geodynamics (No. **4**, 785-788).

APÉNDICE A: ALGORITMO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SECCIONES DELGADAS TRANSLÚCIDAS

En este apéndice se muestra un algoritmo, programado en *Matlab*, que permite procesar fotografías de secciones delgadas translúcidas, obteniendo como resultado una matriz de dimensión $n \times 2$, donde n es la cantidad de cristales identificados. La primera columna de dicha matriz contiene el porcentaje de cada uno de los cristales dentro de la fotografía, y la segunda columna contiene el área, en $[\text{mm}^2]$, de cada uno de los cristales identificados.

```
% nombre: String con el nombre del archivo (ejemplo: 'LG010300.JPG').
% opac: Máximo promedio de los valores RGB de un pixel determinado para
asignarlo a un mineral opaco (del orden de 10).
% desvia: Máxima desviación estándar entre los valores RGB de un pixel
determinado para asignarlo a un mineral opaco (del orden de 3)
function ProcesamientoImagen=AnalisisImagenes(nombre,opac,desvia);

% Lectura de imagen, disminución calidad, identificación de pixeles opacos
im=imread(nombre); im=imresize(im,0.25);
con=0; lim1=length(im(:,1,1)); lim2=length(im(1,:,1));
Opacos=255*ones(size(im)); Aux=[0 0];
for i=1:lim1;
    for j=1:lim2;
        prom=mean(im(i,j,:));
        desv= std([mean(im(i,j,1)) mean(im(i,j,2)) mean(im(i,j,3))]);
        if(prom<opac & desv<desvia)
            Opacos(i,j,:)=0; con=con+1; Aux(con,:)=[i,j];
        end
    end
end
if(con<2)
    ProcesamientoImagen=[0 0]; return;
end

% Proceso de clustering (búsqueda de granos)
Dist=pdist(Aux); Z=linkage(Dist); T=cluster(Z,0.8); TamCl=zeros(max(T),1);
for i=1:max(T)
    TamCl(i,1)=sizecluster(i,T);
    % Función auxiliar que entrega la cantidad de veces en que i se
    % encuentra en el vector T
end

% Proceso de corrección por bordes
ValIm=zeros(max(T),16);
for i=1:size(Aux)
    if(Aux(i,1)==1)
        if(ValIm(T(i),13)==0);
            ValIm(T(i),13)=1;ValIm(T(i),14)=Aux(i,2);ValIm(T(i),15)=Aux(i,2);
        else
            ValIm(T(i),14)=min(ValIm(T(i),14),Aux(i,2));
            ValIm(T(i),15)=max(ValIm(T(i),15),Aux(i,2));
        end
    end
end
if(Aux(i,1)==lim1)
```

```

    if(ValIm(T(i),5)==0);
        ValIm(T(i),5)=1; ValIm(T(i),6)=Aux(i,2); ValIm(T(i),7)=Aux(i,2);
    else
        ValIm(T(i),6)=min(ValIm(T(i),6),Aux(i,2));
        ValIm(T(i),7)=max(ValIm(T(i),7),Aux(i,2));
    end
end
if(Aux(i,2)==1)
    if(ValIm(T(i),1)==0);
        ValIm(T(i),1)=1; ValIm(T(i),2)=Aux(i,1); ValIm(T(i),3)=Aux(i,1);
    else
        ValIm(T(i),2)=min(ValIm(T(i),2),Aux(i,1));
        ValIm(T(i),3)=max(ValIm(T(i),3),Aux(i,1));
    end
end
if(Aux(i,2)==lim2)
    if(ValIm(T(i),9)==0);
        ValIm(T(i),9)=1; ValIm(T(i),10)=Aux(i,1);
        ValIm(T(i),11)=Aux(i,1);
    else
        ValIm(T(i),10)=min(ValIm(T(i),10),Aux(i,1));
        ValIm(T(i),11)=max(ValIm(T(i),11),Aux(i,1));
    end
end
ValIm(T(i),4)=max(Aux(i,2)-1,ValIm(T(i),4));
ValIm(T(i),8)=max(lim1-Aux(i,1),ValIm(T(i),8));
ValIm(T(i),12)=max(lim2-Aux(i,2),ValIm(T(i),12));
ValIm(T(i),16)=max(Aux(i,1)-1,ValIm(T(i),16));
end

% Factor de corrección de granos que están en el borde
factor=ones(max(T),1);
for i=1:max(T)
    for j=[1 5 9 13]
        if(ValIm(i,j)==1)
            fc=(1+(abs(ValIm(i,j+1)-ValIm(i,j+2))./(0.001+ValIm(i,j+3))));
            factor(i)=factor(i).*fc;
        end
    end
    if(sum(ValIm(i,[1 5 9 13]))>1)
        ex=((sum(ValIm(i,[1 5 9 13]))-1)./(0.001+sum(ValIm(i,[1 5 9 13]))));
        factor(i)=factor(i).^ex;
    end
    if(factor(i)>10); factor(i)=10; end;
end
TamClpro=TamCl.*factor;

% Cálculo de porcentajes de área de cristales y área en mm
TamanosPixeles=zeros(1,2);
c=1;
cal=max(lim1,lim2);
mm=2; % Longitud del lado mayor de las imágenes [mm]
for i=1:length(TamCl);
    TamanosPixeles(c,1)=(TamCl(i,1).*100./(lim1*lim2));
    TamanosPixeles(c,2)=(TamClpro(i,1).*(mm*mm)./(cal.*cal)); c=c+1;
end
ProcesamientoImagen=TamanosPixeles;

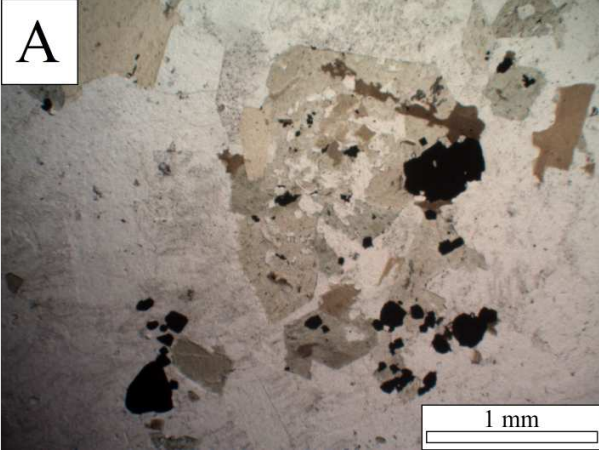

```

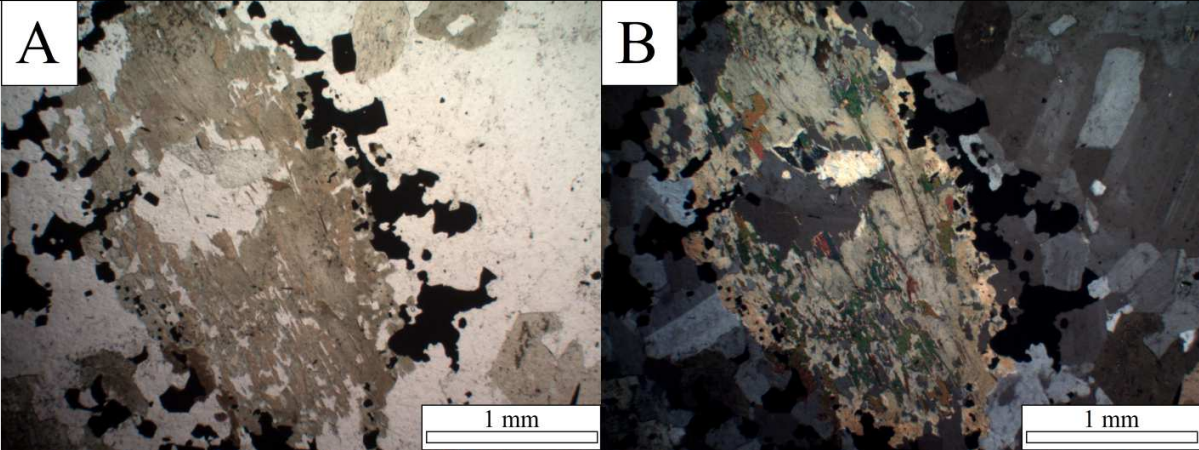
APÉNDICE B: DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS


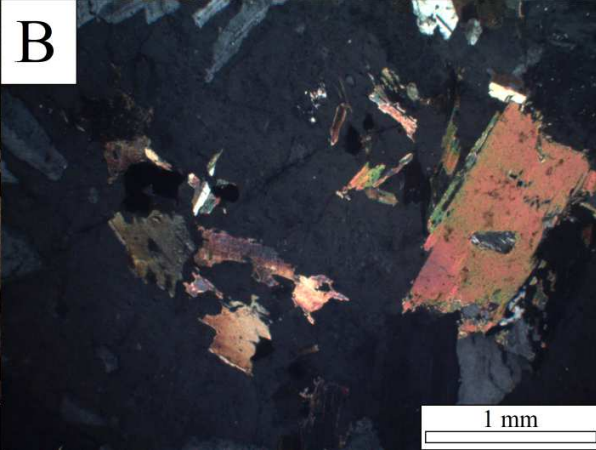
En este apéndice se presentan las descripciones petrográficas de algunas secciones delgadas transparentes - pulidas representativas del plutón La Gloria. La Tabla B-1 muestra la información geográfica asociada a cada una de las muestras descritas.

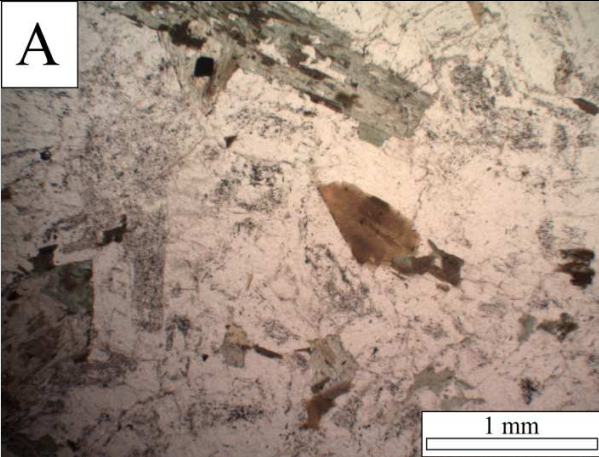
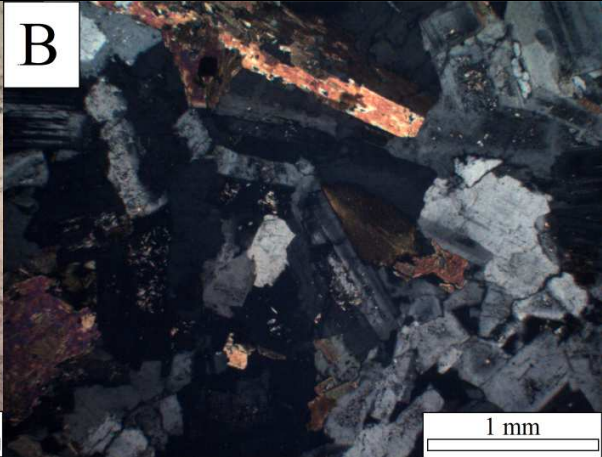
Tabla B-1: Información geográfica de las secciones delgadas transparentes - pulidas descritas.

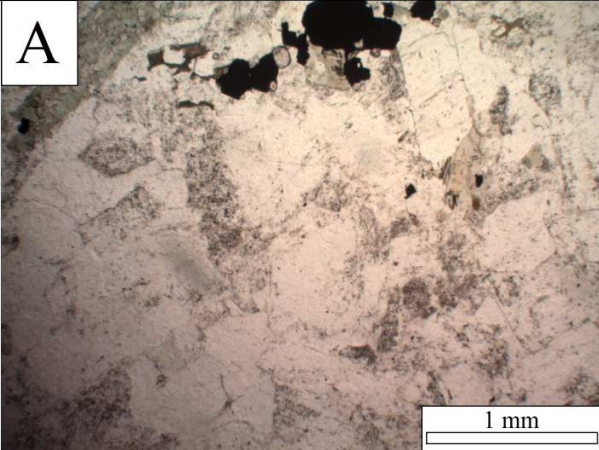
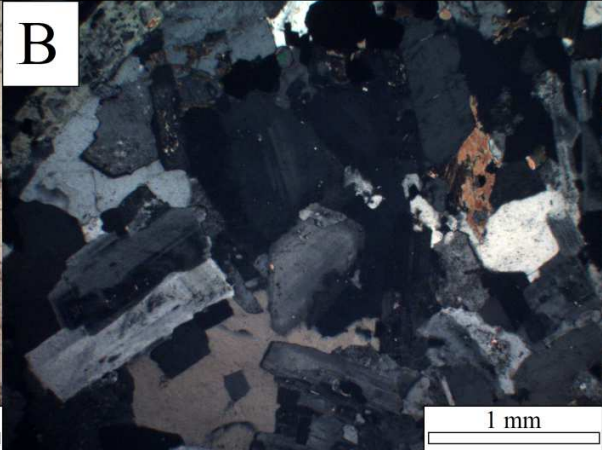
Muestra	Información geográfica (UTM, zona 19H)			
	Este [m]	Norte [m]	Altitud [msnm]	Sector del plutón
10LG-0103	394163	6294138	1487	Inferior (borde)
10LG-0204	392375	6292848	1450	Inferior (centro)
10LG-0302	393879	6292726	1510	Inferior (centro)
10LG-0403	394160	6293132	1515	Inferior (centro)
10LG-0512	394234	6294721	1680	Inferior (borde)
10LG-0601	391785	6293201	1418	Inferior (borde)
10LG-0706	395019	6293710	1545	Inferior (borde)
10LG-0810	394745	6293557	1522	Inferior (borde)
10LG-0901	393032	6292433	1419	Inferior (centro)
10LG-1005	393032	6292433	1575	Inferior (centro)
10LG-1101	394091	6293717	1590	Inferior (centro)
10LG-1207	394091	6293717	1650	Inferior (centro)
10LG-1308	392706	6291770	1737	Inferior (centro)
10LG-1406	392754	6291976	1651	Inferior (centro)
11LG-1907	396362	6292496	1353	Inferior (borde)
11LG-2017	391737	6293345	1507	Inferior (borde)
11LG-2101	396379	6282074	2997	Medio (borde)
11LG-2211	396191	6281369	3014	Medio (centro)
11LG-2310	395464	6282567	3425	Medio (borde)
11LG-2408	395934	6282496	3215	Medio (borde)
11LG-2502	394731	6284047	3822	Superior
11LG-2607	394903	6283669	3687	Superior
12LG-2707	397159	6280745	2999	Medio (borde)
12LG-2803	397285	6283071	3040	Medio (centro)
12LG-2909	397059	6283854	3235	Medio (centro)
12LG-3002	397342	6284918	3406	Medio (centro)
12LG-3106	397000	6284567	3375	Medio (borde)
12LG-3205	397318	6285921	3592	Superior
12LG-3306	397374	6286502	3604	Superior
12LG-3401	397360	6286881	3410	Medio (borde)
12LG-3504	397955	6288593	2665	Medio (borde)
12LG-3605	397974	6289307	2434	Medio (borde)
12LG-4108-1	395670	6291834	2050	Inferior (centro)
12LG-4305-1	394963	6290259	2518	Medio (centro)
12LG-4605-1	394149	6288199	2944	Medio (centro)
12LG-4805-1	394515	6294436	1574	Inferior (borde)
12LG-5201-1	391203	6295083	1965	Inferior (borde)

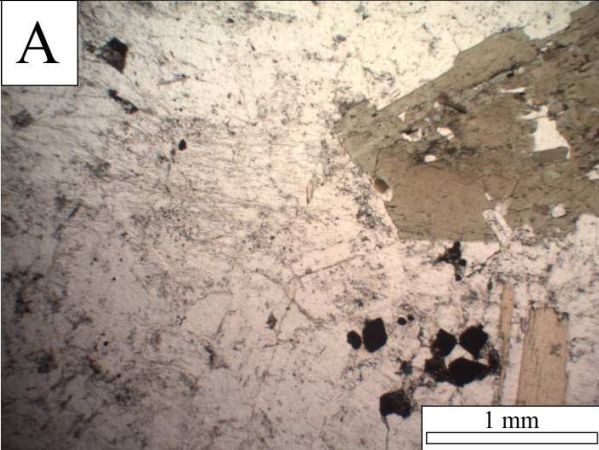
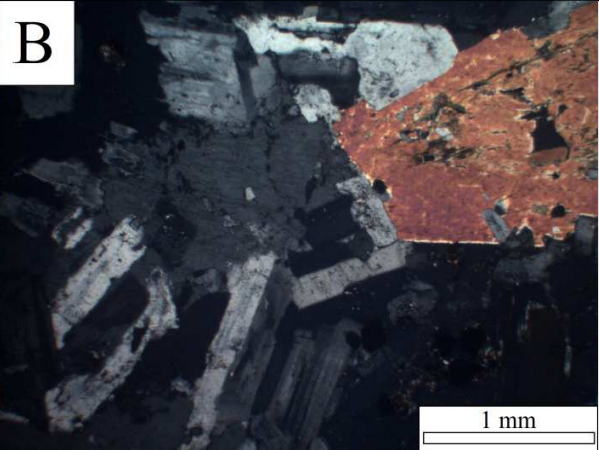
10LG-0103	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (40%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Macla polisintética y de Carlsbad, en general. Zonación concéntrica en algunos cristales. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,2 - 1,5 mm.</p> <p>Cuarzo (25%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,2 - 1,5 mm.</p> <p>Hornblenda (7%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm. Asociados a hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<3%)</p> <p>Circón (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Granodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  </div> </div>	
<p>Figura B- 1: Imágenes de la muestra LG0103 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

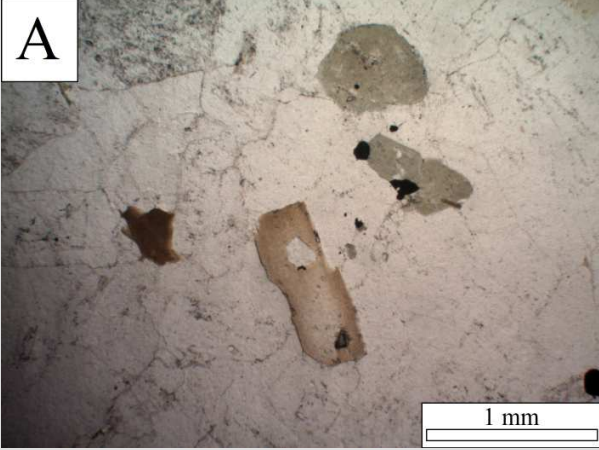
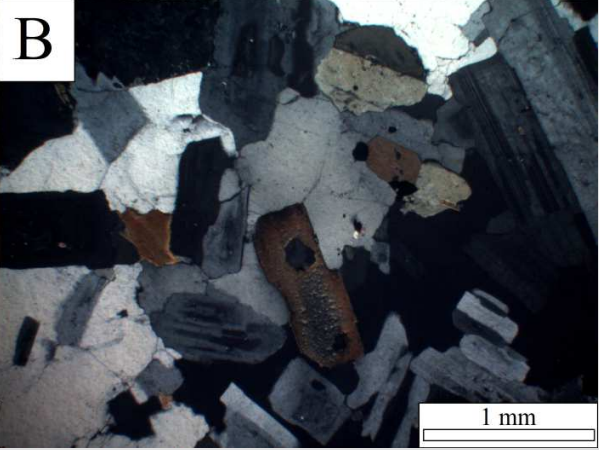
10LG-0204	
Textura	Holocrystalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespatos plagioclasa (50%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 2,0 mm. Macla polisintética y de Carlsbad. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespatos potásico (25%): Cristales anhedrales; en general, relleno de espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Cuarzo (10%): Cristales anhedrales; en general, relleno de espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm.</p> <p>Hornblenda (7%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 4,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita. En algunos casos, se encuentran rodeados por óxidos Fe-Ti.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Asociados a hornblenda y óxidos Fe-Ti.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<5%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 2: Imágenes de la muestra LG0204 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicols paralelos. B: nicols cruzados.</p>	

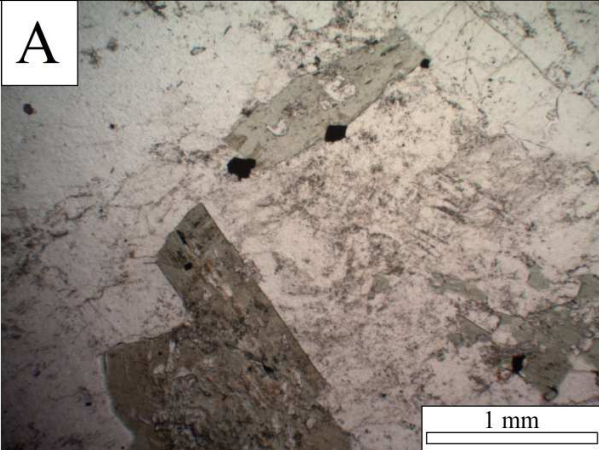
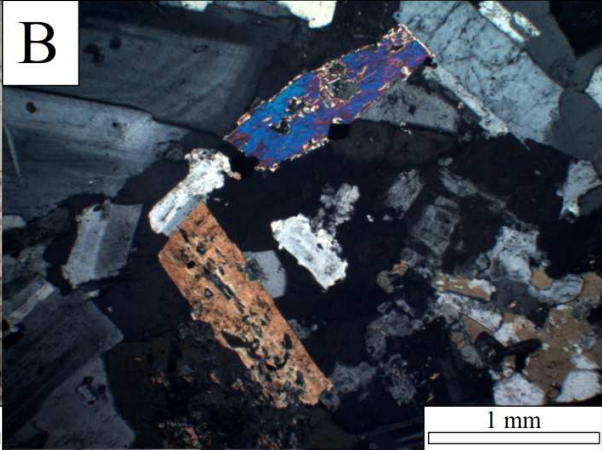
10LG-0302	
Textura	Holocrystalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (40%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (30%): Cristales subhedrales, relleno de espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm. Asociado a feldespato potásico, generando zonas con textura consertal.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (5%): Cristales subhedrales. Asociados a hornblenda y óxidos Fe-Ti.</p> <p>Esfeno (<2%): Cristales subhedrales. Asociados a óxidos Fe-Ti, hornblenda y biotita.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (2%)</p> <p>Clinopiroxeno (1%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 0,3 mm. Corresponden a inclusiones dentro de cristales de feldespato plagioclasa.</p> <p>Apatito (<<1%)</p> <p>Circón (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda y biotita.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  <p>1 mm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  <p>1 mm</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 3: Imágenes de la muestra LG0302 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

10LG-0403	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespatoplagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespatopotásico (20%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,4 - 2,5 mm.</p> <p>Cuarzo (20%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,4 - 1,5 mm.</p> <p>Hornblenda (7%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 1,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm. Asociados a hornblenda y óxidos Fe-Ti.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<5%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespatopotásico alterado a sericita.
Nombre	Granodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 4: Imágenes de la muestra LG0403 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

10LG-0512	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (40%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad, en menor medida. Se observan zonaciones concéntricas, incluyendo minerales máficos en los planos de crecimiento. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm.</p> <p>Cuarzo (25%): Cristales anhedrales, generalmente relleno de espacios intersticiales. Asociados a feldespato potásico, generando zonas con textura consertal.</p> <p>Hornblenda (10%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti, plagioclasa y parches de biotita.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm. En general, se observan alterando a cristales de hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Granodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 5: Imágenes de la muestra LG0512 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

10LG-0601	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 6,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad. Zonación débil en algunos cristales. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos, en menor medida.</p> <p>Feldespato potásico (25%): Cristales anhedrales, en general relleno de espacios intersticiales. En algunos casos, engloban cristales de plagioclasa.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales subhedrales, generalmente relleno de espacios intersticiales. Asociados a feldespato potásico, generando zonas con textura consertal.</p> <p>Hornblenda (10%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y, en general, se encuentran alterados a biotita.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 1,0 mm. En general, asociados a hornblenda, aunque también se observan cristales de biotita aislados.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> <p>1 mm</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> <p>1 mm</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 6: Imágenes de la muestra LG0601 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

10LG-0706	
Textura	Holocrystalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespatos plagioclasa (40%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 1,0 - 4,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad, en menor medida. Se observan zonaciones concéntricas, incluyendo cristales de hornblenda. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespatos potásicos (20%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,5 -4,0 mm. En algunos casos, se observa englobando cristales de hornblenda, plagioclasa, óxidos Fe-Ti y biotita. Algunos cristales muestran textura perítica.</p> <p>Cuarzo (25%): Cristales subhedrales, en algunos casos relleno de espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm.</p> <p>Hornblenda (7%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Biotita (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Asociados a hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<3%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p> <p>Circón (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Granodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 7: Imágenes de la muestra LG0706 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

10LG-0810	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (35%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 4,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespato potásico (40%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm.</p> <p>Cuarzo (10%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 1,5 mm. Asociado a feldespato potásico, generando zonas con textura consertal.</p> <p>Hornblenda (8%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (4%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 1,5 mm. En general, alterando a cristales de hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<3%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p> <p>Esfeno (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita y hornblenda alterada a epidota (muy puntual).
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 8: Imágenes de la muestra LG0810 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

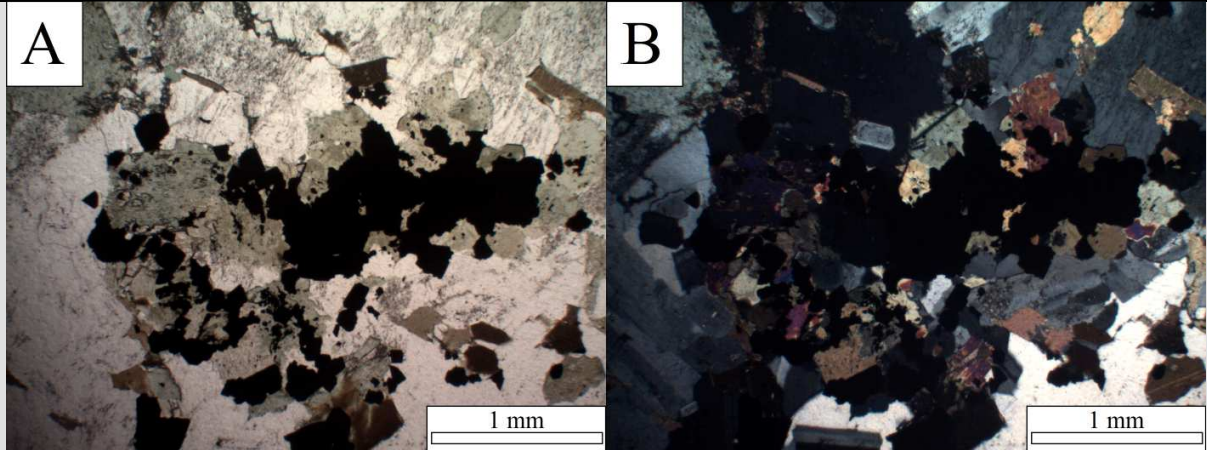
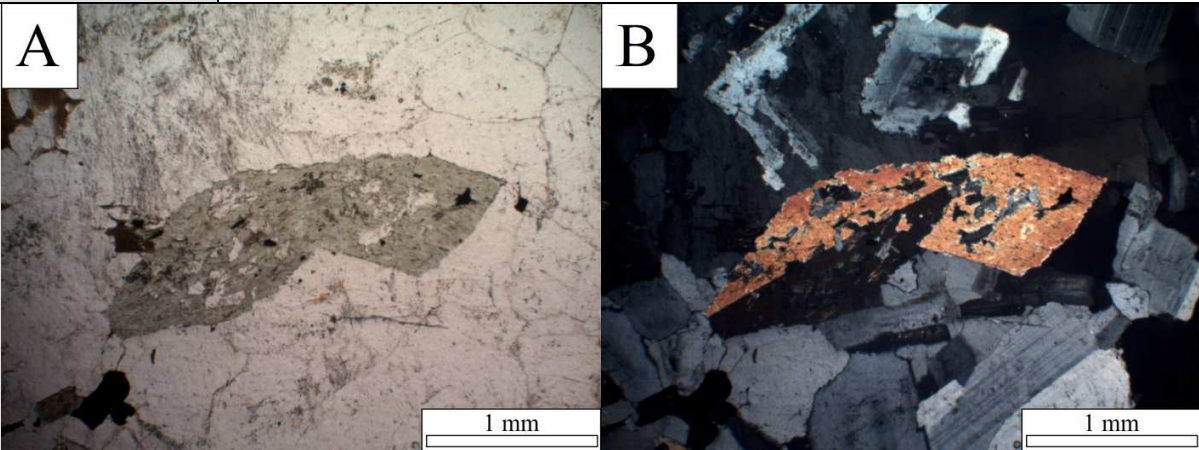
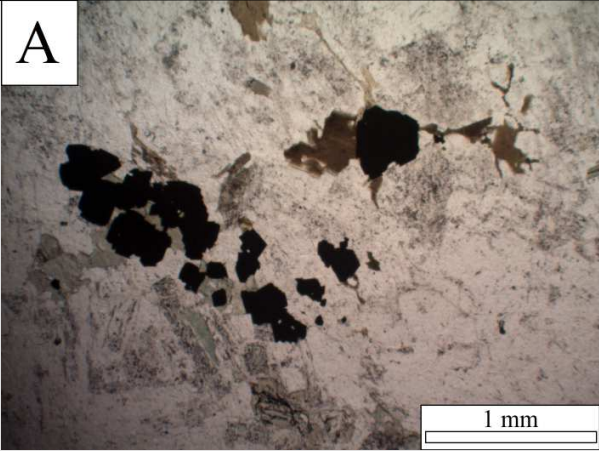

10LG-0901	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespatoplagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad. Se observan zonaciones concéntricas. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespatopotásico (20%): Cristales subhedrales, en algunos casos, relleno de espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm.</p> <p>Cuarzo (20%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm. Asociado a feldespato potásico, generando zonas con textura consertal.</p> <p>Hornblenda (8%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,8 - 5,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm, En general, alterando a cristales de hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p> <p>Esfeno (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita y hornblenda alterada a epidota (muy puntual).
Observaciones	Presencia de microvetillas rellenas por óxidos Fe-Ti y epidota.
Nombre	Granodiorita de hornblenda.
	

Figura B- 9: Imágenes de la muestra LG0901 (microscopía óptica a luz transmitida).
A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.

10LG-1005	
Textura	Holocrystalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (40%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 1,0 - 2,5 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm.</p> <p>Cuarzo (30%): Cristales subhedrales, en algunos casos, rellenando espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm. Asociado a feldespato potásico, generando zonas con textura consertal.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,8 - 5,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti, piroxeno y parches de biotita.</p> <p>Biotita (2%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,0 mm. En general, alterando a cristales de hornblenda; aunque también se observan como cristales independientes.</p> <p>Clinopiroxeno (1%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 0,2 mm.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Granodiorita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 10: Imágenes de la muestra LG1005 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

10LG-1101	
Textura	Holocrystalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespatos plagioclasa (35%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespatos potásico (35%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,4 - 3,0 mm. Textura peritítica.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm.</p> <p>Hornblenda (10%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm. Presentan abundantes inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 1,0 mm. En general, asociado a hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita y hornblenda alterada a epidota (muy puntual).
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  <p>1 mm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  <p>1 mm</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 11: Imágenes de la muestra LG1101 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

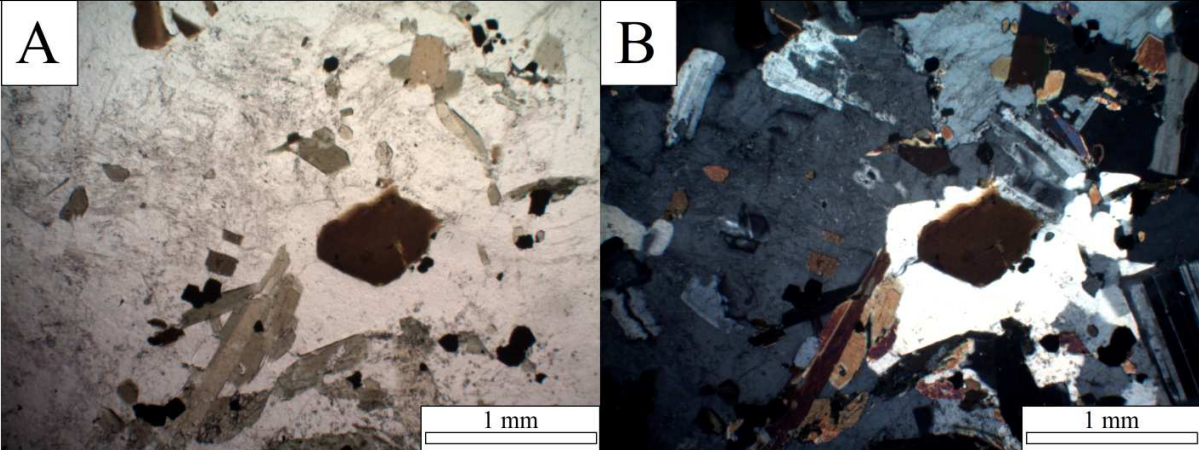
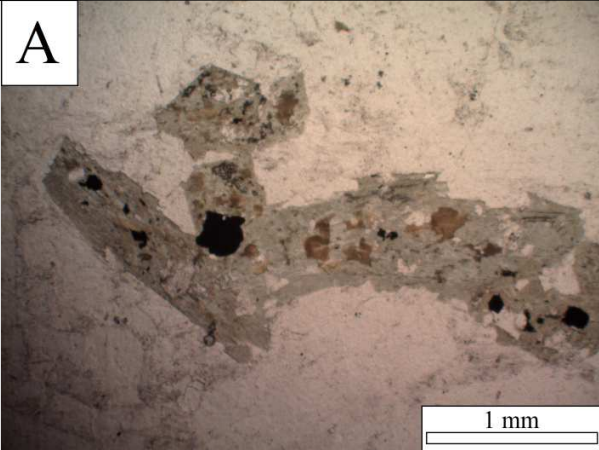

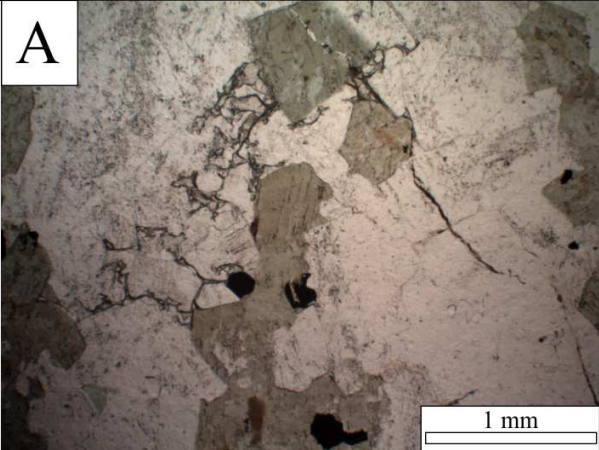
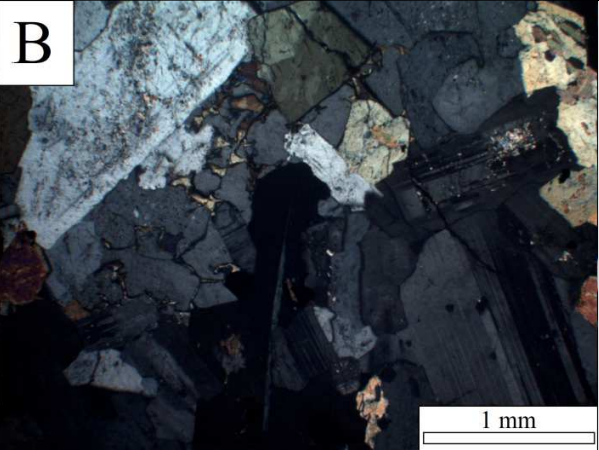
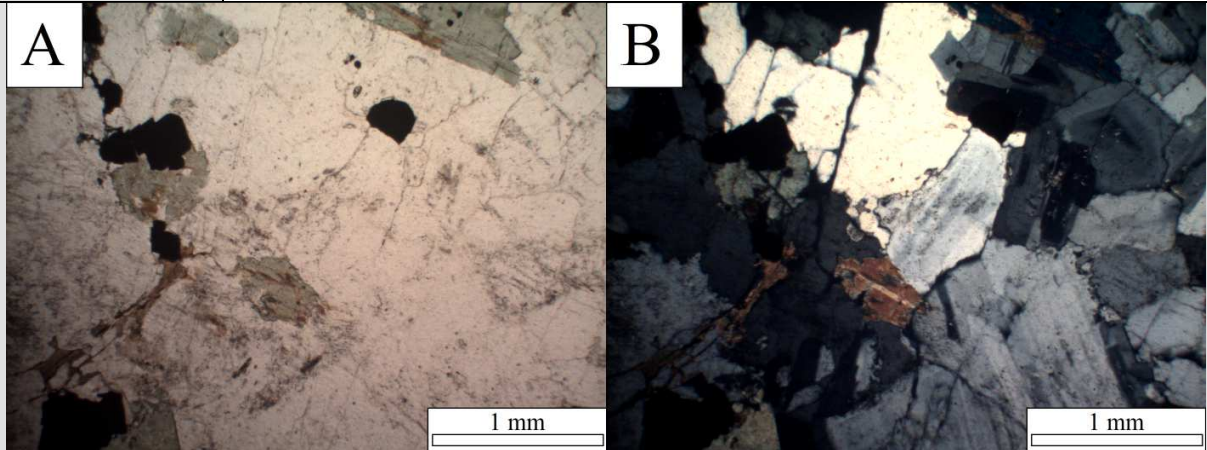
10LG-1207	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespatos plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 4,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad, en general. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespatos potásico (25%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,4 - 3,0 mm. Textura peritítica. Presentan inclusiones de hornblenda, biotita y óxidos Fe-Ti.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 2,5 mm. Asociado a feldespato potásico, generando textura consertal.</p> <p>Hornblenda (8%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 5,0 mm. Presentan abundantes inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,2 - 1,0 mm. En general, asociado a hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p> <p>Titanita (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
	

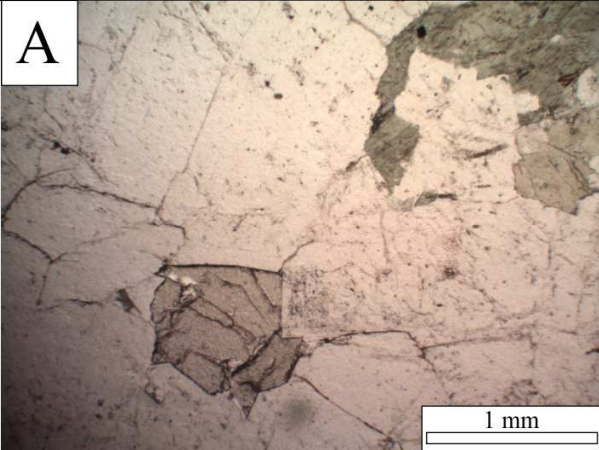
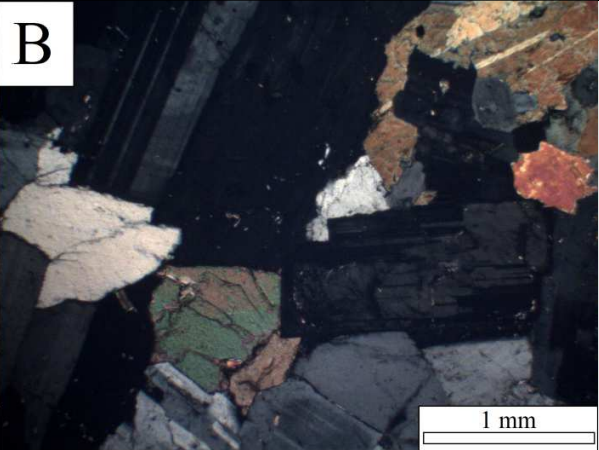
Figura B- 12: Imágenes de la muestra LG1207 (microscopía óptica a luz transmitida).

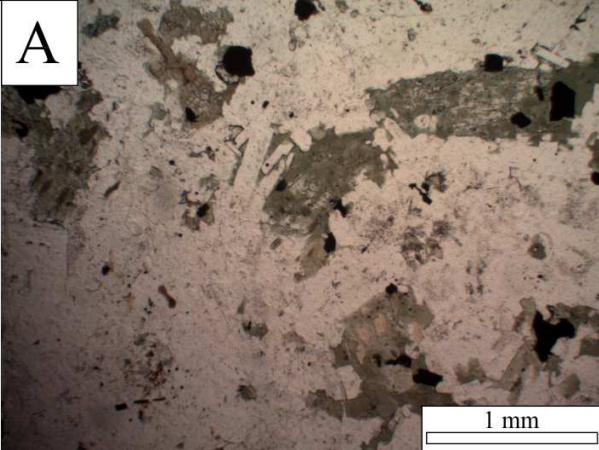
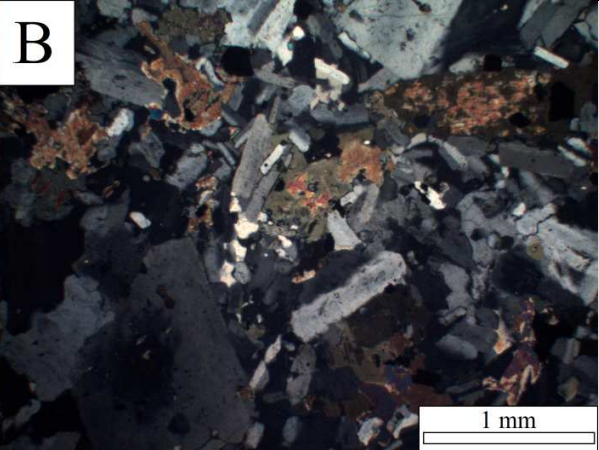
A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.

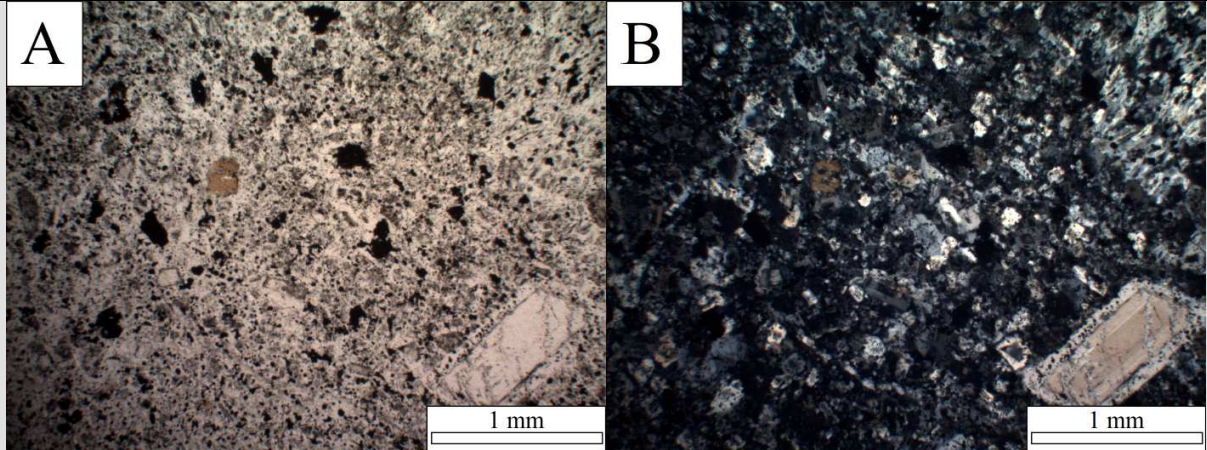
10LG-1308	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti, poco abundantes.</p> <p>Feldespato potásico (30%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,2 - 0,8 mm. En general, ocupan espacios intersticiales.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,2 - 1,0 mm. En general, ocupan espacios intersticiales.</p> <p>Hornblenda (6%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (2%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm. En general, asociados a hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 13: Imágenes de la muestra LG1308 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

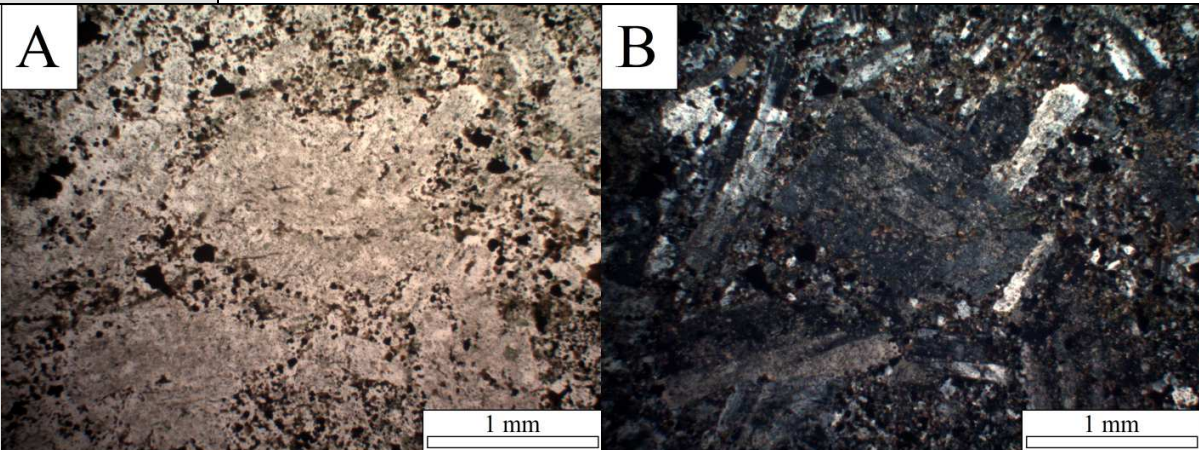
10LG-1406	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 4,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad, en menor medida. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (25%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,2 - 1,0 mm. En general, ocupan espacios intersticiales.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,2 - 1,5 mm. En general, ocupan espacios intersticiales.</p> <p>Hornblenda (10%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm. En general, asociados a hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> <p>1 mm</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> <p>1 mm</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 14: Imágenes de la muestra LG1406 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

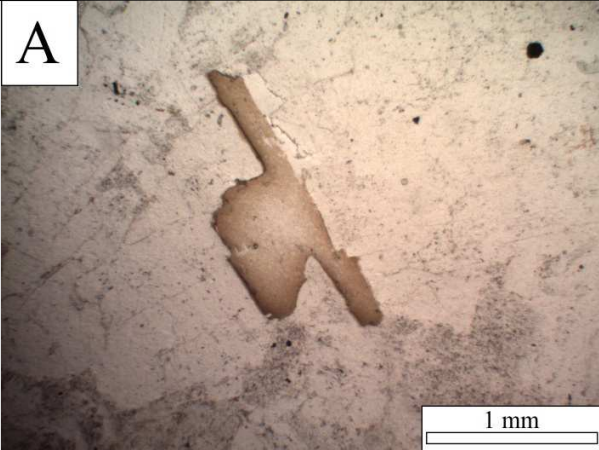

11LG-1907	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio a grueso.
Mineralogía	<p>Feldespatos plagioclasa (20%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 4,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad, en menor medida. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespatos potásico (30%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,0 mm. En general, ocupan espacios intersticiales. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Cuarzo (35%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm. En general, ocupan espacios intersticiales. Asociados a feldespato potásico, generando zonas con textura consertal.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm. En general, alterando a cristales de hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<5%)</p> <p>Esfeno (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita y hornblenda alterada a clorita.
Nombre	Granito de hornblenda y biotita.
	
<p>Figura B- 15: Imágenes de la muestra LG1907 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

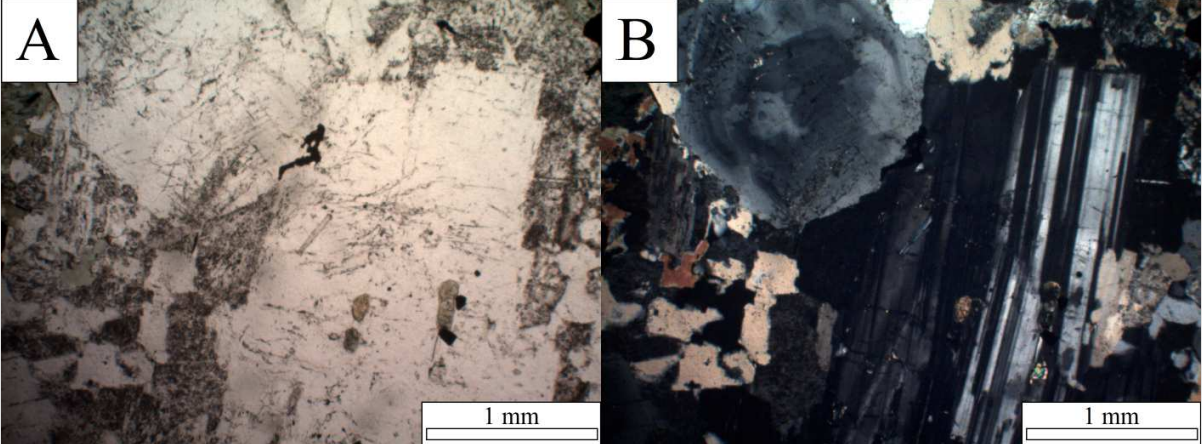
11LG-2017	
Textura	Holocrystalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 4,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad, en menor medida. Se observan algunos cristales con zonación débil. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales anhedrales, relleno de espacios intersticiales. Tamaño inferior a 2,0 mm.</p> <p>Cuarzo (25%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 1,0 mm.</p> <p>Hornblenda (6%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (2%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm. En general, alterando a cristales de hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Esfeno (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita y hornblenda alterada a epidota (muy puntual).
Nombre	Granodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 16: Imágenes de la muestra LG2017 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicols paralelos. B: nicols cruzados.</p>	

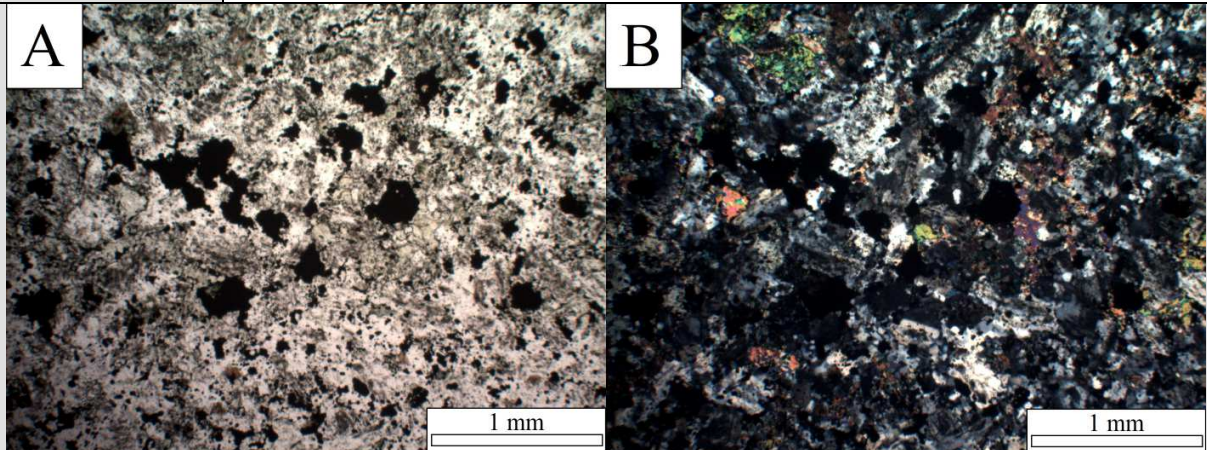
11LG-2101	
Textura	Holocrystalina. Fanerítica. Inequigranular. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (65%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,2 - 6,0 mm. Macla Carlsbad y polisintética, en menor medida. Se observan algunos cristales con zonación débil. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y hornblenda.</p> <p>Feldespato potásico (10%): Cristales anhedrales, relleno de espacios intersticiales. Algunos cristales presentan texturas de exsolución.</p> <p>Cuarzo (5%): Cristales anhedrales, relleno de espacios intersticiales. Tamaño inferior a 0,5 mm.</p> <p>Hornblenda (10%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,2 - 1,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm. En general, alterando a cristales de hornblenda.</p> <p>Clinopiroxeno (3%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 1,0 mm. En general, muestran coronas de hornblenda e inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p> <p>Circón (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  </div> </div>	
<p>Figura B- 17: Imágenes de la muestra LG2101 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicols paralelos. B: nicols cruzados.</p>	

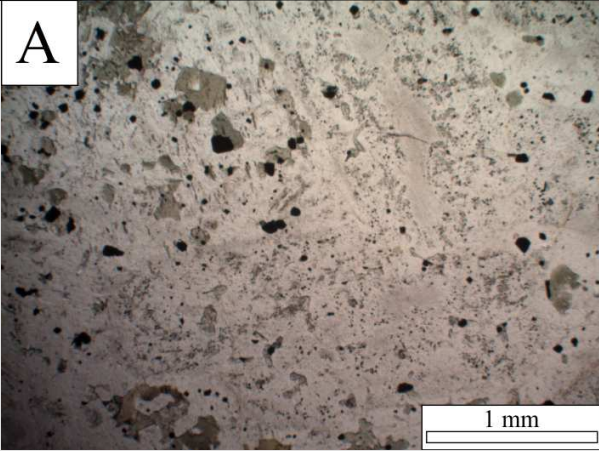
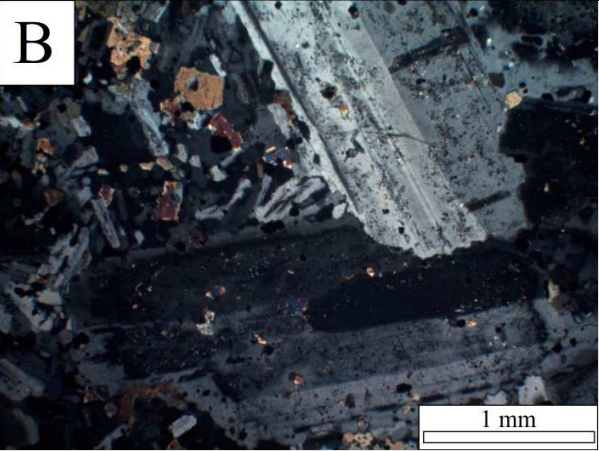
11LG-2211	
Textura	Holocristalina. Afanítica. Inequigranular. Hipidiomórfica. Grano muy fino.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (50%): Cristales anhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,1 - 1,0 mm. Macla polisintética y de Carlsbad, en algunos casos. Presentan zonación débil concéntrica e inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespato potásico (15%): Cristales anhedrales, relleno de espacios intersticiales. Tamaño menor a 0,5 mm.</p> <p>Cuarzo (10%): Cristales anhedrales, relleno de espacios intersticiales. Tamaño inferior a 0,5 mm.</p> <p>Biotita (10%): Cristales subhedrales. Población mayoritaria de tamaño menor a 0,2 mm y algunos fenocristales milimétricos.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (15%) Cristales subhedrales. Tamaño menor a 0,05 mm.</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de biotita.
	
<p>Figura B- 18: Imágenes de la muestra LG2211 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

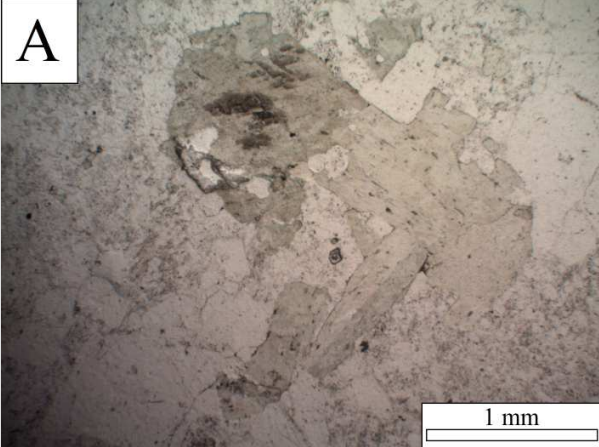
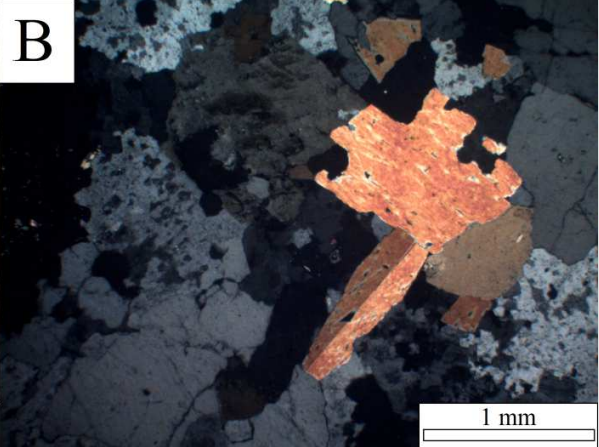
11LG.2310	
Textura	Holocristalina. Afanítica. Inequigranular. Hipidiomórfica. Grano fino.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (40%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,1 - 1,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad, en general. Presentan abundantes inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales anhedrales, relleno de espacios intersticiales.</p> <p>Cuarzo (5%): Cristales anhedrales, relleno de espacios intersticiales.</p> <p>Biotita (25%): Cristales subhedrales. Tamaño menor a 0,2 mm. Ocupando intersticios entre cristales de plagioclasa.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (10%) Cristales subhedrales. Tamaño menor a 0,3 mm. Ocupando intersticios entre cristales de plagioclasa.</p>
Alteración	Baja, argilización general. Biotita alterada a clorita (muy puntual).
Nombre	Cuarzo monzodiorita de biotita.
	
<p>Figura B- 19: Imágenes de la muestra LG2310 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

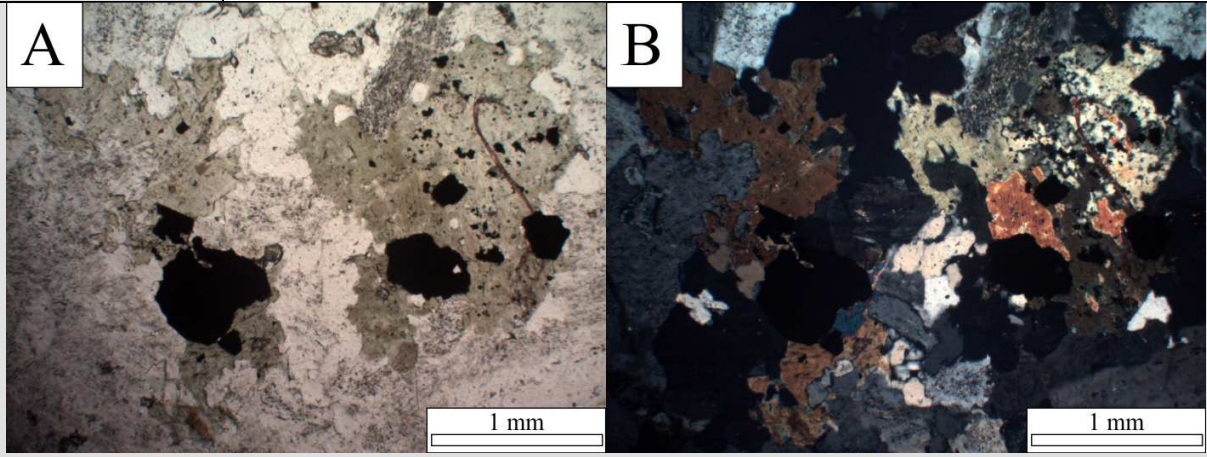
11LG-2408	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespatos plagioclasa (40%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 4,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad, en menor medida. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti, poco abundantes.</p> <p>Feldespatos potásico (40%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Se observan texturas de exsolución.</p> <p>Cuarzo (10%): Cristales subhedrales. Tamaño 0,2 - 1,0 mm.</p> <p>Hornblenda (3%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 1,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Biotita (4%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 1,5 mm. En general, cristales aislados.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<3%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p> <p>Titanita (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita y hornblenda alterada a epidota (muy puntual).
Nombre	Cuarzo monzonita de biotita.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <p>Figura B- 20: Imágenes de la muestra LG2408 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

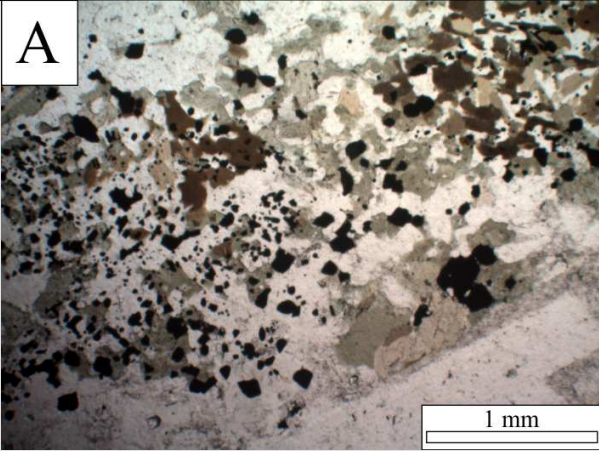
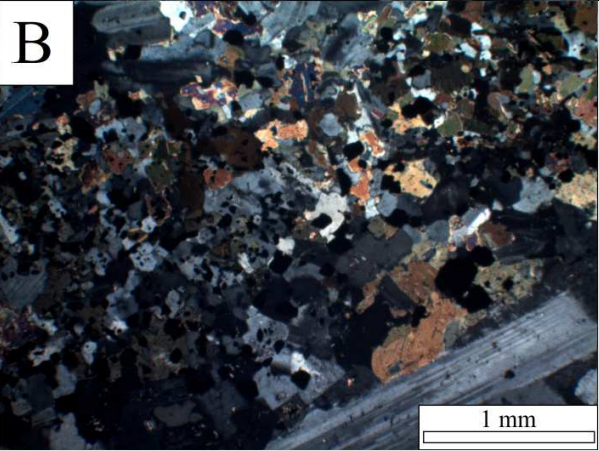
11LG-2502	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (50%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 5,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad, en general. Zonación concéntrica en algunos cristales. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (25%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm. Textura peritítica.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño inferior a 0,8 mm.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,5 mm. En algunos casos, siendo reemplazada por cristales de biotita. Presenta inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<2%)</p> <p>Circón (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 21: Imágenes de la muestra LG2502 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

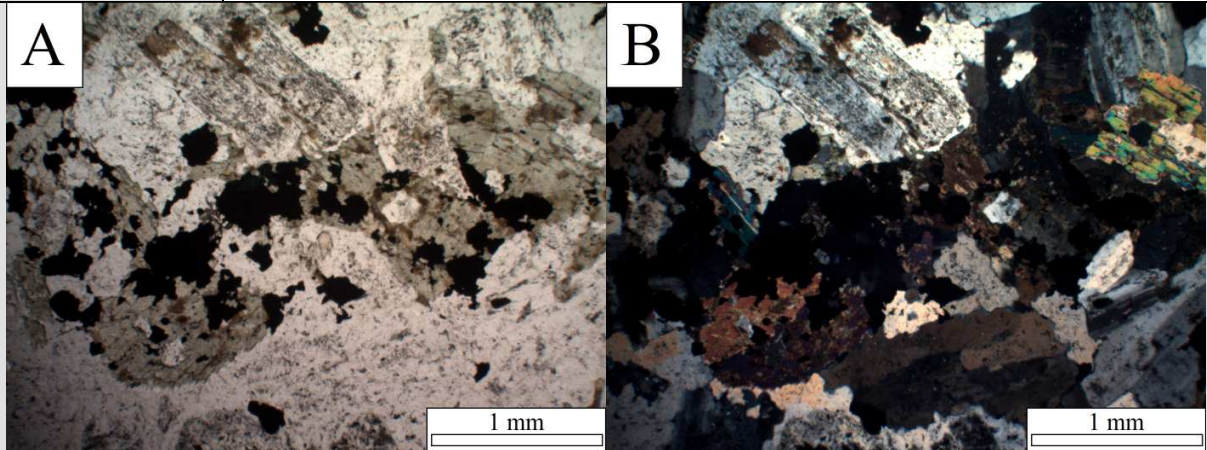
11LG-2607	
Textura	Holocristalina. Afanítica. Inequigranular. Hipidiomórfica. Grano fino.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (50%): Cristales anhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,1 - 0,5 mm, en general. Macla polisintética y Carlsbad, en algunos casos. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespato potásico (15%): Cristales anhedrales, relleno de espacios intersticiales. Tamaño menor a 0,4 mm.</p> <p>Cuarzo (5%): Cristales anhedrales, relleno de espacios intersticiales. Tamaño inferior a 0,4 mm.</p> <p>Hornblenda (2%): Cristales subhedrales. Tamaño menor a 0,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Biotita (5%): Cristales subhedrales. Población de tamaño menor a 0,4 mm.</p> <p>Clinopiroxeno (3%): Cristales subhedrales. Tamaño del orden de 0,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (20%) Cristales subhedrales. Tamaño menor a 0,05 mm.</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de biotita.
	
<p>Figura B- 22: Imágenes de la muestra LG2607 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

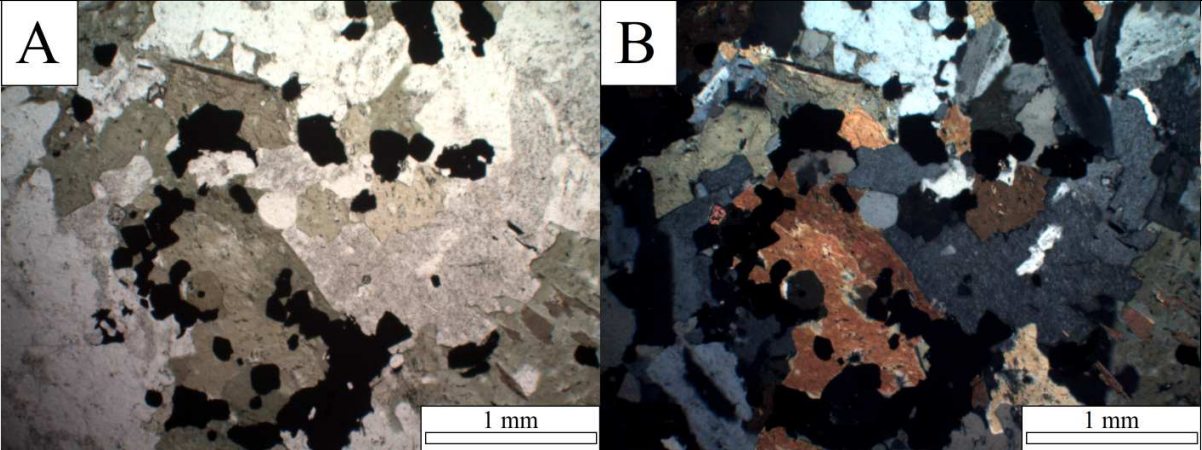
12LG-2707	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (50%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Se observa una población mayoritaria de cristales de tamaño inferior a 0,5 mm; y un conjunto de fenocristales de tamaño superior a 3,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad, en general. Zonación concéntrica en algunos fenocristales. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (25%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño del orden de 0,5 mm.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 0,3 mm. En algunos casos, se observan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 0,5 mm, en general.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (2%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> <p>1 mm</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> <p>1 mm</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 23: Imágenes de la muestra LG2707 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

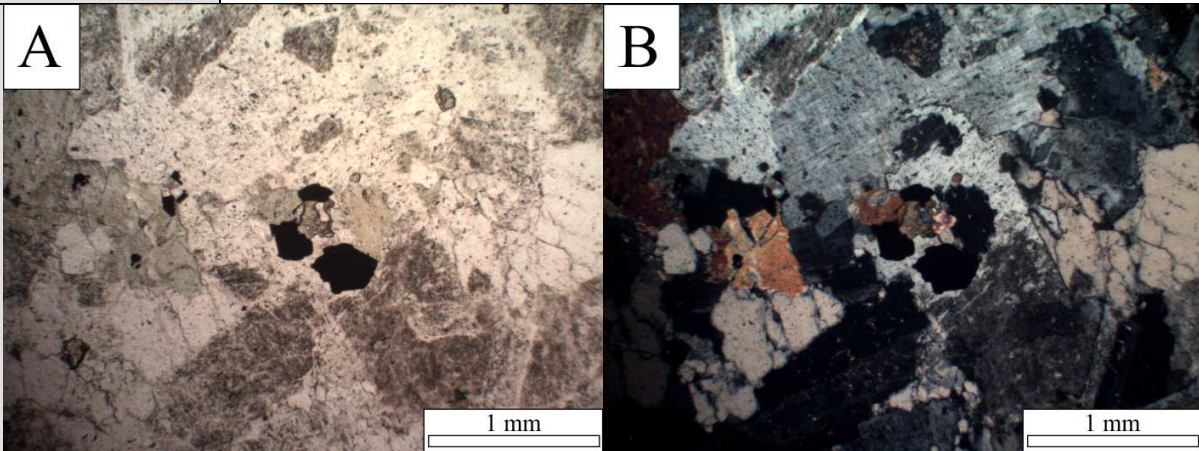
12LG-2803	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 5,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad, en general. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y abundantes minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (35%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Textura micro-perfítica. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm.</p> <p>Hornblenda (2%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 1,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti, escasas. También se observan como inclusión dentro de cristales de plagioclasa.</p> <p>Biotita (1%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 0,5 mm.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (2%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> <p>1 mm</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> <p>1 mm</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 24: Imágenes de la muestra LG2803 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

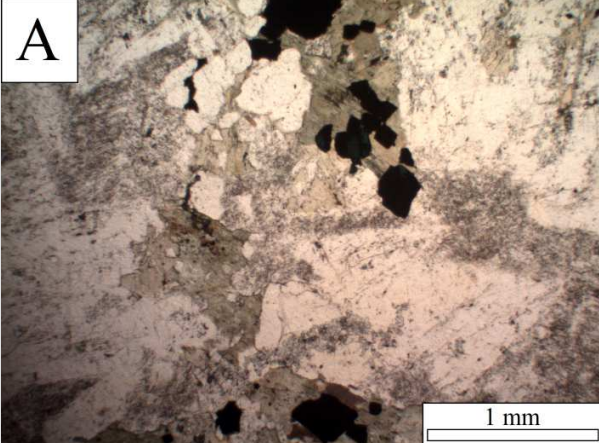
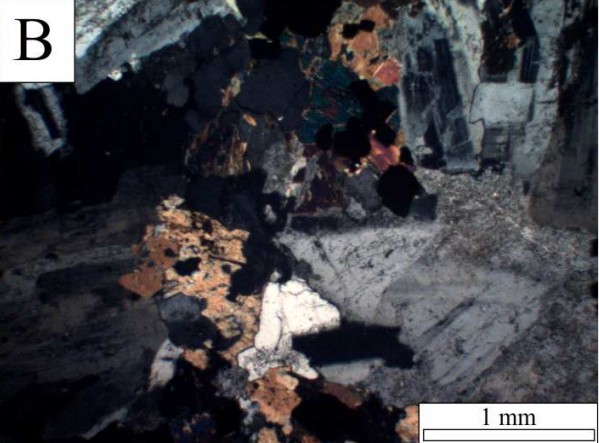
12LG-2909	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 6,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad, en general. Algunos cristales exhiben zonación concéntrica. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y abundantes minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (35%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm. Textura micro-pertítica. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Cuarzo (10%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,0 mm. Presentan parches de biotita e inclusiones de óxidos Fe-Ti, abundantes.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 0,5 mm. Asociados a hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (2%)</p> <p>Circón (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 25: Imágenes de la muestra LG2909 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

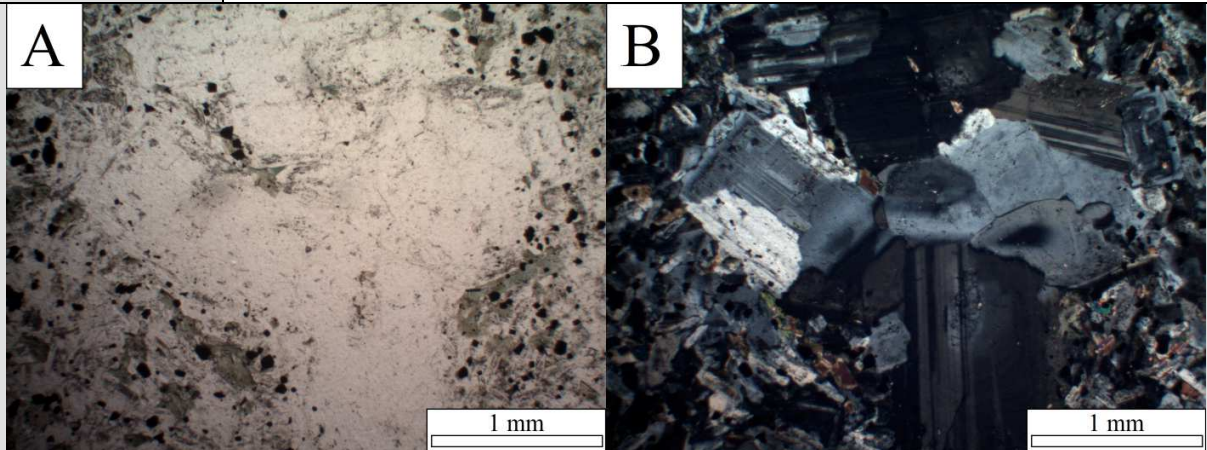
12LG-3002	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (35%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad. Presenta inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (35%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 4,0 mm.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño del orden de 0,5 mm.</p> <p>Hornblenda (4%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Biotita (8%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm. Asociados a hornblenda. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<3%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de biotita.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  <p>1 mm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  <p>1 mm</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 26: Imágenes de la muestra LG3002 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

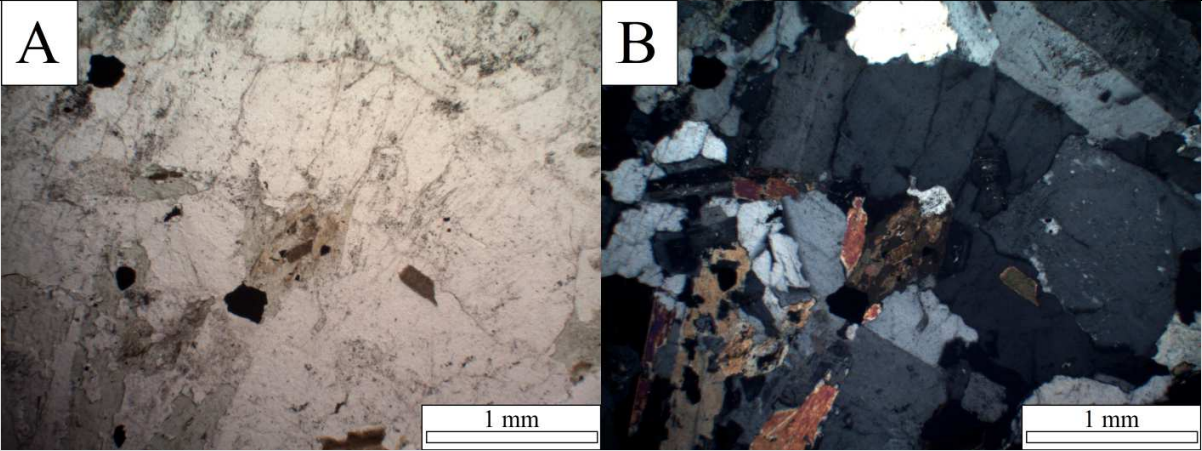
12LG-3106	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespatos plagioclasa (25%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad, en menor medida. Presenta inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespatos potásico (45%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 6,0 mm. Presenta inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos. Textura peritítica.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño del orden de 0,5 mm.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (7%): Cristales subhedrales. Ocurre como cristales aislados (0,3 - 1,0 mm) con inclusiones de óxidos Fe-Ti; o como parches sobre cristales de hornblenda, donde el tamaño de la biotita es inferior a 0,2 mm.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<3%)</p> <p>Circón (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespatos potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de biotita.
	
<p>Figura B- 27: Imágenes de la muestra LG3106 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

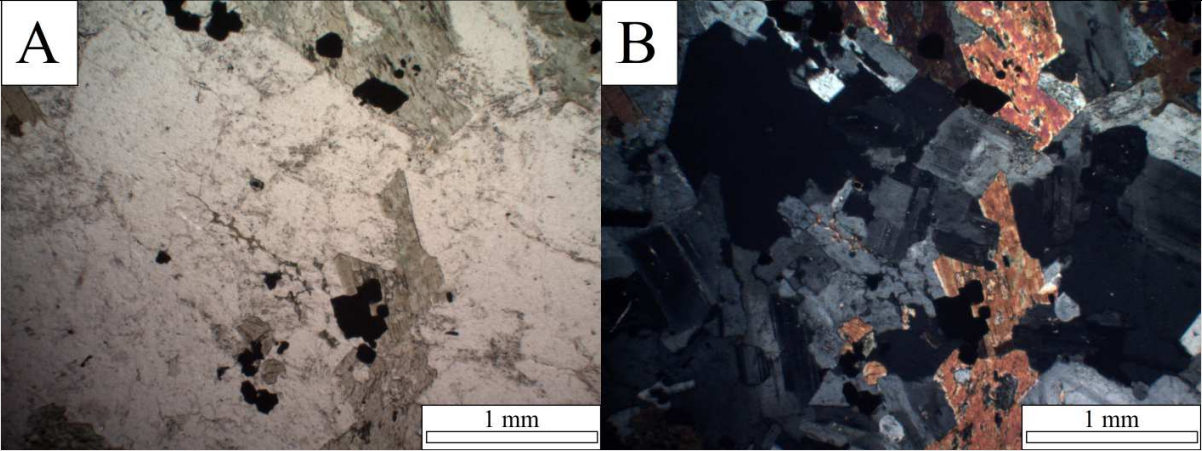
12LG-3205	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (40%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 5,0 mm. Macla polisintética fina y de Carlsbad, en menor medida. Presenta inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (35%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos. Textura micro-pertítica.</p> <p>Cuarzo (10%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño del orden de 0,5 mm. Asociado a feldespato potásico, generando una zona con textura consertal.</p> <p>Hornblenda (7%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm cuando no son inclusiones. Asociados a hornblenda. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (<3%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 28: Imágenes de la muestra LG3205 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

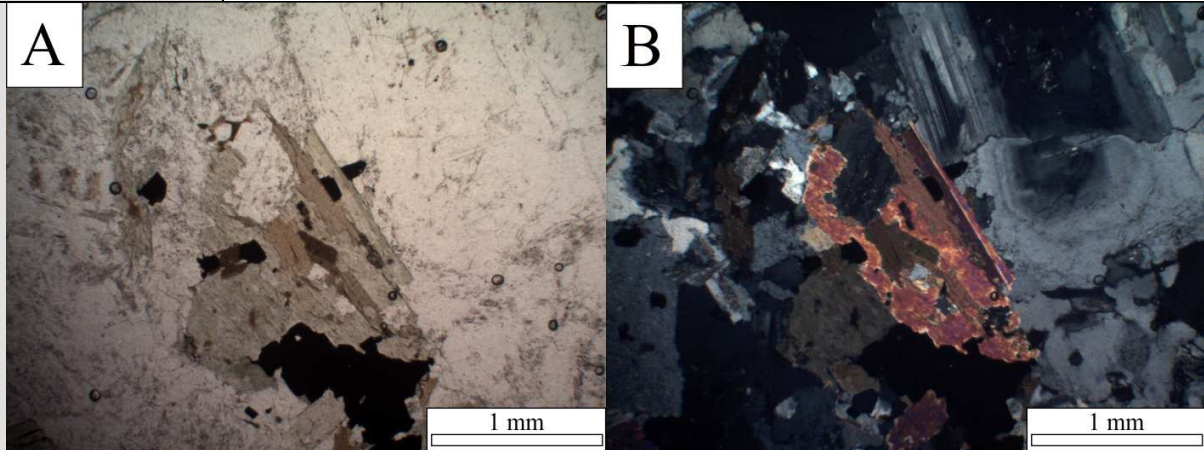
12LG-3306	
Textura	Holocrystalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespatos plagioclasa (40%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm. Macla polisintética, Tartán y Carlsbad, en general. Zonación concéntrica en algunos cristales. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y abundantes minerales máficos.</p> <p>Feldespatos potásico (35%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm. Textura micro-perfítica.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm. En algunos casos, siendo reemplazada por cristales de biotita.</p> <p>Biotita (2%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,0 mm.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (3%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 29: Imágenes de la muestra LG3306 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

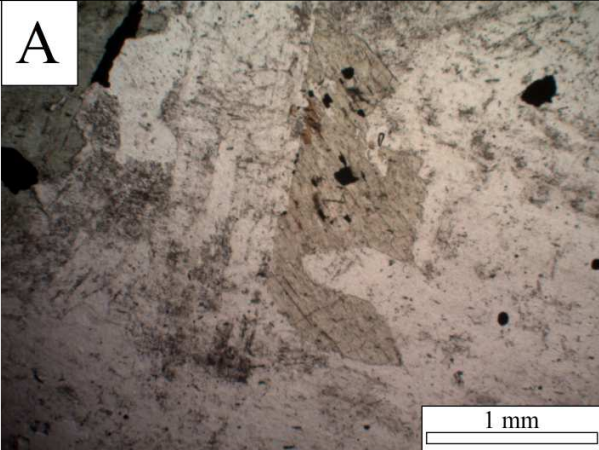
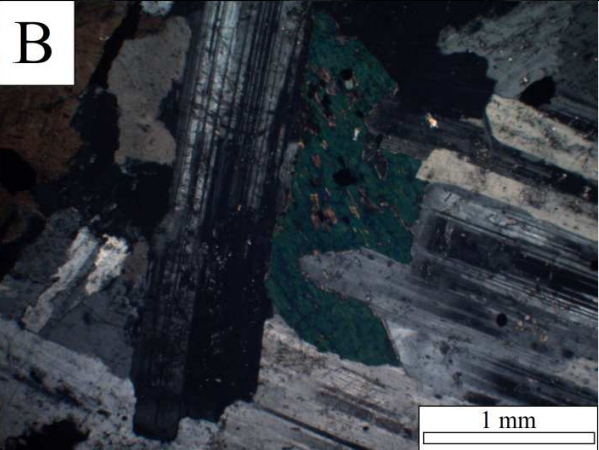
12LG-3401	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (50%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,5 - 5,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad, en general. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Feldespato potásico (25%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm. Textura micro-pertítica.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 4,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (2%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 1,0 mm. Asociados a hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (3%)</p>
Alteración	Moderada, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 30: Imágenes de la muestra LG3401 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

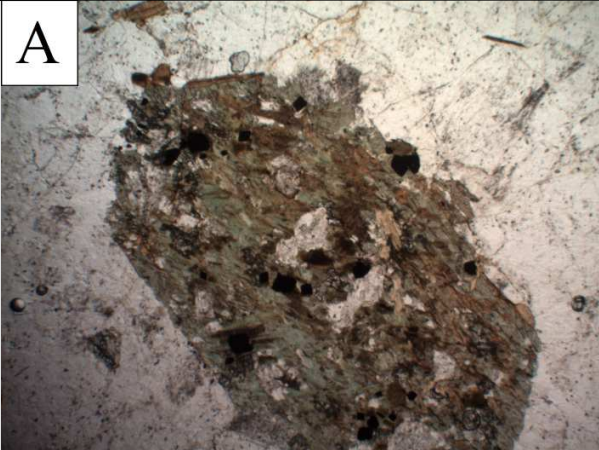

12LG-3504	
Textura	Holocrystalina. Fanerítica. Inequigranular. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (50%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 5,0 mm (dos poblaciones de cristales: fenocristales de tamaños milimétricos y cristales de menos de 0,5 mm). Macla polisintética y Carlsbad, en general. Una porción considerable de los cristales exhibe zonación concéntrica. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,5 mm..</p> <p>Cuarzo (10%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales.</p> <p>Hornblenda (10%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y abundantes parches de biotita.</p> <p>Biotita (3%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 1,0 mm. Asociados a hornblenda, en general.</p> <p>Clinopiroxeno (2%): Cristales subhedrales. Tamaño del orden de 0,2 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (5%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita. Cloritización general.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 31: Imágenes de la muestra LG3504 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	


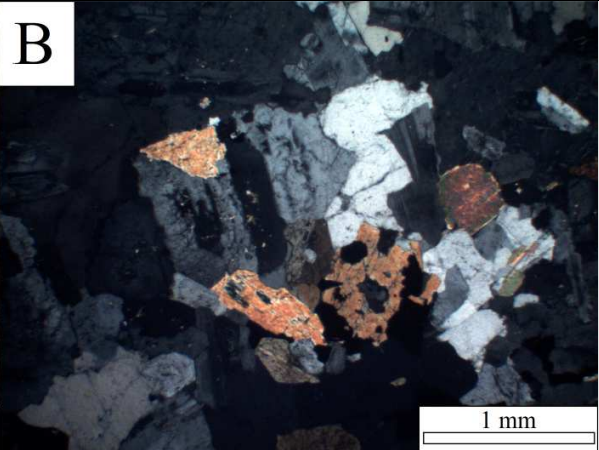
12LG-3605	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Inequigranular. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (55%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 10,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad, en general. Una porción de los cristales exhibe zonación concéntrica. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm.</p> <p>Cuarzo (10%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño del orden de 0,5 mm.</p> <p>Hornblenda (8%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y abundantes parches de biotita.</p> <p>Biotita (4%): Cristales subhedrales. Tamaño inferior a 1,0 mm. Asociados a hornblenda, en general.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (3%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 32: Imágenes de la muestra LG3605 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

12LG-4108-1	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano fino a medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad. Se observan cristales con zonación concéntrica. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales anhedrales. Tamaño: 0,3 - 2,5 mm. Textura micro-pertítica.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales anhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño del orden de 0,5 mm.</p> <p>Hornblenda (13%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 3,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y abundantes parches de biotita.</p> <p>Biotita (5%): Se observan dos poblaciones: (a) cristales euhedrales de tamaño del orden de 1,5 mm que presentan inclusiones de óxidos de Fe-Ti; (b) parches de biotita sobre minerales de hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (2%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzodiorita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 33: Imágenes de la muestra LG4108-1 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

12LG-4305-1	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (35%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 2,5 mm. Macla polisintética y Carlsbad. Algunos cristales exhiben zonación concéntrica. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos, poco abundantes.</p> <p>Feldespato potásico (45%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 4,0 mm. Textura perfitica.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales subhedrales, relleno de espacios intersticiales. Tamaño del orden de 0,5 mm.</p> <p>Hornblenda (2%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y abundantes parches de biotita.</p> <p>Biotita (1%): En general, corresponden a parches sobre minerales de hornblenda, y su tamaño es inferior a 0,3 mm. Se observan escasos cristales de biotita aislados (0,5 mm).</p> <p>Óxidos Fe-Ti (2%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
	
<p>Figura B- 34: Imágenes de la muestra LG4305-1 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

12LG-4605-1	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 5,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (25%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 4,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos. Textura peritítica.</p> <p>Cuarzo (15%): Cristales subhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño del orden de 0,5 mm. Asociado a feldespato potásico.</p> <p>Hornblenda (10%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 3,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y parches de biotita.</p> <p>Biotita (3%): Parches de biotita sobre minerales de hornblenda, de tamaño inferior a 0,5 mm.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Cuarzo monzonita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> <p>1 mm</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> <p>1 mm</p> </div> </div>	
<p>Figura B- 35: Imágenes de la muestra LG4605-1 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

12LG-4805-1	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Inequigranular. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 2,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad. Algunos cristales exhiben zonación concéntrica. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos, poco abundantes.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 4,0 mm. Textura perítica.</p> <p>Cuarzo (25%): Cristales subhedrales, rellenando espacios intersticiales. Tamaño del orden de 0,3 mm; aún cuando se observan granos de mayor tamaño.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 2,5 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y abundantes parches de biotita.</p> <p>Biotita (3%): En general, los cristales de biotita están asociados a la hornblenda; aún cuando se observan escasos granos de biotita aislados (0,5 mm).</p> <p>Óxidos Fe-Ti (2%)</p> <p>Apatito (<<1%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Granodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  </div> </div>	
<p>Figura B-36: Imágenes de la muestra LG4805-1 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

12LG-5201-1	
Textura	Holocristalina. Fanerítica. Hipidiomórfica. Grano medio.
Mineralogía	<p>Feldespato plagioclasa (45%): Cristales subhedrales sin orientación preferencial. Tamaño: 0,3 - 4,0 mm. Macla polisintética y Carlsbad. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y minerales máficos.</p> <p>Feldespato potásico (20%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 4,0 mm. Textura peritítica.</p> <p>Cuarzo (25%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,3 - 1,5 mm.</p> <p>Hornblenda (5%): Cristales subhedrales. Tamaño: 0,5 - 4,0 mm. Presentan inclusiones de óxidos Fe-Ti y abundantes parches de biotita.</p> <p>Biotita (3%): En general, los cristales de biotita (tamaño del orden de 0,2 mm) se disponen como parches en los granos de mayor tamaño de hornblenda.</p> <p>Óxidos Fe-Ti (2%)</p>
Alteración	Baja, feldespato potásico alterado a sericita.
Nombre	Granodiorita de hornblenda.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> <p>1 mm</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> <p>1 mm</p> </div> </div>	
<p>Figura B-37: Imágenes de la muestra LG5201-1 (microscopía óptica a luz transmitida). A: nicoles paralelos. B: nicoles cruzados.</p>	

APÉNDICE C: DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL EFECTO DE ALTITUD (f) SOBRE EL PARÁMETRO DE CONFIANZA

Debido a que la extensión norte-sur y este-oeste del plutón La Gloria es significativamente superior a las variaciones verticales; y a la descrita importancia de la altitud sobre los parámetros geoquímicos y magnéticos del intrusivo; ha sido necesario establecer un factor de amplificación del efecto de la altitud sobre el cálculo del parámetro de confianza (f) (Fórmula (5.1)).

El procedimiento para determinar f ha sido iterativo, en donde se determina el coeficiente de correlación promedio entre la susceptibilidad magnética y composición química (SiO_2 , Fe_2O_3^t y TiO_2), considerando el rango comprendido entre los 10 y 20 puntos con mejor parámetro de confianza, dependiente de f ; y se selecciona el menor valor de f capaz de generar coeficientes de correlación suficientemente elevados (sobre 0,7). La Figura C-1 presenta un gráfico de f versus el citado coeficiente de correlación promedio, a partir del cual se ha establecido que $f = 40$.

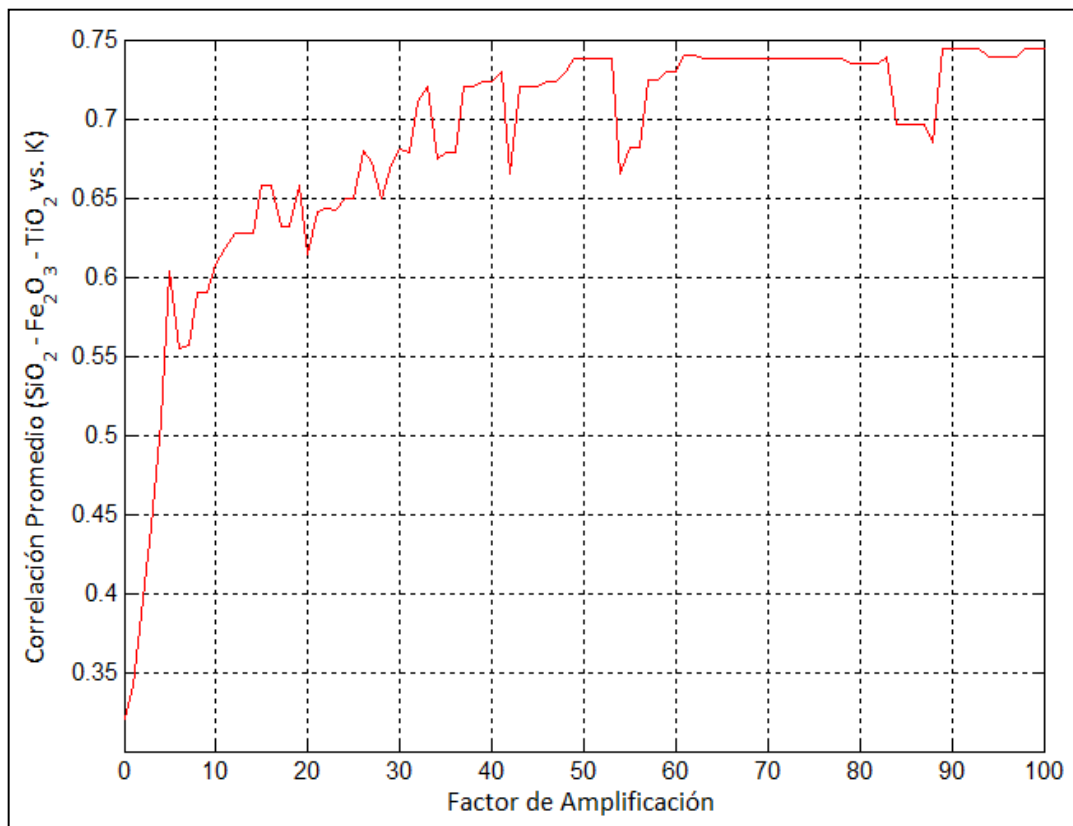


Figura C-1: Gráfico del factor de amplificación de altitud (f) versus el coeficiente de correlación promedio entre susceptibilidad magnética y SiO_2 , Fe_2O_3^t y TiO_2 (10 - 20 puntos con los mayores parámetros de confianza).

APÉNDICE D: IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LAS CATEGORÍAS DE OCURRENCIA DE CRISTALES DE MAGNETITA (LUZ TRANSMITIDA Y REFLEJADA)

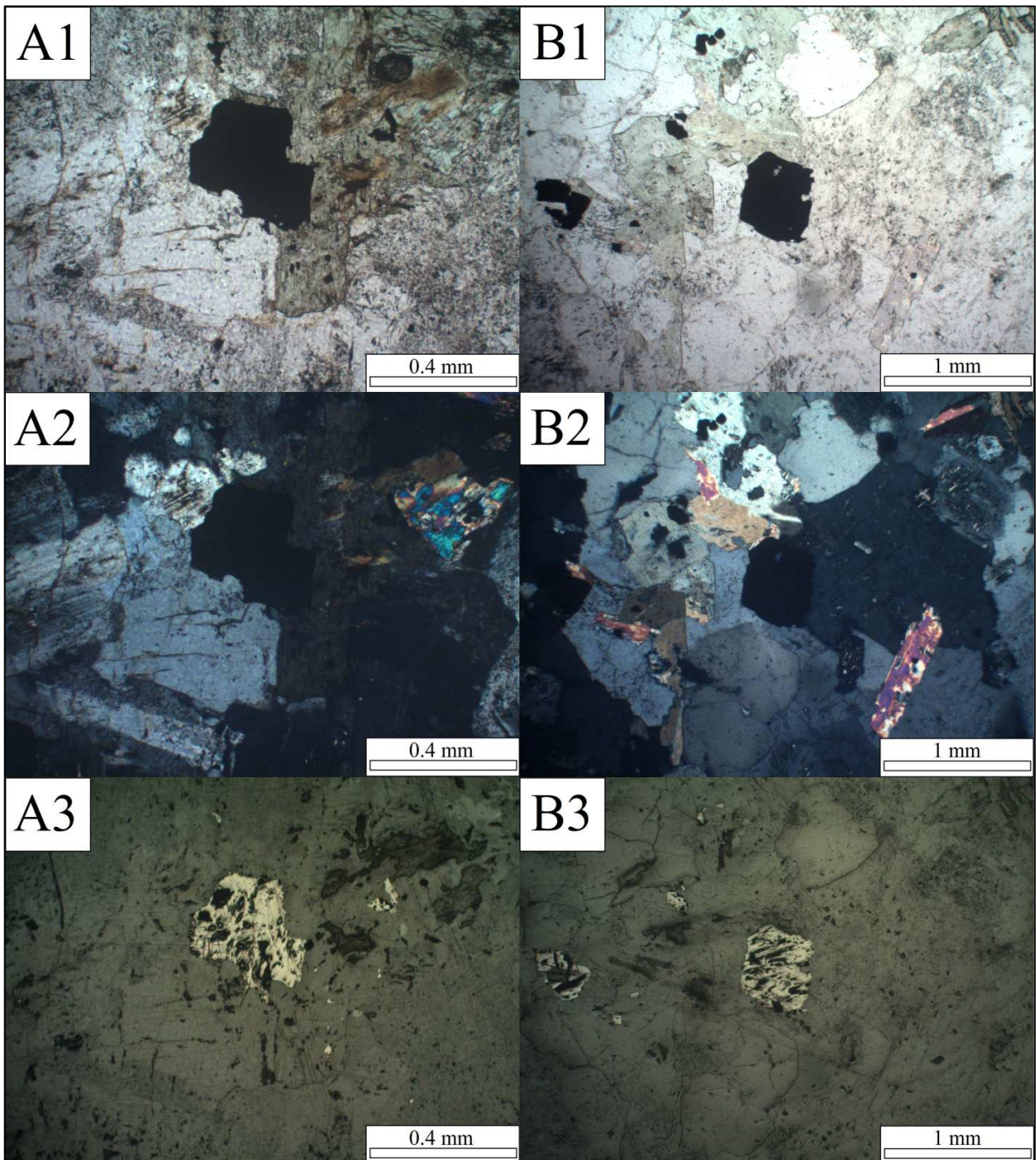


Figura D-1: Imágenes que contienen cristales individuales de magnetita. A(1-3): LG2411-2 (luz transmitida a nicols paralelos, luz transmitida a nicols cruzados y luz reflejada, respectivamente). B(1-3): LG3510 (luz transmitida a nicols paralelos, luz transmitida a nicols cruzados y luz reflejada, respectivamente).

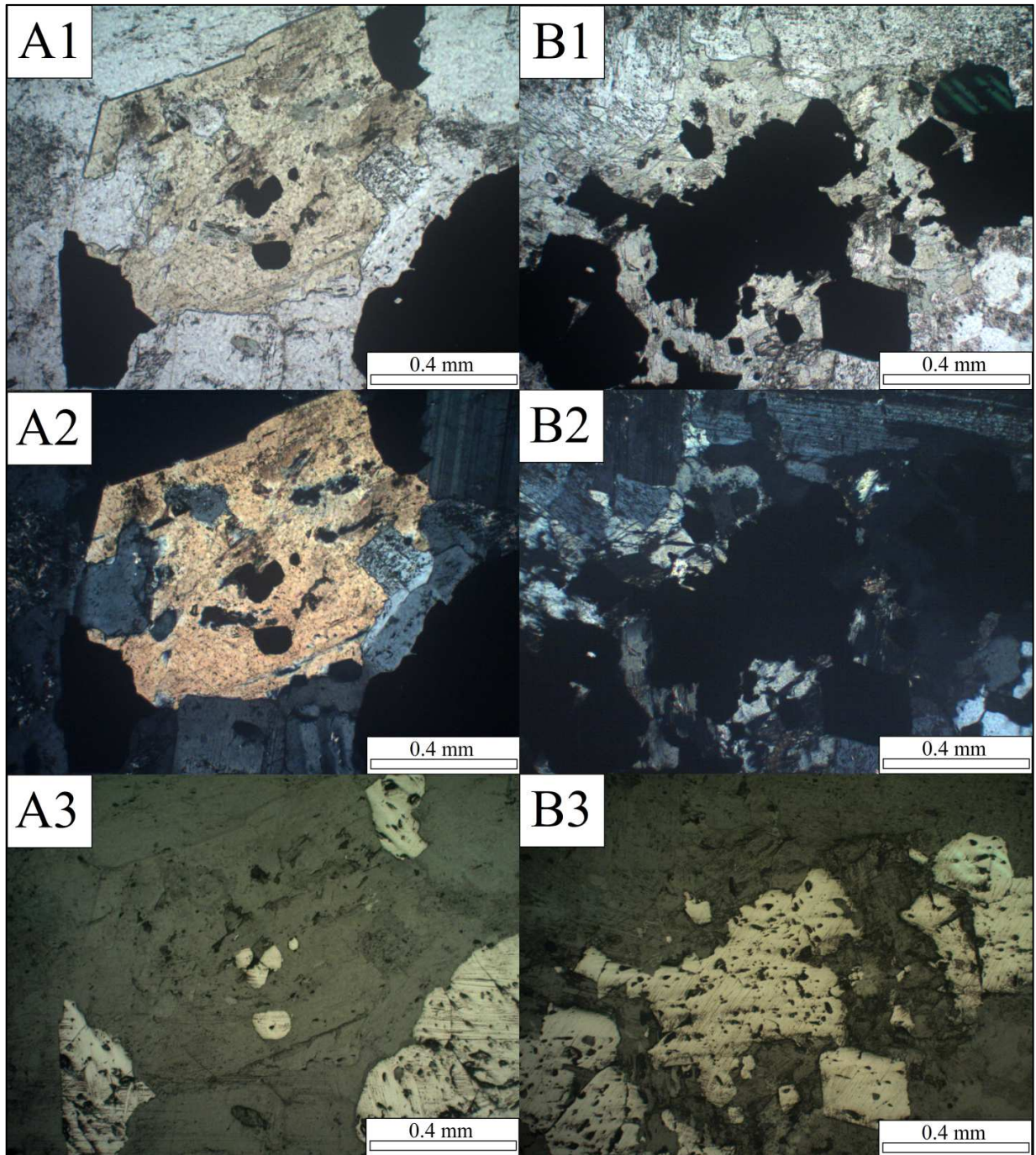


Figura D-2: Imágenes que contienen inclusiones de magnetita en silicatos máficos. A(1-3): LG0601 (luz transmitida a nicols paralelos, luz transmitida a nicols cruzados y luz reflejada, respectivamente). B(1-3): LG2618 (luz transmitida a nicols paralelos, luz transmitida a nicols cruzados y luz reflejada, respectivamente).

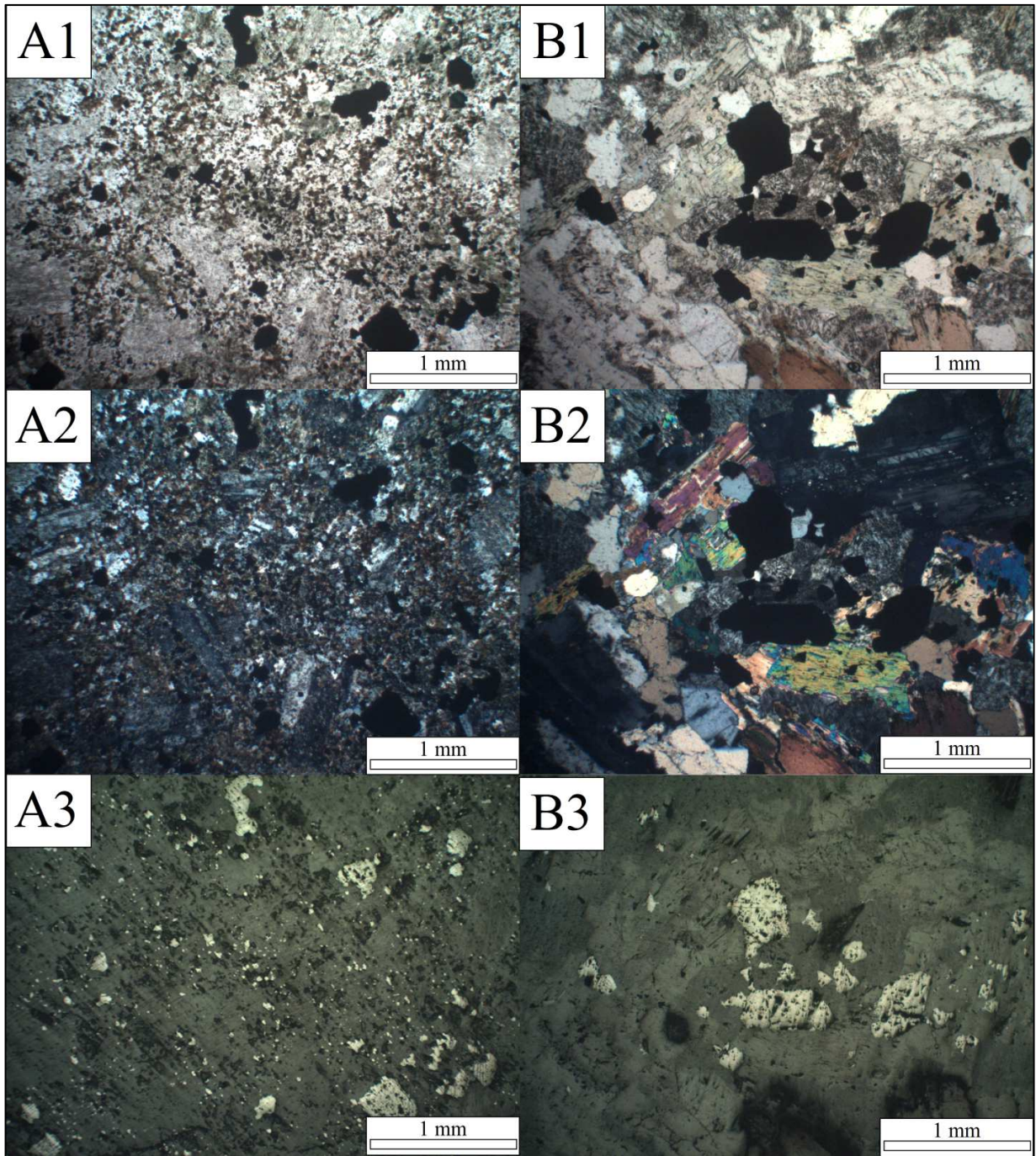


Figura D-3: Imágenes que contienen cristales de magnetita que forman parte de cúmulos de granulometría fina.

A(1-3): LG2310 (luz transmitida a nicols paralelos, luz transmitida a nicols cruzados y luz reflejada, respectivamente). B(1-3): LG2506 (luz transmitida a nicols paralelos, luz transmitida a nicols cruzados y luz reflejada, respectivamente).

APÉNDICE E: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS DEL AJUSTE LINEAL EN RELACIÓN A LA DEFINICIÓN DE LAS CLASES EMPLEADAS

E.1 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y CONTENIDO TOTAL DE MAGNETITA

E.1.1 ANÁLISIS GLOBAL DEL INTRUSIVO

Se ha establecido un tamaño cristalino límite entre las dos clases mayores (d_{2-3}) de 0.6 mm, lo que se debe a:

- A. $d_{2-3} > 0.6 \text{ mm}$: implica que muy pocas secciones delgadas translúcidas contienen cristales de la clase C_3 ; de modo que los ajustes lineales quedan condicionados con muy pocos datos y generan resultados físicamente incoherentes.
- B. $d_{2-3} < 0.6 \text{ mm}$: no permite abarcar adecuadamente el rango de tamaño de los cristales de magnetita.

La Tabla E-1 presenta los resultados de la constante T_0 considerando todas las muestras del plutón La Gloria, para distintos factores de división entre límites de clases.

Tabla E-1: Valor de la constante T_0 para distintos factores de división entre límites de clases (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

Factor de división entre límites de clases	T_0
1,6	4040
1,8	4040
2,0	3960
2,2	3920
2,4	3850
Promedio	3960
Desviación estándar	80

La Figura E-1 muestra un gráfico del diámetro equivalente promedio de los cristales de magnetita de cada una de las clases definidas, versus la contribución a la susceptibilidad magnética total, por unidad de volumen de magnetita; donde se incluyen los resultados asociados a la aplicación de distintos factores de división entre límites de clases. Es posible notar que la presencia de un *peak* en la contribución porcentual a la susceptibilidad magnética en torno a un diámetro equivalente de 0.4 mm no es dependiente del conjunto de clases seleccionado.

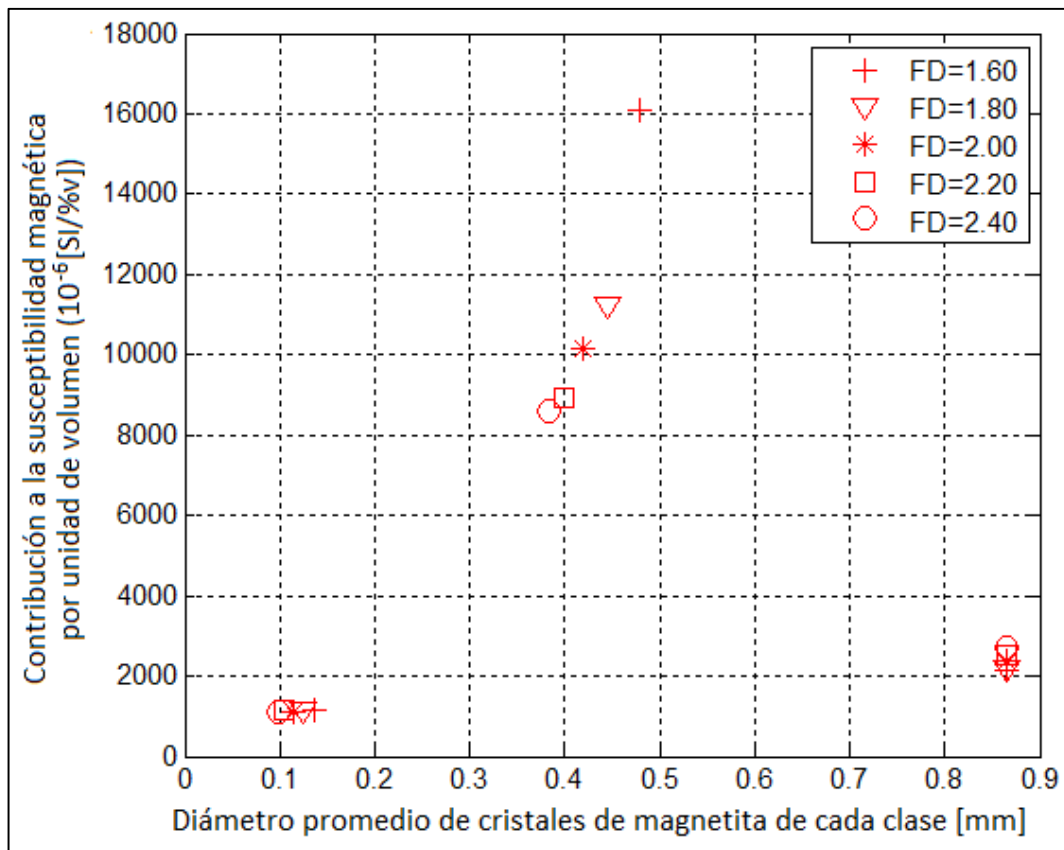


Figura E-1: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución a la susceptibilidad magnética por unidad de volumen de magnetita; para distintos factores de división (FD) entre límites de clases (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

E.1.2 ANÁLISIS PARTICIONADO DEL INTRUSIVO

E.1.2.1 BASE DEL PLUTÓN LA GLORIA

Se ha establecido un valor de 0.6 mm para el tamaño límite entre las dos clases mayores (d_{2-3}). La Tabla E-2 muestra los resultados de la constante T_0 considerando solo las muestras de la base del plutón La Gloria, para distintos factores de división entre límites de clases.

Tabla E-2: Valor de la constante T_0 para distintos factores de división entre límites de clases (base del plutón La Gloria, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

Factor de división entre límites de clases	T_0
1,6	3540
1,8	3510
2,0	3400
2,2	3360
2,4	3280
Promedio	3420
Desviación estándar	100

La Figura E-2 presenta un gráfico del diámetro equivalente promedio de los cristales de magnetita de cada una de las clases definidas, respecto a la contribución porcentual a la

susceptibilidad magnética total de magnetita; donde se incluyen los resultados asociados a la aplicación de distintos factores de división entre límites de clases. Es posible notar que en todos los casos se observa un pronunciado *peak* en torno a un diámetro equivalente entre 0,35 mm y 0,50 mm; de modo que dicho resultado no es dependiente del conjunto de clases considerado.

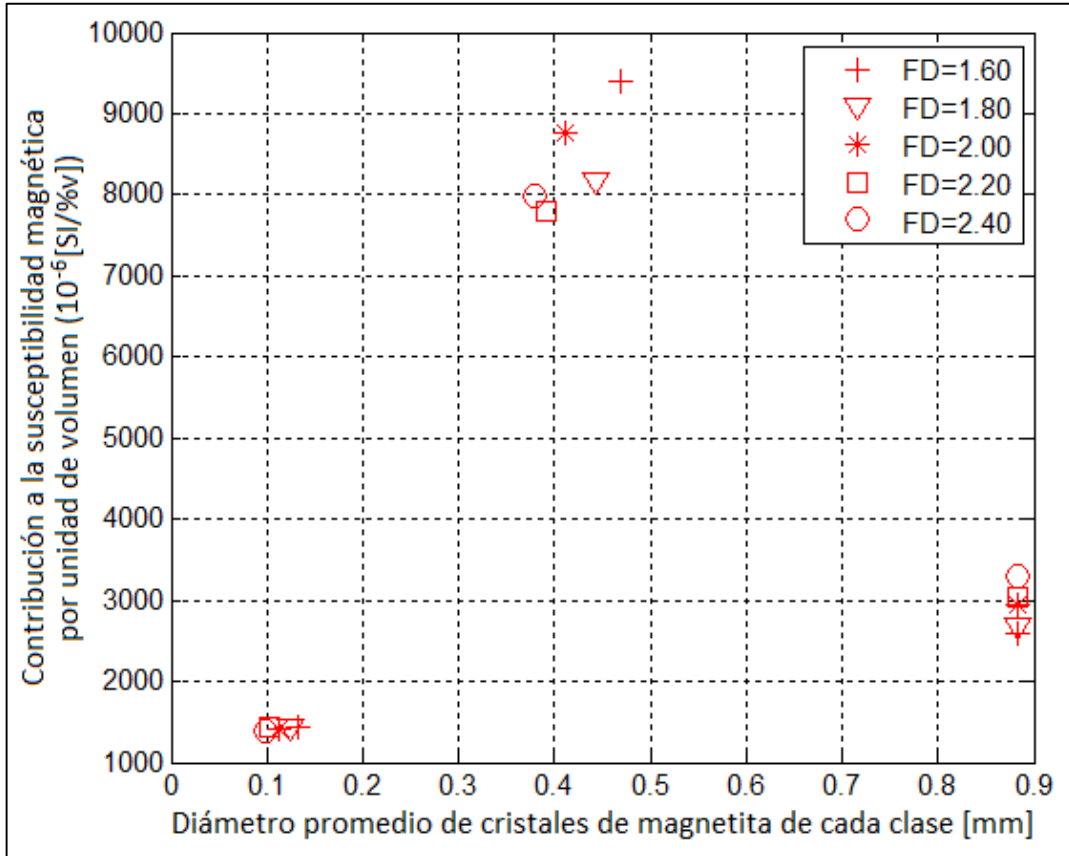


Figura E-2: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución a la susceptibilidad magnética por unidad de volumen de magnetita; para distintos factores de división (FD) entre límites de clases (base del plutón La Gloria, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

E.1.2.2 TECHO DEL PLUTÓN LA GLORIA

Equivalentemente a los casos anteriores, se ha establecido un valor de 0.6 mm para el tamaño límite entre las dos clases mayores (d_{2-3}). La Tabla E-3 muestra los resultados de la constante T_0 considerando las muestras del techo del plutón La Gloria, para distintos factores de división entre límites de clases.

Tabla E-3: Valor de la constante T_0 para distintos factores de división entre límites de clases (techo del plutón La Gloria, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

Factor de división entre límites de clases	T_0
1,6	4560
1,8	4600
2,0	4580
2,2	4570
2,4	4550
Promedio	4570
Desviación estándar	20

En la Figura E-3 se muestra un gráfico del diámetro equivalente promedio de los cristales de magnetita de cada una de las clases definidas, versus la contribución porcentual a la susceptibilidad magnética; donde se incluyen los resultados asociados a la aplicación de distintos factores de división entre límites de clases. En todos los casos se observa un *peak* en torno a un diámetro equivalente entre 0.40 mm y 0,50 mm; de modo que dicho resultado no es dependiente del conjunto de clases considerado.

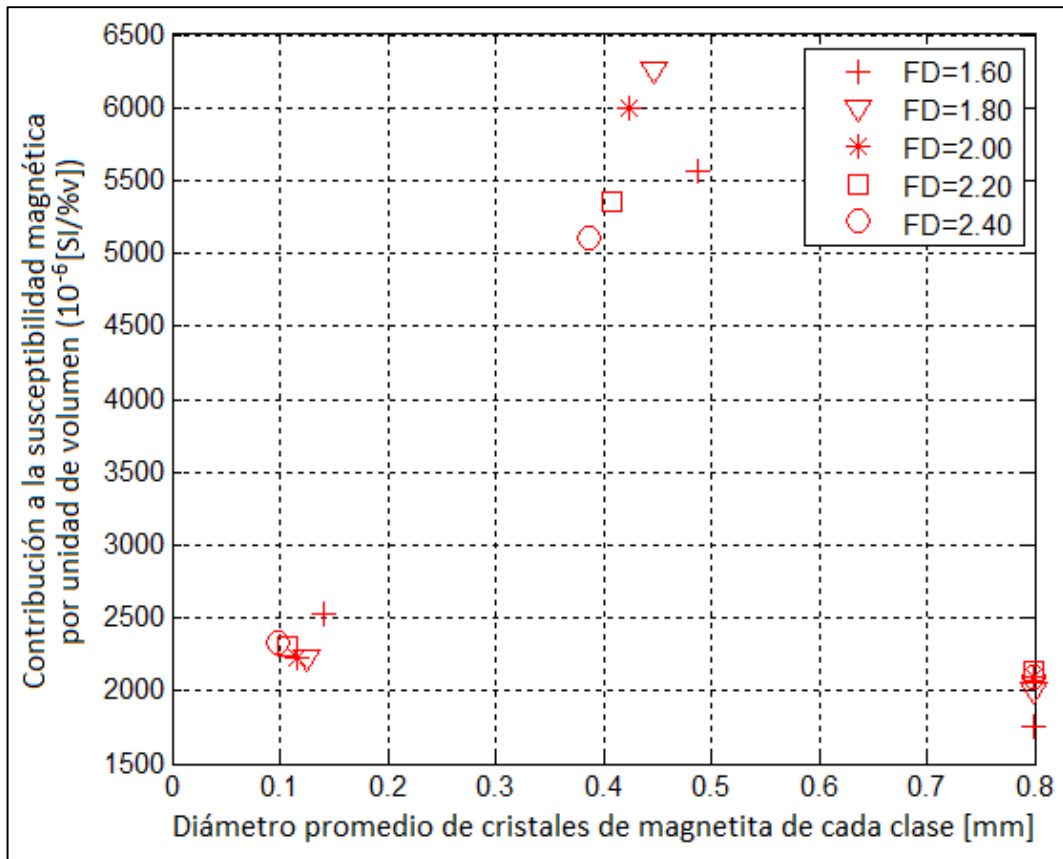


Figura E-3: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución a la susceptibilidad magnética por unidad de volumen de magnetita; para distintos factores de división (FD) entre límites de clases (techo del plutón La Gloria, relacionando susceptibilidad magnética y contenido total de magnetita).

E.2 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y CONTENIDO DE MAGNETITA TEMPRANA

E.2.1: ANÁLISIS GLOBAL DEL INTRUSIVO

Se ha establecido un valor de 0.6 mm para el tamaño límite entre las dos clases mayores (d_{2-3}). La Tabla E-4 presenta los valores de la constante T_0 para distintos factores de división entre límites de clases.

Tabla E-4: Valor de la constante T_0 para distintos factores de división entre límites de clases (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido de magnetita temprana).

Factor de división entre límites de clases	T_0
1,6	4200
1,8	4180
2,0	4180
2,2	4180
2,4	4180
Promedio	4190
Desviación estándar	10

En la Figura E-4 se muestra un gráfico del diámetro equivalente promedio de los cristales de magnetita de cada una de las clases definidas, versus la contribución porcentual a la susceptibilidad magnética; donde se incluyen los resultados asociados a la aplicación de distintos factores de división entre límites de clases.

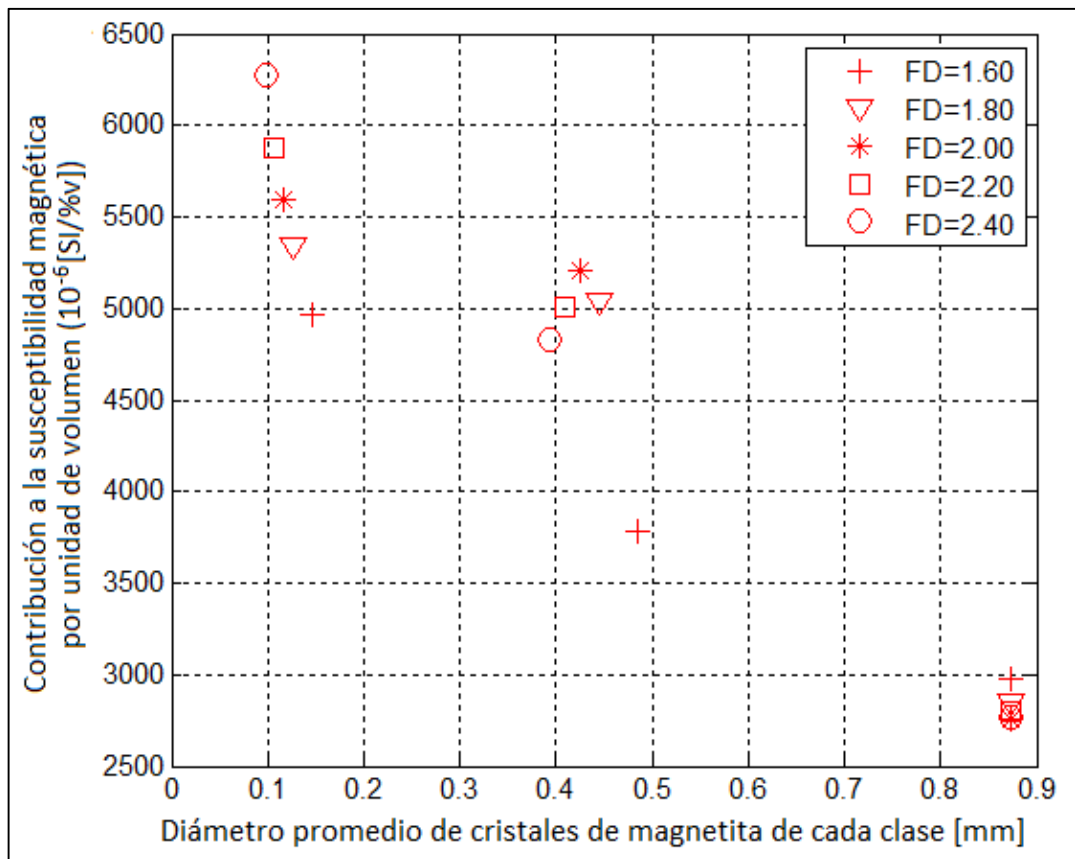


Figura E-4: Diámetro promedio de cristales de magnetita de cada clase definida versus la contribución a la susceptibilidad magnética por unidad de volumen de magnetita; para distintos factores de división (FD) entre límites de clases (análisis global del intrusivo, relacionando susceptibilidad magnética y contenido de magnetita temprana).

APÉNDICE F: TEMPERATURA DE CURIÉ DE MUESTRAS DEL PLUTÓN LA GLORIA

La Figura F-2 muestra un gráfico de magnetización versus temperatura, para cuatro muestras del plutón La Gloria; a partir del cual podemos notar que la temperatura de Curié es de $(578,0 \pm 1,5)^\circ\text{C}$.

Esta propiedad tiene carácter diagnóstico y, dado que la temperatura de Curié de la magnetita se encuentra en el rango $(575 - 585)^\circ\text{C}$ (Hunt *et al.*, 1995), los resultados evidencian que la fase responsable de la magnetización y la susceptibilidad magnética del plutón La Gloria es efectivamente la magnetita.

Cabe señalar que los análisis de magnetización fueron hechos en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Rennes, Francia.

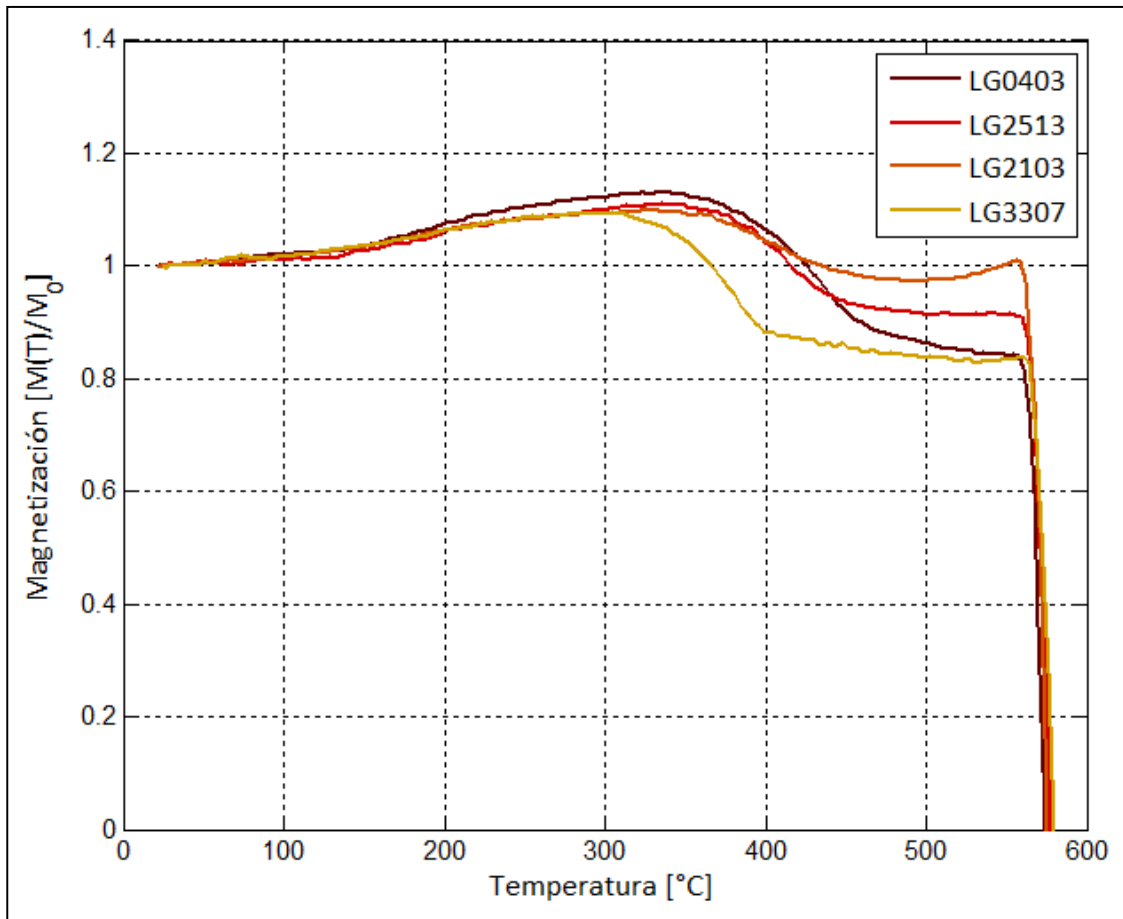


Figura F-1: Gráfico de magnetización normalizada versus temperatura, para cuatro muestras del plutón La Gloria.