

**DEFORMACIÓN INTERNA DEL PLUTÓN SAN GABRIEL (CHILE CENTRAL)
REGISTRADA POR ENCLAVES MÁFICOS: RELACIÓN ENTRE EL MECANISMO
DE CONSTRUCCIÓN, DIVERSIFICACIÓN COMPOSICIONAL Y DEFORMACIÓN
TECTÓNICA**

Memoria entregada a la Universidad Mayor en cumplimiento de los requisitos para optar al
Título de Geólogo

BENJAMÍN ANDRÉ PIZARRO ACUÑA

PROFESOR GUÍA:
ITALO JOAQUÍN PAYACÁN PAYACÁN

MIEMBROS COMISIÓN

MATÍAS PEÑA GÓMEZ

DR. FRANCISCO JAVIER GUTIÉRREZ FERRER

SANTIAGO, CHILE

ABRIL, 2019

SOLO USO ACADÉMICO

Resumen.

Los plutones pueden presentar múltiples formas y tamaños dependiendo del escenario donde se genera el emplazamiento y del volumen del magma, además de condicionantes reológicas. Estos cuerpos ígneos pueden registrar deformaciones internas como es el caso del plutón San Gabriel los que pueden resultar de una superposición de fenómenos tectónicos y magmáticos en distintos tiempos, es por esto que mediante este trabajo de cuantificación, caracterización petrológica y distribución de enclaves máficos se determinara cual fue el origen de la deformación.

El plutón San Gabriel corresponde a un plutón zonado litológicamente (Diorita – Monzogranito) de edad miocena, el cual se encuentra ubicado en la Cordillera de los Andes de Chile central, en el sector del Cajón del Maipo. Este presenta una geometría elongada con orientación preferencial N20°O, con 16 km de largo, 2,5 km de ancho y exposición vertical de por lo menos 1,4 km. El ascenso y emplazamiento del plutón San Gabriel se asocia a una serie de estructuras tectónicas con dirección N-S, e intruye sucesiones volcánicas y volcanosedimentarias de las formaciones Abanico y Farellones (Eoceno-Oligoceno y Mioceno, respectivamente).

Estudios recientes han determinado que este cuerpo se divide en unidades definidas por su composición, contenido y tamaño de cristales, variando desde una composición ácida en las partes centrales a una más intermedia hacia los bordes. Además, presenta diques y enclaves máficos.

Este estudio se basó en los enclaves máficos y sus características petrográficas: índice de color, tamaño, morfología, textura, grado de cristalinidad, composición y orientaciones preferenciales de estos. En el plutón San Gabriel los enclaves presentan una morfología sub esferoidal a elipsoidal, con bordes subredondeados a redondeados, con una composición promedio entre dioritas a tonalitas, de textura porfirica a afanítica con un tamaño relativo de cristales entre 1 mm a 5 mm.

Finalmente se pudo determinar la orientación y forma de los enclaves máficos en 2 y 3 dimensiones y con los estudios petrográficos se pudo determinar si la deformación asociada corresponde a un proceso sinplutónico o a un proceso tectónico. En el caso de este estudio se determinó que la deformación de los enclaves fue originada por la dinámica interna del reservorio magmático

SOLO USO ACADÉMICO

A mis padres y abuelos, Gracias...

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres quienes me guiaron, ayudaron y brindaron una buena base educacional, lo cual me permitió llegar a esta importante etapa, agradezco también a los profesores de los colegios Blas Cañas y del INBA quienes supieron darme buenas enseñanzas y motivarme para así seguir el camino que elegí.

También me gustaría agradecer a las personas que conocí durante la etapa universitaria, a mi amigo Seba el cual ahora está de misionero en Brasil. A los profesores de la u que me motivaron seguir mi camino y que rama de la Geología seguir especializándome a futuro.

Agradezco también a Italo y Matias Peña, mis profes guía de la memoria, gracias a sus conocimientos, apoyo, además del financiamiento en terrenos (Proyecto FONDECYT 1180577), y críticas constructivas me permitieron elaborar y desarrollar este trabajo de una manera óptima, también agradezco a Francisco Gutiérrez quien nos permitió acceder a su taller personal y herramientas, además nos orientó sobre cómo preparar las muestras y dejarlas listas para su posterior estudio.

Finalmente agradezco a mis abuelos que si bien ya no se encuentran acá ellos fueron un pilar fundamental en mi desarrollo personal y también a los familiares que me desearon lo mejor en este proceso.

Contenido

1	Introducción y antecedentes.	13
1.1	Antecedentes sobre los reservorios de magma.	13
1.1.1	Mecanismos de emplazamiento y diferenciación de reservorios de magma.	13
1.1.2	Deformación registrada en cuerpos plutónicos.	15
1.2	Enclaves máficos y procesos magmáticos.	16
	Clasificación de enclaves.	17
1.2.1		17
1.2.2	Génesis de los enclaves.	18
1.2.3	Antecedentes sobre la inferencia de procesos magmáticos y estructurales a partir de la cuantificación y distribución de enclaves máficos.	21
1.3	¿Por qué el Plutón San Gabriel?	25
1.4	Hipótesis.	26
1.5	Objetivos.	26
1.5.1	General.	26
1.5.2	Específicos.	27
1.6	Metodologías.	27
1.7	Ubicación y vías de acceso.	29
2	Antecedentes geológicos del Plutón San Gabriel.	31
2.1	Marco geodinámico.	31
2.2	Estratigrafía y evolución geológica.	32
2.3	Antecedentes petrológicos del Plutón San Gabriel.	34
2.4	Petrografía plutón San Gabriel.	36
3	Petrografía y composición de los enclaves máficos.	38
3.1	Introducción	38

3.2	Metodología	38
3.3	Puntos de muestreo.....	38
3.4	Caracterización morfológica y petrográfica de los enclaves máficos	41
3.5	Sección delgada.....	44
3.5.1	Minerales primarios	45
3.5.2	Minerales secundarios.....	46
4	Distribución espacial y orientación preferencial de enclaves máficos.	48
4.1	Introducción.	48
4.2	Metodologías.....	48
	Cálculo de elipsoides de anisotropía basados en la orientación y forma (3D).	51
4.3	Distribución espacial de los enclaves máficos.	52
4.4	Orientación de los enclaves máficos.	54
4.5	Orientación preferencial de enclaves máficos: Elipsoides de anisotropía basados en la orientación y forma.....	56
4.5.1	Definición de parámetros	56
4.5.2	Parámetros de forma de los elipsoides de orientación.....	57
4.5.3	Parámetros de orientación de los elipsoides.	62
4.6	Algunas consideraciones	65
5	Discusión.....	69
5.1	Introducción	69
5.2	Génesis de los enclaves máficos	69
5.2.1	Procesos magmáticos asociados a la generación de enclaves en el plutón San Gabriel. 69	
5.2.2	Relación de deformación y génesis de los enclaves máficos.....	73
5.2.3	Evidencias de enfriamiento y orden de cristalización en enclaves máficos.	75

5.3	Origen de la deformación registrada por los enclaves máficos del plutón San Gabriel.	78
5.4	Geometría del Plutón San Gabriel.....	82
6	Conclusiones.....	84
6.1	Recomendaciones.....	85
7	Referencias.....	87
8	Anexos.....	91

Índice de figuras

Figura 1.	Procesos de diferenciación y ascenso magmático. Griem (2018).	15
Figura 2.	Tipos de enclave respecto al origen del material que lo conforma: a) Xenolito, b) enclave ígneo y c) Concentrado microgranular.....	17
Figura 3.	Esquema de una cámara magmática indicando la generación de enclaves (Vernon,1983).	19
Figura 4.	Modelos que explican la formación de enclaves a partir de la intrusión de magma básico (Frost y Mahood, 1987): a) Intrusión de bajo volumen de magma básico, b) Intrusión de magma básico en un reservorio parcialmente cristalizado, c) Intrusión de magma y d) Intrusión de diques básicos en un reservorio cristalizado.....	20
Figura 5.	Inestabilidades gravitacionales (Castro et al., 2008) debido a la intrusión de origen ácido sobre un reservorio básico.	21
Figura 6.	a) Zona de estudio complejo Lago della Vacca y sus respectivas unidades, b) Modelo en el cual se explica el estado inicial de un enclave máfico y como este se ve afectado por la inyección de pulsos magmáticos de origen ácido, (Caricchi et al., 2012).....	22
Figura 7.	Proyección de la orientación y ubicación espacial de los enclaves máficos en el complejo plutónico Illapel. (Varas, 2011), los stereonet representan el rake de orientación de los enclaves respecto a la roca de caja	23
Figura 8.	Ubicación del complejo plutónico Santo Domingo, Chile. Deformación de los enclaves máficos producto de esfuerzos asociados a tectónica, Webber et al., (2015).....	25

Figura 9. a) Esquema explicativo metodología para la medición de orientaciones de enclaves máficos, b) Cálculo del rake mediante el software JMicrovision.....	29
Figura 10. Ubicación plutón San Gabriel.	30
Figura 11. Configuración tectónica, tasas de subducción y segmentos tectónicos de Chile, Maksymowics, 2015.	31
Figura 12. Mapa geológico zona de estudio. Extraído de Fock (2005).	33
Figura 13. Contacto del plutón San Gabriel con la formación. Farellones de acuerdo a Fock (2005), cara oeste, este y norte del plutón.	34
Figura 14. Complejo plutónico El Teniente, extraído de Kay et al., (2005). En colores se pueden observar los principales plutones en el área de estudio: plutón San Gabriel (rojo), batolito La Obra (naranja) y plutón La Gloria (amarillo).	35
Figura 15. Unidades plutón San Gabriel, Payacán et al., (en prep) - Lithos.	37
Figura 16. Sectores de muestreo plutón San Gabriel, respecto a las unidades definidas por Payacán et al (en prep) – Lithos.	40
Figura 17. Gráfico de barra y circular que representan la frecuencia de cada tipo de enclave máfico en el área de estudio.	41
Figura 18. Tipos de enclaves máficos previamente descritos respecto a su predominancia por sector y su ubicación presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.).....	42
Figura 19. Relación de tamaño y tendencias de enclaves (eje mayor / eje menor (cm)).....	43
Figura 20. a) 19SGI0202, nic x, 4x. Cristal de plagioclasa de 3 mm con macla simple con cristales de cuarzo (<0,1mm). b y c) 19SGI1002, nic x, 4x. Diorita con textura intergranular con presencia de plagioclasa, anfíbola y biotita. d) 19SGI2201, nic x, 20x. Plagioclasas con presencia de maclas simples y polisintéticas y presencia de cúmulos de anfíbola. e) 19SGI0101, nic x, 4x. Cristal de anfíbola alterado a clorita, muestra con textura intergranular(plagioclasas). f) 19SGI0601, nic x, 4x. Cristales de plagioclasa de gran tamaño, en la parte superior se observan cristales de anfíbola alterados. g) 19SGI0202, nic x, 4x. Cristal de anfíbola reemplazado por biotita. h) 19SGI0301, nic x,4x cumulo de cristales de piroxeno inmersos en cristales de plagioclasas.....	47

Figura 21. Enclaves máficos observados en terreno: a y b) enclaves ovalados cristalinos oscuros, c) enclave máfico circular microcristalino y d) enclaves máficos microcristalinos elipsoidales..	49
Figura 22. Cálculo del rake mediante el software JMicrovision.	50
Figura 23. Variaciones de los métodos analíticos de Robin y Shan para determinar la orientación y forma de los enclaves máficos para el sector 19SGI01, a la izquierda gráfico de Flinn (escala logarítmica), a la derecha gráfico de Nadai.....	52
Figura 24. Concentración y distribución de enclaves máficos en el plutón San Gabriel, respecto a las unidades definidas por Payacán et al (en prep) – Lithos.....	53
Figura 25. Gráfico de concentración de enclaves por sector, el area por sector comprende un área de 4 m2.	54
Figura 26. Gráficos polares de los datos obtenidos durante la campaña de terreno, la leyenda de la derecha representa la concentración total o tendencia en la cual los enclaves se encuentran distribuidos.	55
Figura 27. a) Gráfico de Nadai (Nadai, 1950) el cual indica la forma de los enclaves máficos en cada sector estudiado, en este caso los enclaves máficos presentan forma prolatas, triaxiales y en la mayoría estos tienen forma oblata, elaboración mediante el software <i>Ellipsefit</i>	58
Figura 28. Gráfico de Flinn (escala logarítmica) (Flinn, 1958) el cual representa los grados de anisotropía de cada sector estudiado, elaboración mediante el software <i>Ellipsefit</i>	58
Figura 29. Forma de los enclaves máficos presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.).....	59
Figura 30. Foliación de los enclaves máficos presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.).....	60
Figura 31. Lineación de los enclaves máficos presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.).....	61
Figura 32. Red estereográfica la cual muestra la orientación de los ejes máximos, intermedios y mínimos de los 24 sectores estudiados, elaborada mediante el software <i>Stereonet</i>	63
Figura 33. Proyección estereográfica de la orientación de los elipsoides de anisotropía obtenidos por la orientación preferencial de enclaves máficos en el plutón San Gabriel, parte norte. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (in prep.).....	64

Figura 34. Proyección estereográfica de la orientación de los elipsoides de anisotropía obtenidos por la orientación preferencial de enclaves máficos en el plutón San Gabriel, parte centro sur. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (in prep.).	65
Figura 35. Forma y orientación de los enclaves máficos presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.), orientaciones de los enclaves respecto al trend de los ejes mayores.	67
Figura 36. Muestra de mano sector 19SGI0201, correspondiente a la transición entre el monzogranito (Unidad P, Payacan et al., (en prep)) y enclave máfico.	70
Figura 37. Diferentes etapas de hibridación en la que se forman los enclaves máficos, respecto al grado de cristalinidad que presente el magma ácido durante la inyección de un magma básico (Barbarin et al., 1992).	72
Figura 38. Modelo de génesis de la zona más representativa del plutón San Gabriel (cara sur) basado en el modelo petrográfico de Payacán et al., (en prep) y en la estratigrafía de Fock et al., (2006), En este modelo se explica la relación de temporalidad de los grupos de enclaves previamente definidos.	73
Figura 39. Cortes escaneados sectores 19SGI1001 (a) y 19SGI1201 (b), como se puede observar en ningún caso se observan foliación y lineación de cristales a escala macroscópica y microscópica	74
Figura 40. a) Enclaves plegados con material leucocrático concentrado, b) Enclave en forma de <i>boudinage</i> producto de deformación tectónica, c) Enclave registra desplazamiento sinistral asociado a zonas de cizalle y d) Cristal de biotita deformado. Figura extraída y modificada de Webber et al., (2015).	75
Figura 41. Cúmulos de piroxeno presente en el corte transparente pulido del sector 19SGI0301, nicoles x.	76
Figura 42. Corte transparente pulido sector 19SGI0202 nicoles x, en el cual se puede observar el mineral que cristaliza en una etapa final (Cuarzo)	77
Figura 43. Modelo de transporte helicoidal por el cual el magma asciende propuesto por Webber et al., (2015).	79
Figura 44. Modelo conceptual en el cual se explica cómo es controlada la forma del Plutón San Gabriel debido a la compresión tectónica (vista en planta), además se explica cómo se genera una	

costra a medida que el plutón cristaliza, de igual manera se muestra como los enclaves son orientados respecto a la forma del Plutón y de la dinámica del magma al interior, finalmente se muestra como el interior de los enclaves máficos no presentan ningún patrón de orientación respecto a los cristales (lineación o foliación)..... 81

Figura 45. Modelo análogo en el cual se explica la forma que obtiene un cuerpo ígneo, respecto a las tasas de inyección magmática, como se puede observar si la tasa de inyección es lenta, el plutón presentara una forma más elongada, mientras que, si la tasa de inyección es rápida, el plutón presentara una forma circular, figura extraída de Montanari, D. et al., (2010). 83

Índice de tablas

Tabla 1. Posición de los puntos de muestreo, en amarillo aquellos sectores de muestreo en los que no se encuentran enclaves máficos. 38

Tabla 2. Ejemplo cuantificación y caracterización enclaves máficos en el plutón San Gabriel. 54

Tabla 3. Declinación e inclinación máxima (k máx), intermedia (k int) y mínima (k mín) entregadas por el *software Ellipsefit*. 62

Tabla 4. Caracterización y cuantificación general de los enclaves máficos por sector muestreado (concentración respecto a parámetros explicados en capítulo 3 y 4). 68

1 Introducción y antecedentes.

1.1 Antecedentes sobre los reservorios de magma.

Los plutones corresponden a cuerpos intrusivos de origen ígneo formados cuando el magma (mezcla compuesta por gases, roca fundida, cristales y fluidos) se enfría y cristaliza dentro de la corteza terrestre. Estos cuerpos pueden presentar formas concéntricas, alargadas, elongadas, entre otras y su escala depende de las múltiples inyecciones magmáticas y del volumen del reservorio magmático. Dentro de esto se pueden diferenciar cuerpos ígneos respecto a su forma y tamaño específicos, como es el caso de batolitos, stocks, plutones.

Conocer la génesis del plutonismo nos permite inferir las etapas y los procesos de transporte del magma a través de la corteza. A medida que el magma asciende se va enfrentando a diferentes condiciones reológicas, ya que avanza desde los niveles profundos de la corteza (comportamiento dúctil a semidúctil) a los niveles superiores de la corteza (comportamiento frágil). Es en esta transición donde comienzan a ocurrir los procesos de diferenciación magmática, y emplazamiento magmático, generando un impacto termal y reológico en las rocas de caja mediante procesos como fracturamiento, fusión parcial, metamorfismo, reacciones hidrotermales, entre otros.

1.1.1 Mecanismos de emplazamiento y diferenciación de reservorios de magma.

La estructura interna de los plutones permite inferir los procesos fluido y termodinámicos que pudieron haber ocurrido durante la fase fundida y su posterior enfriamiento. El proceso de construcción de reservorios de magma está determinado por dos etapas: el transporte de magma a través de la corteza y el emplazamiento. Se entiende el transporte de magma como el proceso en el que un magma se traslada verticalmente en dirección hacia la superficie, Petford (2000) menciona que este proceso se encuentra dividido por 2 subprocesos diferenciándose principalmente por la escala en la que actúan, 1) Segregación mecánica, corresponde al proceso de transporte en el que un magma se traslada en una escala centimétrica a decimétrica respecto a las diferencias de viscosidad y al contenido de H_2O y 2) Ascenso, corresponde al proceso en el que el magma asciende verticalmente a escalas kilométricas. Mientras que el emplazamiento se entiende como el mecanismo desde la generación de espacio hasta el último enfriamiento del reservorio ya sea lateral

o vertical, favoreciendo su acumulación en la corteza (Peña., 2004). Los mecanismos de emplazamiento y ascenso de magma hacia la corteza corresponden a: **1) diapirismo**, el que de acuerdo a Paterson et al., (1995), corresponde a un mecanismo de emplazamiento magmático en el cual el magma asciende por la corteza inferior, la cual es más dúctil que la corteza superior, lo que provoca la deformación dúctil de la corteza circundante. Cuando el magma alcanza la transición de la corteza dúctil/frágil, la buoyancia no puede sustentar el emplazamiento (Vigneresse, 1995b.), por lo que podría ocurrir **2) ballooning**, proceso que ocurre en las zonas frágiles de la corteza terrestre y corresponde a la generación de un reservorio magmático debido al ascenso del magma, el cual produce el abombamiento de la roca de caja debido al contraste reológico (dúctil/frágil) del magma respecto a la corteza. Otro mecanismo es el **3) dyking**, que corresponde al proceso en el cual el magma asciende por pequeñas intrusiones o pulsos, los que posteriormente se mezclan generando cuerpos de mayor dimensión (Glazner et al., 2004). **4) el stoping** corresponde al mecanismo en el cual el magma genera fracturas o utiliza fracturas pre-existentes y aísla bloques de la roca de caja, haciendo que estos se hundan en el magma, generando la presencia de xenolitos. El tipo de emplazamiento magmático que ocurra se encuentra relacionado a las condiciones mecánicas en las cuales el magma se esté emplazando y del volumen que el reservorio presente (Winter, 2001).

Dentro de los reservorios magmáticos ocurren cambios estructurales, texturales, composicionales y mineralógicos. Los procesos encargados de generar estas variaciones son aquellos relacionados con procesos de diferenciación y diversificación magmática (Figura 1). El *crystal settling* es el mecanismo en el cual las especies minerales de una composición máfica, además de la plagioclasa cálcica, cristalizan primero y decantan al fondo del reservorio, lo que provoca que se generen cúmulos cristalinos de esta composición, mientras que hacia la región somera exista un mayor contenido de especies minerales félsicas, debido al empobrecimiento del fundido respecto al contenido de especies máficas. Esto genera una estratificación, en la que las capas de minerales de carácter máfico están bien diferenciadas de las de carácter félsico. Debido a procesos convectivos en conjunto con el *crystal settling*, se puede generar el crecimiento de capas o estratificación en las paredes, es decir, un crecimiento cristalino desde afuera hacia el centro del reservorio, quedando un centro o techo fundido más diferenciado (Winter, 2001).

Los procesos de mezcla de magmas implican la hibridación entre dos magmas y pueden ocurrir por la unión de dos reservorios magmáticos, automezcla convectiva o por asimilación magmática

en la que el magma funde los fragmentos de roca de caja que caen en él. Este último mecanismo provoca que la composición del magma cambie, además que la temperatura del reservorio se equilibre termodinámicamente de acuerdo con las características de ambos magmas. En el caso del *mingling*, o mezcla heterogénea de magmas asociada a diferencias reológicas como la viscosidad, densidad y temperatura, se originan morfologías como enclaves o diques sinplutónicos.

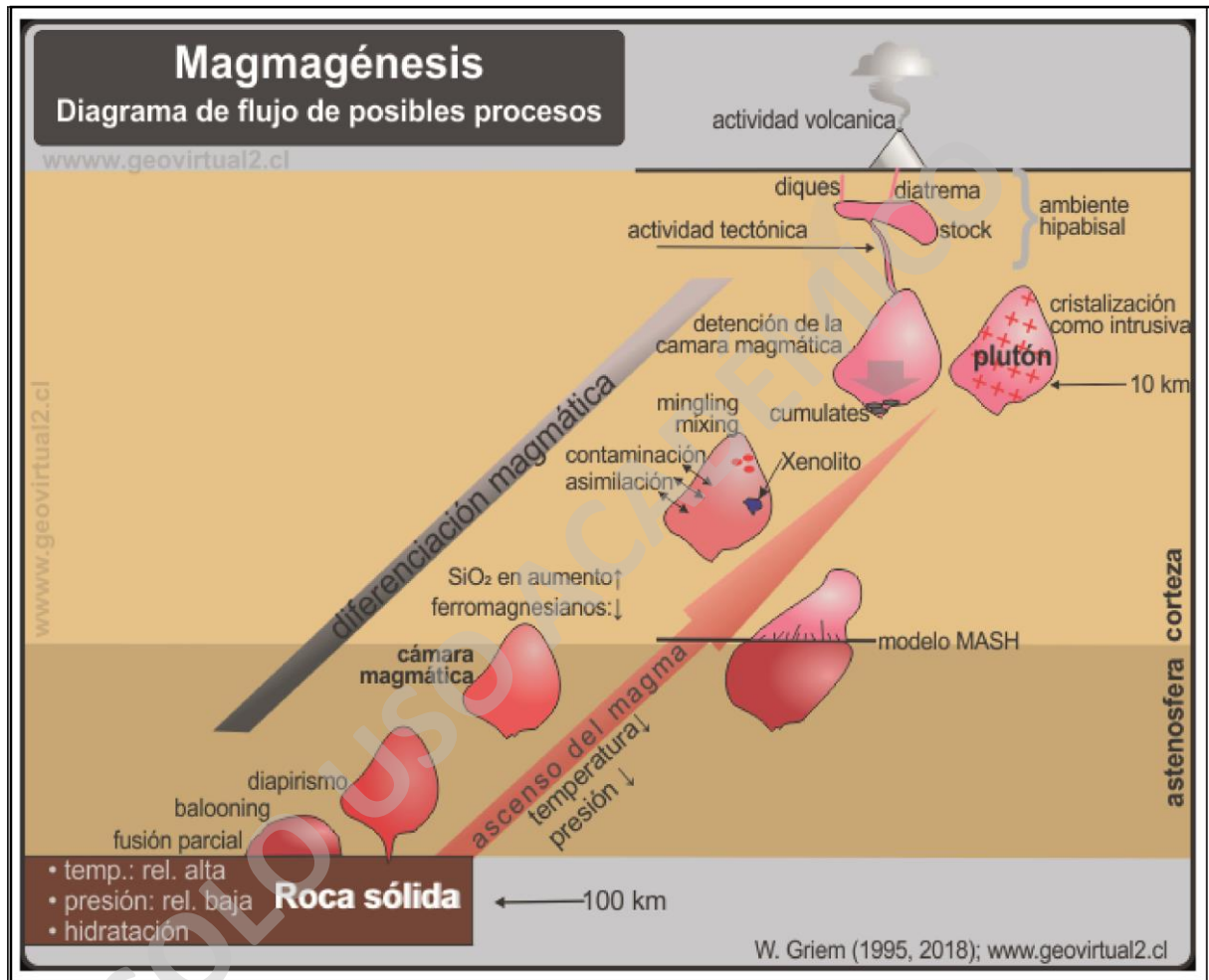


Figura 1. Procesos de diferenciación y ascenso magmático. Griem (2018).

1.1.2 Deformación registrada en cuerpos plutónicos.

La deformación presente en plutones puede estar registrada por ejemplo en la lineación y foliación de cristales, orientación preferencial de enclaves, fracturas o plegamientos de cristales, zonas de metamorfismo, diques, estratificaciones magmáticas, anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS), entre otras. La deformación puede provenir de dos principales procesos, (1) la

deformación generada por procesos netamente magmáticos asociados a la dinámica, diversificación magmática y los procesos convectivos del magma, así como también (2) debido a procesos de deformación regional y local de la corteza, asociada a fuerzas externas al reservorio.

Respecto a la deformación asociada de plutones Paterson et al., (1998) indica que el ascenso y posterior emplazamiento de los magmas no requiere necesariamente que durante la construcción de la cámara magmática exista una zona activa de extensión, asociada a deformación tectónica, ya que el magma puede avanzar por la corteza a través de zonas de debilidad, por ejemplo fallas, fracturas, o a medida que va fusionando parte de la corteza, generando una asimilación de ambos fundidos (cortical y magma). Cabe destacar que la intensidad de la fusión de la roca de caja dependerá del sustento y capacidad termal del magma, provocando que se generen “aureolas” en las que existirá una deformación de la roca de caja. Es decir, puede ocurrir deformación en los plutones asociada a procesos tectónicos compresivos, o únicamente a procesos mecánicos al interior del reservorio magmático y su posterior incidencia en la roca de caja, además esta deformación presentaría una mayor preferencia en zonas asociadas a debilidades (fallas, fracturas, etc...) por las que el magma ascendió y emplazo posteriormente.

1.2 Enclaves máficos y procesos magmáticos.

Los enclaves máficos corresponden a agregados minerales generalmente correspondientes a piroxeno, anfíbola, biotita y plagioclasa incluidos en rocas de composición intermedia a ácida (granodioritas, tonalitas, cuarzodioritas y similares). Su génesis se asocia a procesos de emplazamiento, ascenso y diferenciación magmática. Ejemplo de ello es la inyección de magma básico, de mayor temperatura, a un magma de composición ácida y menor temperatura (Hodge et al., 2012). Por equilibrio térmico, el magma básico se tiende a solidificar, provocando que fragmentos de composición básica queden suspendidos en el magma ácido. De acuerdo a Vernon (1983), respecto a su composición, estos siempre son más básicos que la roca ígnea que los alberga, producto de los contrastes reológicos entre un magma básico y un magma ácido durante la mezcla heterogénea (*mingling*). Presentan asociaciones mineralógicas similares a la roca que los alberga con una diferencia porcentual, los minerales máficos habituales en los enclaves máficos pueden variar composicionalmente dentro de un mismo plutón, lo que implica que pueden ser originados a partir de diferentes pulsos magmáticos o procesos de cristalización fraccionada.

1.2.1 Clasificación de enclaves.

Los enclaves máficos se pueden clasificar según diversos criterios, basados en aspectos mayormente petrográficos, los que van desde:

1) Origen del material que conforma el enclave:

- ❖ Fragmentos de rocas o xenolitos: Estos corresponden a fragmentos de roca inmersos en el fundido, la cual proviene de la interacción mecánica y termal del magma con la roca de caja. También pueden ser xenocristales, los cuales se fragmentan de las paredes del reservorio.
- ❖ Enclaves ígneos: Fragmentos redondeados a subredondeados de forma ovoide generados por el enfriamiento y posterior solidificación de un magma de composición básica. Estos pueden ser originados por cristalización fraccionada, *mingling*.
- ❖ Concentrados microgranulares: Minerales cristalizados tempranamente y reincorporados a un magma residual o tardío.

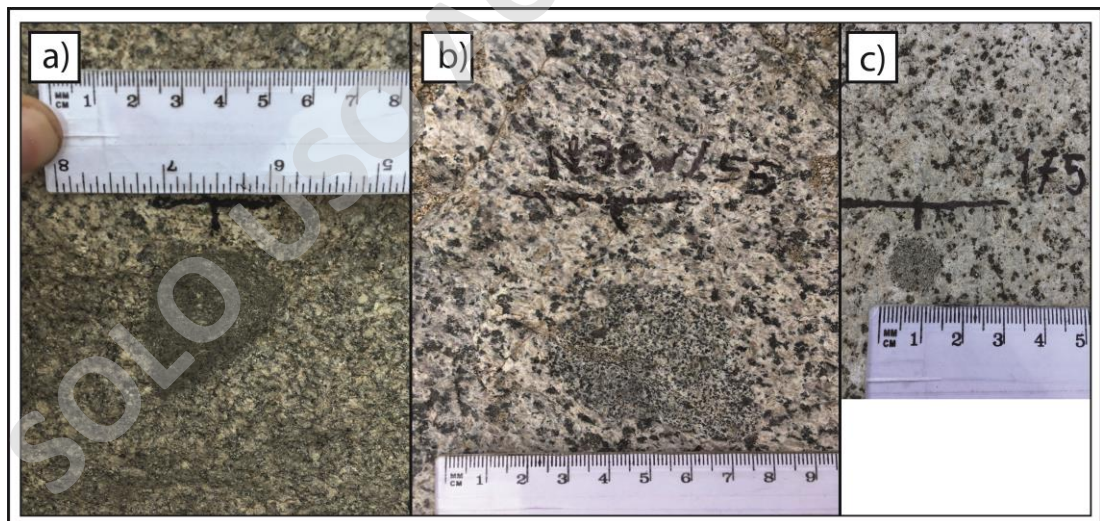


Figura 2. Tipos de enclave respecto al origen del material que lo conforma: a) Xenolito, b) enclave ígneo y c) Concentrado microgranular.

2) Morfología y tamaño:

- ❖ Presentan forma ovoidea, elipsoidal o circular, con bordes subredondeados a redondeados, angulares, con bordes dentados. En cuanto a tamaño son variables, y van desde algunos milímetros hasta metros.

- ❖ Estos pueden presentar grados de elongación. Los enclaves no siempre evidencian microestructuras de deformación, lo que implicaría que la elongación no siempre está relacionada a esfuerzos asociados a estructuras, sino que a una cinemática relativa de fundido y cristales (Vernon, 1983).
- ❖ De acuerdo con Vernon (1983), el grado de elongación se puede encontrar relacionado a la dirección del flujo durante la formación del plutón, o bien, a alguna deformación asociada a estructuras tectónicas (fallas, diaclasas, fracturas).

1.2.2 Génesis de los enclaves

Los enclaves máficos pueden ser originados por procesos de diferenciación magmática, como cristalización fraccionada, segregación de fundidos y fluidos, asimilación magmática y *mingling* (Vernon, (1983), Castro et al., (2008)).

Para explicar la génesis de los enclaves máficos se han diferenciado en aquellos procesos que ocurren por procesos externos en reacción con la cámara magmática y procesos internos de la cámara.

Modelos externos:

- 1) Inyecciones en forma de láminas básicas a lo largo de los pisos de los reservorios (Vernon, 1983).

Durante la génesis de un reservorio magmático de composición ácida, se genera la intrusión de una capa o lámina básica. La mezcla de ambos magmas no ocurre debido a las diferencias en composición (básica/ácida), densidad ($3,0 \text{ g/cm}^3$ (básico) y $2,2 \text{ g/cm}^3$ (ácido)) y viscosidad asociada al contenido de SiO_2 y cristales.

Los enclaves son generados por la interacción entre la parte ácida y básica. De modo que, cuando en la capa ácida ocurre convección, el movimiento genera el arrastre y transporte de agregados minerales máficos al fundido ácido, los cuales permanecen intactos debido a las diferencias reológicas y térmicas, (Figura 3).

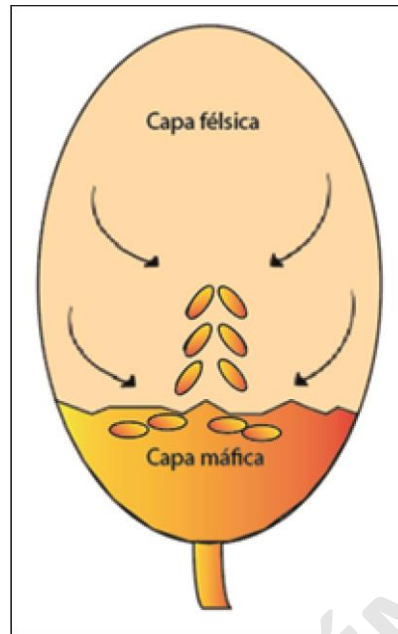


Figura 3. Esquema de una cámara magmática indicando la generación de enclaves (Vernon,1983).

2) Intrusión y separación de diques básicos en la cámara magmática (Frost y Mahood, 1987).

Durante la generación de reservorios magmáticos, pueden ocurrir inyecciones en forma de diques. Dependiendo del volumen de la intrusión y el grado de la cristalinidad del plutón, ocurren diferentes mecanismos, (Figura 4).

- a) Formación de enclaves debido a la intrusión de bajos volúmenes de magma básico: la convección en el reservorio ácido genera el transporte y arrastre de volúmenes de magma básico, originando enclaves.
- b) Intrusión de magma básico en un reservorio parcialmente cristalizado. Esta intrusión genera la formación de enclaves en las zonas internas del reservorio.
- c) Intrusión de magma básico en un reservorio cristalizado. Al ocurrir la intrusión de un magma básico a alta temperatura, genera la fusión de la roca ácida en las áreas circundantes de la intrusión, lo que genera enclaves de tamaño pequeño en un área localizada.
- d) Intrusión de diques básicos en un reservorio cristalizado. Los diques reaccionan con los fluidos intersticiales remanentes, generando una removilización e incorporación de fundido ácido.



Figura 4. Modelos que explican la formación de enclaves a partir de la intrusión de magma básico (Frost y Mahood, 1987): a) Intrusión de bajo volumen de magma básico, b) Intrusión de magma básico en un reservorio parcialmente cristalizado, c) Intrusión de magma y d) Intrusión de diques básicos en un reservorio cristalizado.

3) Inestabilidades gravitacionales (Castro et al., 2008).

En primera instancia se generan inyecciones básicas generando un reservorio. Posteriormente se produce la inyección de pulsos magmáticos diferenciados de composición ácida. Esta intrusión genera una cámara magmática de mayor volumen inversamente zonada. Esto provoca que el magma básico descienda por gravedad debido a que es más denso. Los enclaves son originados por el movimiento convectivo de la intrusión ácida sobre el reservorio básico (Figura 5).

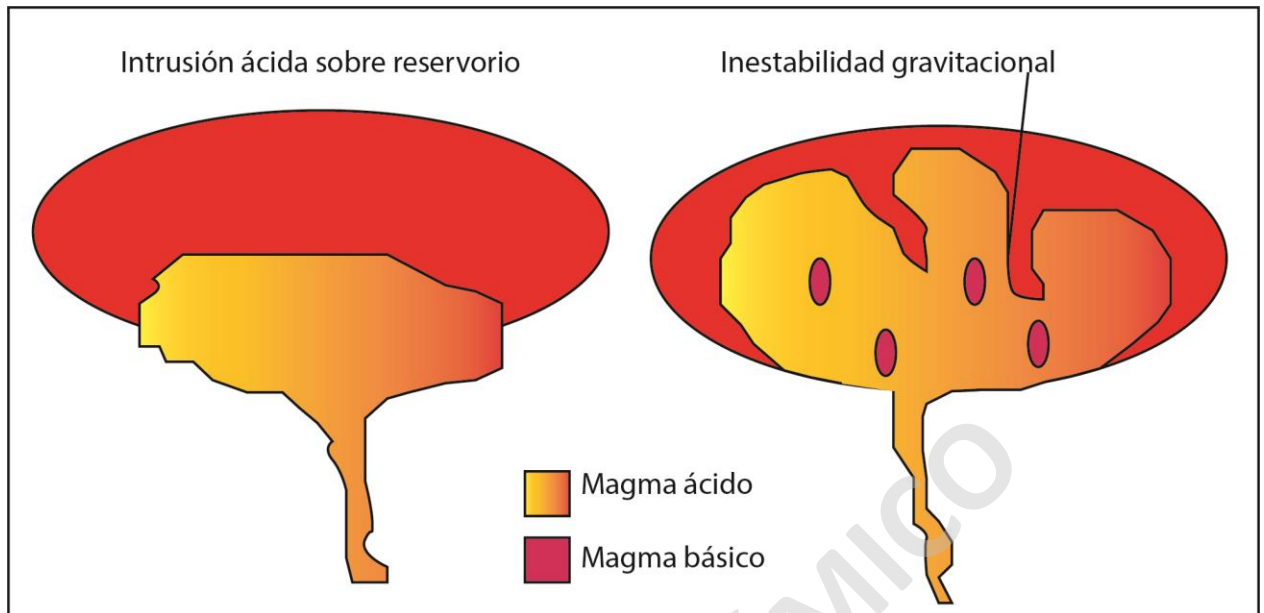


Figura 5. Inestabilidades gravitacionales (Castro et al., 2008) debido a la intrusión de origen ácido sobre un reservorio básico.

Modelos cogenéticos:

1) Material residual de la fuente (White y Chappel, 1977).

White y Chappell (1977) mencionan que los enclaves corresponden a “inclusiones microgranulares” originados por fundidos residuales que cristalizaron tardíamente, generando de este modo enclaves microgranulares compuestos en su mayoría por feldespatos potásicos

2) Modelo de autolito (Dodge y Kistler, 1990).

Modelo propuesto por Dodge y Kistler (1990), en el que se indica que los enclaves máficos son formados a partir de la cristalización fraccionada temprana de minerales máficos (anfíbol y biotita), los cuales precipitan del magma y posteriormente se concentran debido a propiedades mecánicas.

1.2.3 Antecedentes sobre la inferencia de procesos magmáticos y estructurales a partir de la cuantificación y distribución de enclaves máficos.

Una serie de procesos magmáticos descritos anteriormente se pueden determinar a partir de estudios consistentes en la caracterización y cuantificación petrográfica y estructural de enclaves

máficos granulares y microgranulares, En el caso de procesos petrogenéticos y deformativos del tipo magmático, Caricchi et al., (2012) determinaron el estilo de emplazamiento del complejo plutónico Lago Della Vacca, Italia, a partir de la deformación preservada en los enclaves máficos. Basado en esta caracterización se determinó que los enclaves máficos fueron generados producto de una mezcla heterogénea de magmas o *mingling*, En un estado inicial, los enclaves máficos presentaban una forma esferoidal, la cual producto de la inyección de múltiples pulsos magmáticos se deformaron debido a la dinámica interna en el reservorio, es por ello que presentan formas elipsoidales (Figura 6).

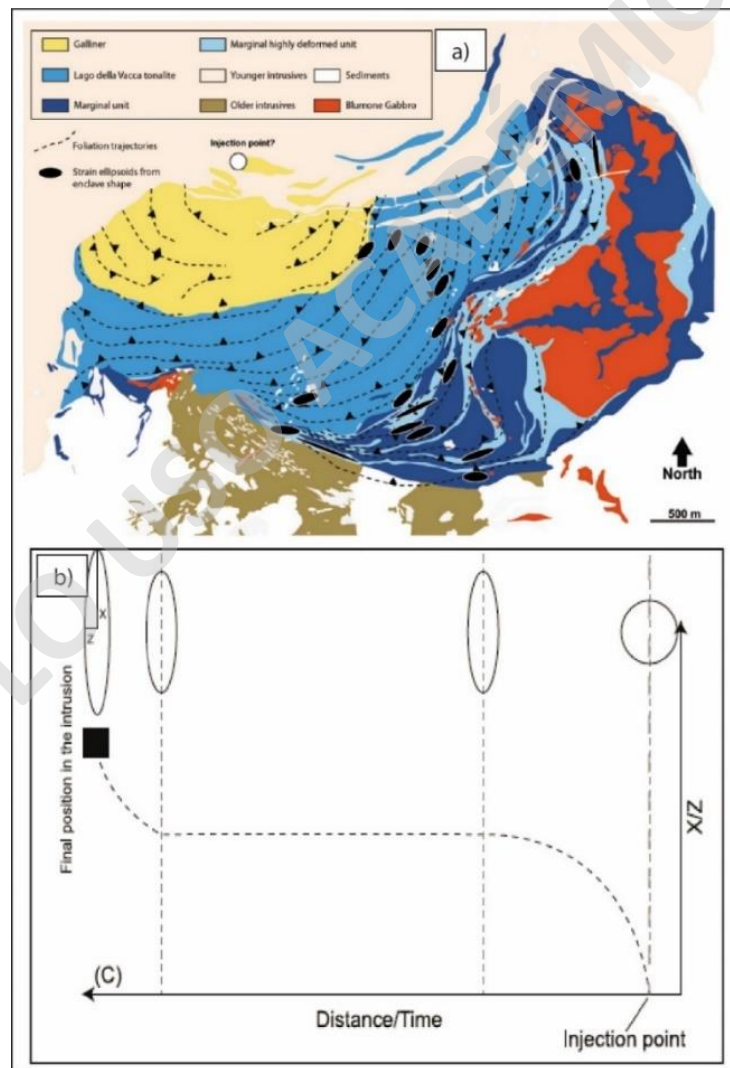


Figura 6. a) Zona de estudio complejo Lago della Vacca y sus respectivas unidades, b) Modelo en el cual se explica el estado inicial de un enclave máfico y como este se ve afectado por la inyección de pulsos magmáticos de origen ácido, (Caricchi et al., 2012).

Al igual que la publicación de Caricchi et al., (2012), Varas (2011) cuantificó y caracterizó los enclaves máficos del complejo plutónico Illapel, Chile, respecto a la petrografía, textura, índice de color, bordes de reacción, morfología, y orientaciones espaciales (Figura 7) con la finalidad de determinar las implicaciones petrogenéticas de los enclaves. Varas determinó que los magmas generadores de los enclaves ascendieron a través de fracturas, posteriormente debido a procesos de mezcla heterogénea entre magmas básicos y ácidos en conjunto a los procesos convectivos, los enclaves máficos fueron originados y distribuidos en las diferentes zonas del complejo plutónico.

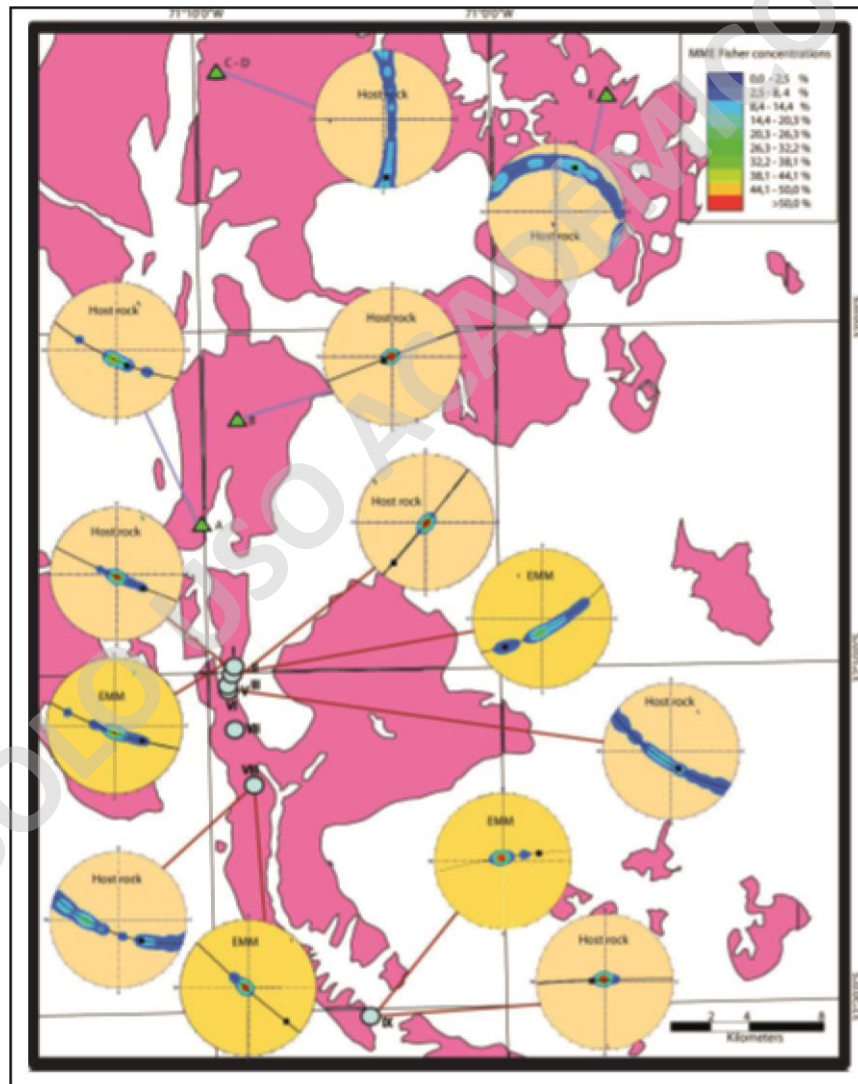


Figura 7. Proyección de la orientación y ubicación espacial de los enclaves máficos en el complejo plutónico Illapel. (Varas, 2011), los stereonet representan el rake de orientación de los enclaves respecto a la roca de caja

No obstante, en la publicación de Webber et al., (2015) determinó el tipo de deformación presente en los enclaves máficos del complejo plutónico Santo Domingo, Chile, a partir de la caracterización de la distribución y de la medición de estos respecto a los contactos con el complejo plutónico, a partir de las orientaciones y de los grados de deformación frágil y dúctil presente en los enclaves a nivel mesoscópico y microscópico se determinó que el tipo de deformación presente en los enclaves fue de origen tectónico asociado a esfuerzos del tipo extensivos y de cizalle (Figura 8), mientras que la génesis y distribución de estos fue producto de la mezcla heterogénea (mingling) entre magmas de composición básica y ácida asociados a procesos dinámicos en el reservorio.

Como se ha podido determinar existen dos tipos de deformaciones presentes en los enclaves: una de origen magmático propiamente tal, la cual es generada producto de los mecanismos internos dentro del reservorio (principalmente convección), y se encuentra evidenciada por la deformación sin afectar la foliación y lineación de los cristales a escalas mesoscópicas y microscópicas. Existe, además, una segunda deformación de origen estructural (externo al reservorio) en la que estructuras aledañas a un reservorio provocan deformaciones y fracturas en los enclaves máficos, cuya principal evidencia corresponde a fracturas en la morfología y los cristales de los enclaves, además, cambios en la lineación y foliación de los cristales a escala mesoscópica y microscópica.

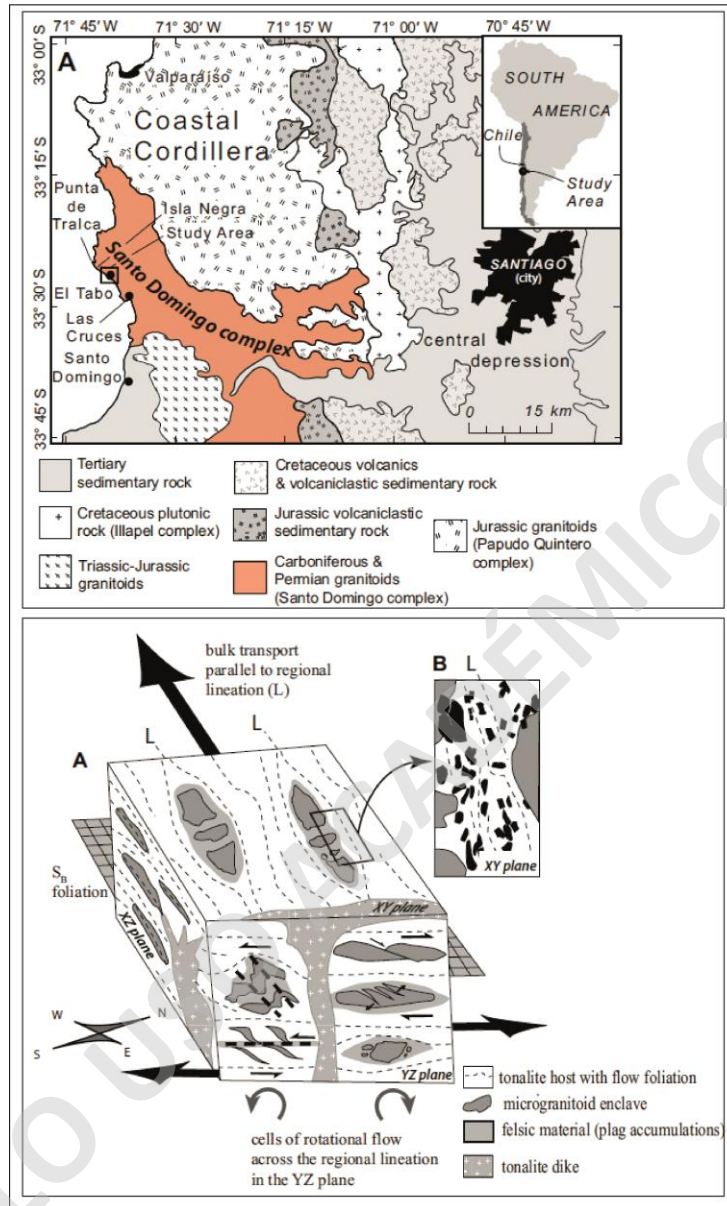


Figura 8. Ubicación del complejo plutónico Santo Domingo, Chile. Deformación de los enclaves máficos producto de esfuerzos asociados a tectónica, Webber et al., (2015).

1.3 ¿Por qué el Plutón San Gabriel?

Este estudio se enmarca en plutón San Gabriel, el cual presenta un buen estado de conservación, además de óptima exposición, lo que permite observar los bordes, techo y el área basal del intrusivo. De igual manera se conoce la litología del sector y el contexto tectónico en el cual el reservorio fue originado el cual corresponde a un contexto compresivo durante la inversión de la cuenca de Abanico y depositación sintectónica de la Fm. Farellones (Oligoceno Tardío al Mioceno

Superior) (Fock et al., 2006; Tapia, 2015; Alvarado, 2016). La caracterización y cuantificación de los enclaves máficos desarrollada durante esta investigación tiene como finalidad identificar si la deformación registrada por los enclaves corresponde a un proceso fluidodinámico propio de la dinámica convectiva interna del reservorio durante su construcción o es efecto de esfuerzos tectónicos transferidos hacia el interior de este.

1.4 Hipótesis.

En el estudio del plutón San Gabriel, los análisis petrográficos, cinemáticos y geoquímicos de enclaves máficos, permitirán evidenciar el comportamiento y dinámica del magma previo y posterior a su cristalización. Las hipótesis en las cuales el estudio se basa corresponden a: la acumulación, orientación y grado de elongación de enclaves, indicarían cambios en el dinamismo durante la fase fundida y posterior enfriamiento del plutón. Una segunda opción correspondería a la incidencia de las estructuras (fallas y pliegues) con rumbo NS presentes en el área ubicadas en los flancos Este y Oeste del plutón. El grado de elongación de enclaves y sus cambios en la fábrica cristalina podrían entregar evidencias si la deformación ocurrió durante la cristalización del reservorio en un estado dúctil o posteriormente por la acción de los esfuerzos generados por las estructuras.

1.5 Objetivos.

1.5.1 *General.*

El objetivo general de esta investigación es comprender el origen de la fábrica interna del Plutón a través del estudio de enclaves presentes en el plutón San Gabriel, mediante el análisis y cuantificación morfológica y petrográfica de los enclaves máficos. Se espera proponer un modelo conceptual que explique cómo se originaron los enclaves, a qué procesos se relacionan las variaciones composicionales de estos y cómo estos se relacionan con la deformación tectónica que operaba durante el emplazamiento del intrusivo.

1.5.2 Específicos.

- 1) Determinar las variaciones de las características petrológicas de los enclaves máficos dentro del plutón San Gabriel mediante la descripción macroscópica y microscópica (cortes transparentes) detallada.
- 2) Determinar la distribución espacial y orientación preferencial de enclaves máficos preservados en el plutón San Gabriel a partir de la observación y mediciones en terreno.
- 3) Estimar valores de *strain*, a partir de la orientación y elongación de los enclaves máficos y cómo esta se distribuyó en el interior del plutón.
- 4) Identificar el tipo de deformación que habría dado lugar a la orientación de enclaves máficos y determinar su temporalidad respecto al enfriamiento del intrusivo o a la incidencia de las estructuras.
- 5) Proponer un modelo conceptual que explique la génesis de la deformación registrada por los enclaves máficos y evaluar su rol en el emplazamiento y diferenciación del reservorio de magma que dio lugar al plutón San Gabriel.

1.6 Metodologías.

Previamente a la campaña de terreno se realizó la búsqueda de bibliografía y antecedentes respecto a la génesis de enclaves en reservorios magmáticos e información relevante de la zona de estudio.

1) Campaña de terreno: Esta campaña constó de 10 días efectivos de terreno. En este se llevó a cabo el reconocimiento del plutón en diferentes zonas y la medición de orientaciones de los enclaves. Dicha orientación fue obtenida midiendo el rumbo y manteo del plano que alberga a los enclaves máficos utilizando una brújula Brunton. Los datos recopilados en terreno fueron clasificados según la morfología, índice de color, dimensiones y relaciones de contacto y tipo de roca, con el fin de determinar patrones o relaciones directas entre las orientaciones de los enclaves y sus características petrográficas o morfológicas.

Con la finalidad de realizar la proyección de los enclaves desde dos a tres dimensiones se realizó la medición del rake que forma el eje máximo del enclave respecto al plano del afloramiento que lo contiene (este ángulo puede variar entre 0° y 180° en sentido horario). Este fue medido posteriormente mediante el procesamiento de fotografías obtenidas en terreno, mediante el software *Jmicrovision* (Figura 9).

Adicionalmente, Se efectuó una transecta de aproximadamente 10 km en las zonas en las cuales el plutón San Gabriel se encontraba aledaño a los caminos y senderos. Las muestras fueron recolectadas con un combo y una perforadora (utilizada en paleomagnetismo), con el fin de recolectar un testigo de sondaje de aproximadamente 30 mm de diámetro. Alrededor de 30 muestras fueron enviadas al taller para generar cortes transparentes pulidos para la observación petrográfica bajo microscopio óptico (luz transmitida).

2) Se realizó una caracterización y descripción petrográfica a escala de muestra de mano detallada de las muestras recolectadas correspondientes a enclaves máficos. La descripción detallada de cortes transparentes se efectuó mediante los microscopios de luz polarizados del Laboratorio de Geología de la Universidad Mayor. Con estas descripciones se determinó el tipo de roca, tamaño de grano, texturas presentes, fábrica cristalina y asociaciones mineralógicas.

3) Análisis modal: Con los datos recolectados correspondientes a las mediciones de las orientaciones de los enclaves, en conjunto con su descripción petrográfica, se generó una base de datos estadística en el programa *Microsoft Excel*, en la cual los enclaves fueron caracterizados y cuantificados respecto al índice de color, mineralogía, textura, composición y ubicación espacial.

4) Análisis de *strain*. Para realizar el análisis de *strain* en los enclaves, se debe definir su forma y tamaño en dos dimensiones para posteriormente realizar una proyección en 3 dimensiones y calcular el *strain* o deformación mediante el software *Ellipse fit*.

Cabe destacar que las metodologías serán detalladas en los capítulos 3 y 4 (resultados).

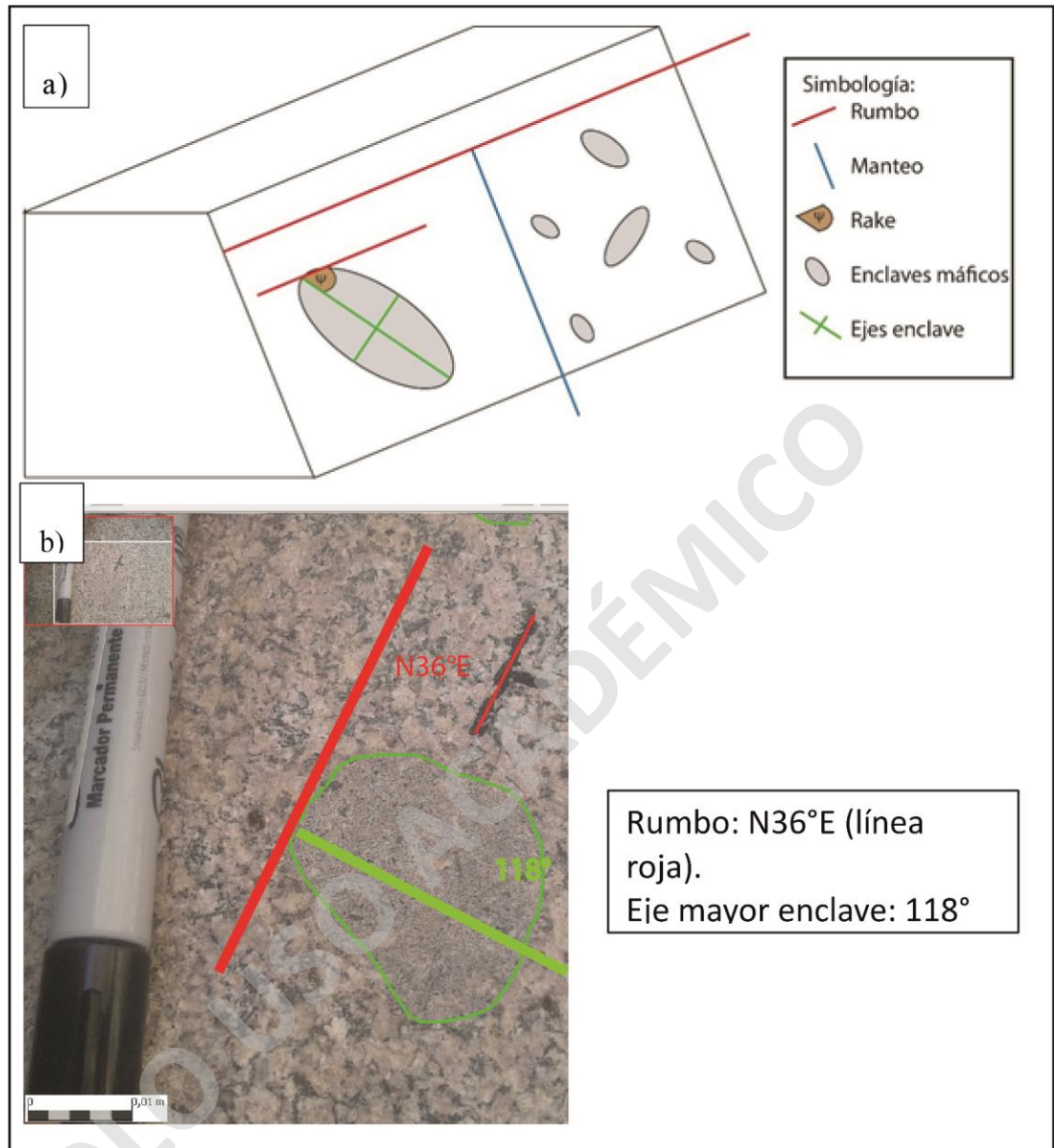


Figura 9. a) Esquema explicativo metodología para la medición de orientaciones de enclaves máficos, b) Cálculo del rake mediante el software JMicrovision.

1.7 Ubicación y vías de acceso.

El plutón San Gabriel se localiza en la comuna de San José de Maipo, provincia de Cordillera, región Metropolitana de Santiago de Chile. Está aproximadamente a 54,4 km al SE del centro de

Santiago. El acceso al área de estudio, desde Santiago y en vehículo, se realiza por el camino al Volcán, Embalse El Yeso y El Ingenio, (Figura 10).

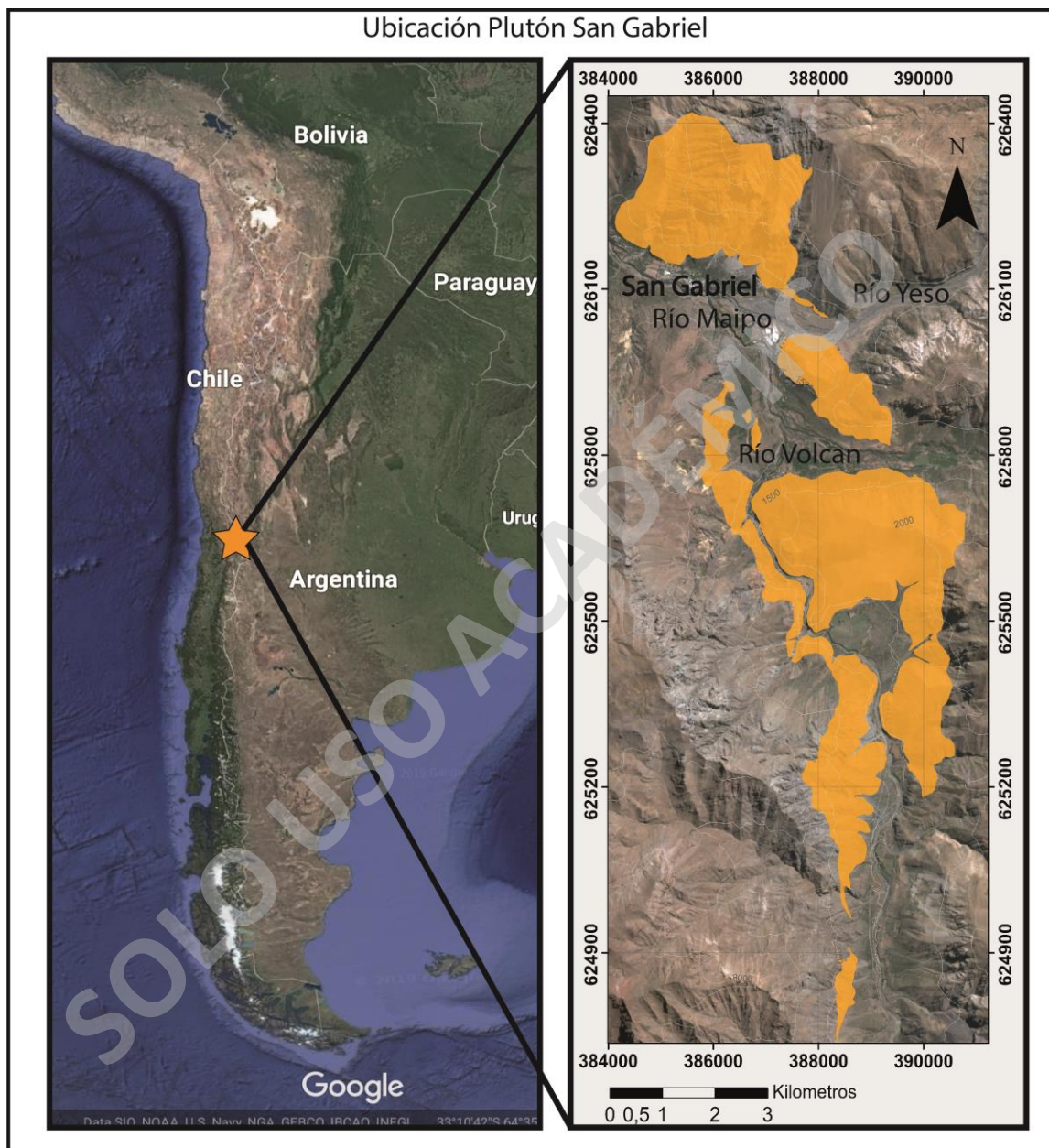


Figura 10. Ubicación plutón San Gabriel.

2 Antecedentes geológicos del Plutón San Gabriel.

2.1 Marco geodinámico.

La Cordillera de los Andes en Chile central es el producto de la interacción entre la actividad tectónica y magmática generada por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana a una tasa entre 6,5- 6,8 cm/año (Khazaradze et al, 2003, Maksymowics, 2015) (Figura 11). La formación de los Andes Centrales se remonta, al menos, desde el Carbonífero (Oliveros et al., 2019) hasta el presente, mediante un proceso de subducción del tipo placa oceánica-placa continental en el margen occidental (Ramos, 1989), (Figura 11). Hacia el norte de los Andes centrales de Chile, a partir de los 33°S, comienza la subducción del *ridge* de Juan Fernández. Debido a esto se genera un cambio en el ángulo de subducción, ausencia de volcanismo somero y engrosamiento cortical (Tapia, 2015). Hacia el sur de los 33°S ocurre un cambio en el rumbo de las estructuras y los cordones montañosos.

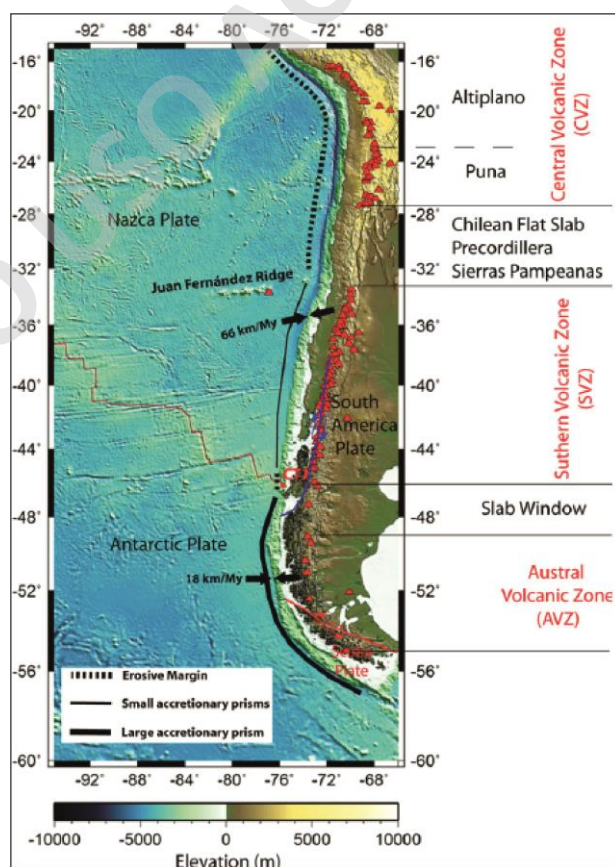


Figura 11. Configuración tectónica, tasas de subducción y segmentos tectónicos de Chile, Maksymowics, 2015.

2.2 Estratigrafía y evolución geológica.

La evolución geológica en las zonas aledañas donde el plutón San Gabriel se encuentra emplazado corresponde a etapas extensionales y compresionales que van desde el Eoceno hasta el Oligoceno Tardío, registrado en sucesiones de rocas sedimentarias y volcánicas y cuerpos intrusivos asociados, los cuales se hacen jóvenes hacia el este, debido a la migración del arco magmático.

Desde el Eoceno tardío hasta el Oligoceno tardío se desarrolló una cuenca extensional de intra-arco, denominada cuenca de Abanico, desarrollada durante un régimen extensivo y correspondería a un antearco en el cual ocurrió un adelgazamiento cortical (Cembrano et al., 2007; Armijo et al., 2010). Posteriormente esta cuenca fue rellenada por depósitos volcánicos y sedimentarios, originando así la formación Abanico, la cual presenta un espesor de aproximadamente 3.000 m (Tapia, 2015).

Durante el Oligoceno Tardío la cuenca de Abanico se comienza a invertir tectónicamente, debido a un régimen compresivo. Esto ocurre hasta el Mioceno Temprano (Godoy et al., 1999; Charrier et al., 2002; Fock et al. 2006; Tapia, 2015). Durante la fase temprana de la inversión ocurrió la deformación, afectando principalmente a los bordes de las cuencas, generando plegamientos y fallas inversas de alto ángulo (Fock et al., 2006). Esta generación de nuevas estructuras durante la inversión permitió que las rocas fueran depositadas en una nueva cuenca originando la formación Farellones, la cual presenta un espesor de 2.500 m, y se encuentra compuesta por lavas, tobas e ignimbritas intercaladas con brechas (Thiele, 1980). Las composiciones principales de estas rocas corresponden a riolitas y andesitas, cuya procedencia corresponde al arco magmático que fue migrando hacia el Este (Thiele, 1980). La formación Farellones sobreyace en discordancia a la formación Abanico (Figura 12).

Coetáneamente durante el origen de la formación Farellones se originaron múltiples estructuras correspondientes a fallas inversas y pliegues anticlinales y sinclinales con un rumbo aproximado NS (Villela, 2015). Posteriormente, durante el Mioceno Superior, ocurrió el ascenso y emplazamiento magmático a través de estas zonas debilitadas, dando así origen a cuerpos ígneos como los plutones La Obra, Mesón Alto, San Gabriel y La Gloria.

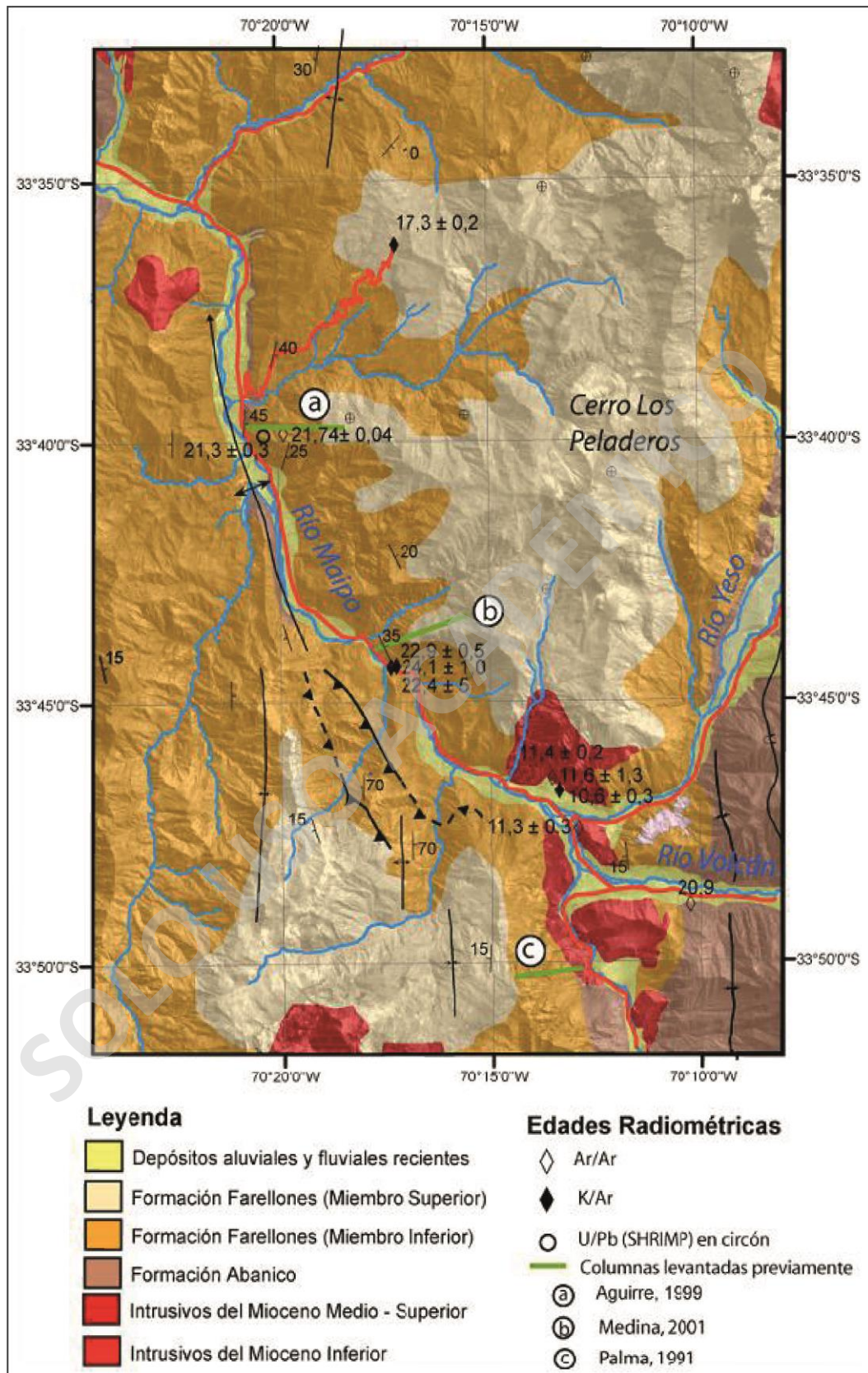


Figura 12. Mapa geológico zona de estudio. Extraído de Fock (2005).

2.3 Antecedentes petrológicos del Plutón San Gabriel.

El Plutón San Gabriel corresponde a uno de los intrusivos del Mioceno Superior (Thiele, 1980). Presenta una superficie areal expuesta de $\sim 40 \text{ km}^2$ con un largo de 12 km y 3 km de ancho, su techo se encuentra a 3.125 m.s.n.m, este cuerpo intrusivo presenta una forma prolata con una orientación preferencial N30W (Payácan et al., (en prep)), se encuentra ubicado en la confluencia de los ríos Volcán y Yeso y se encuentra intruyendo a las formaciones Abanico y Farellones (Fock et al., 2006) (Figura 13), además está en contacto por falla con la formación Abanico (Baeza, 1999). Este presenta una composición granodiorítica con un contenido promedio de 58% de SiO₂ (Deckart et al., 2010). A partir de dataciones Ar/Ar en biotita se determinó una edad entre los 11 – 13 Ma (Kurtz et al., 1997).

Kay et al., (2005) definieron este plutón como parte del Complejo Plutónico El Teniente, (Figura 14) el que, en conjunto con el plutón La Gloria, pertenecen a una franja de intrusivos de edad miocena emplazados en una dirección preferencial N-S. Se originaron durante el proceso de inversión de la cuenca de Abanico.



Figura 13. Contacto del plutón San Gabriel con la formación. Farellones de acuerdo a Fock (2005), cara oeste, este y norte del plutón.

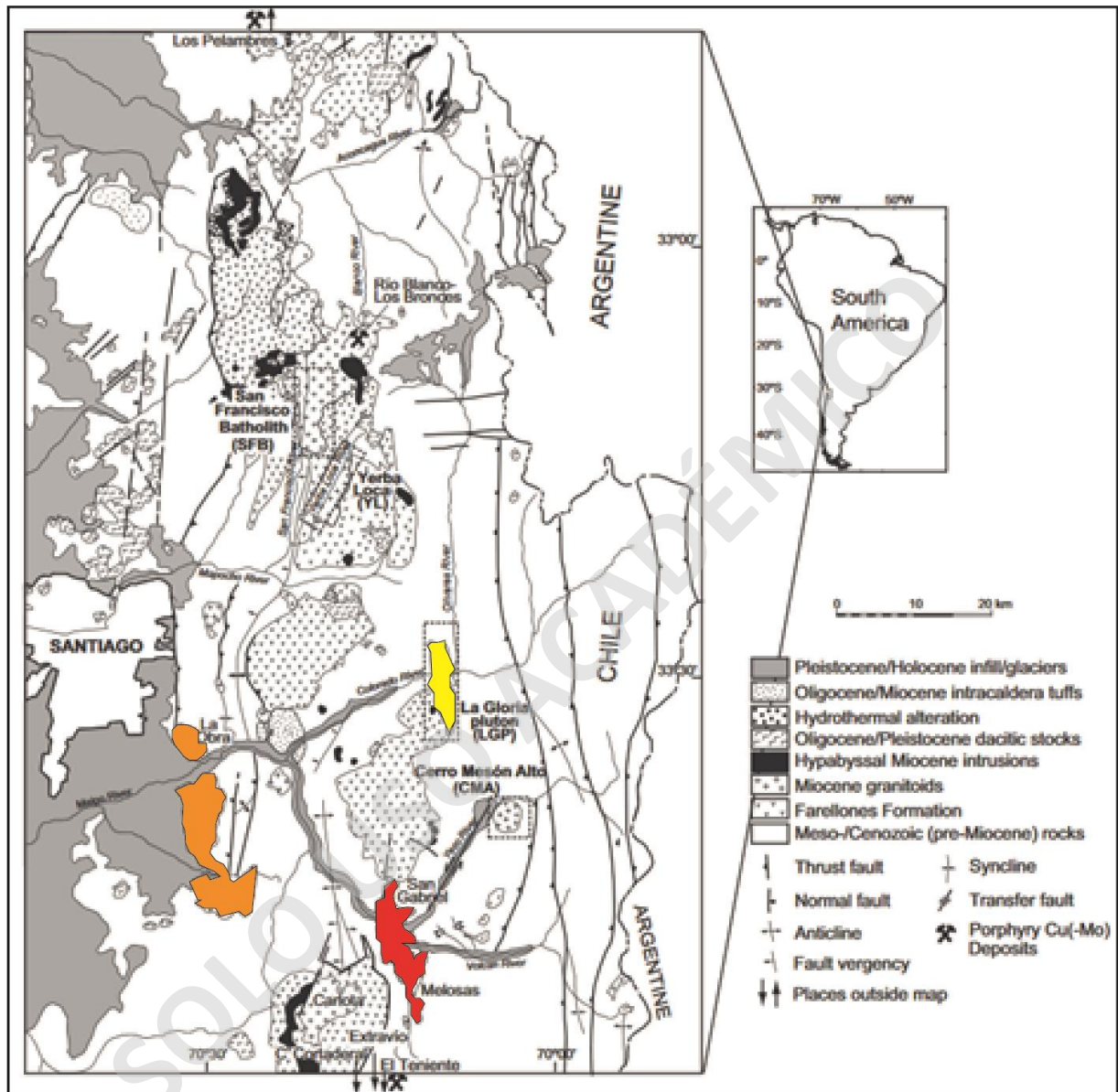


Figura 14. Complejo plutónico El Teniente, extraído de Kay et al., (2005). En colores se pueden observar los principales plutones en el área de estudio: plutón San Gabriel (rojo), batolito La Obra (naranja) y plutón La Gloria (amarillo).

2.4 Petrografía plutón San Gabriel

Estudios recientes en el plutón San Gabriel (Payácan et al., (en prep)) han determinado que este cuerpo ígneo presenta dominios magmáticos diferenciados por el contenido de minerales y el tamaño de grano (Figura 15):

Dominio principal

❖ Unidad interior (I)

Unidad de grano grueso (5 mm) y corresponde a una monzodiorita a cuarzo-monzogranito, compuesto por plagioclasa euhedral, feldespato potásico subhedral a anhedral, cuarzo anhedral con textura intersticial y hornblenda alterado a biotita y actinolita.

❖ Unidad (II)

Unidad de grano medio y corresponde a un cuarzo-monzogranito, compuesto por plagioclasa euhedral, feldespato potásico subhedral a anhedral y cuarzo anhedral con textura intersticial y minerales ferromagnesianos correspondientes a hornblenda alterada a biotita y actinolita.

❖ Unidad (III)

Unidad de grano fino (2 mm) y corresponde a un cuarzo-monzodiorita a cuarzo-monzogranito, compuesto por plagioclasa euhedral con textura seriada, feldespato potásico subhedral a anhedral y cuarzo anhedral y minerales ferromagnesianos correspondientes a hornblenda, biotita y actinolita.

Dominio medio

❖ Unidad (M)

Unidad cuarzo-monzodiorítica de grano grueso, esta unidad se encuentra localizada en la parte más alta del plutón en el norte, se encuentra compuesto por plagioclasa euhedral con textura seriada, feldespato potásico subhedral a anhedral y cuarzo anhedral con texturas cumuladas y minerales ferromagnesianos correspondientes a hornblenda, biotita, clinopiroxeno y óxidos de Fe rellenando intersticios.

Dominio basal

❖ Unidad (P)

Unidad monzogranítica de grano fino a medio, esta unidad se encuentra localizada en la parte basal del plutón, se encuentra compuesto por plagioclasa euhedral, feldespato potásico subhedral a anhedral con texturas poiquiliticas, cuarzo y minerales ferromagnesianos con texturas intersticiales.

Adicionalmente, en el Plutón San Gabriel se encuentran morfologías correspondientes a diques de grano fino graníticos a leucograníticos con la presencia de minerales ferromagnesianos, y enclaves máficos separados en dos grupos: los primeros presentan un tamaño centimétrico (< 14 cm) de grano fino a medio compuestos por anfibola y plagioclasa y el segundo grupo compuesto por enclaves máficos (<10 cm) de grano fino con texturas afaníticas a porfíricas compuestos por plagioclasa, y biotita.

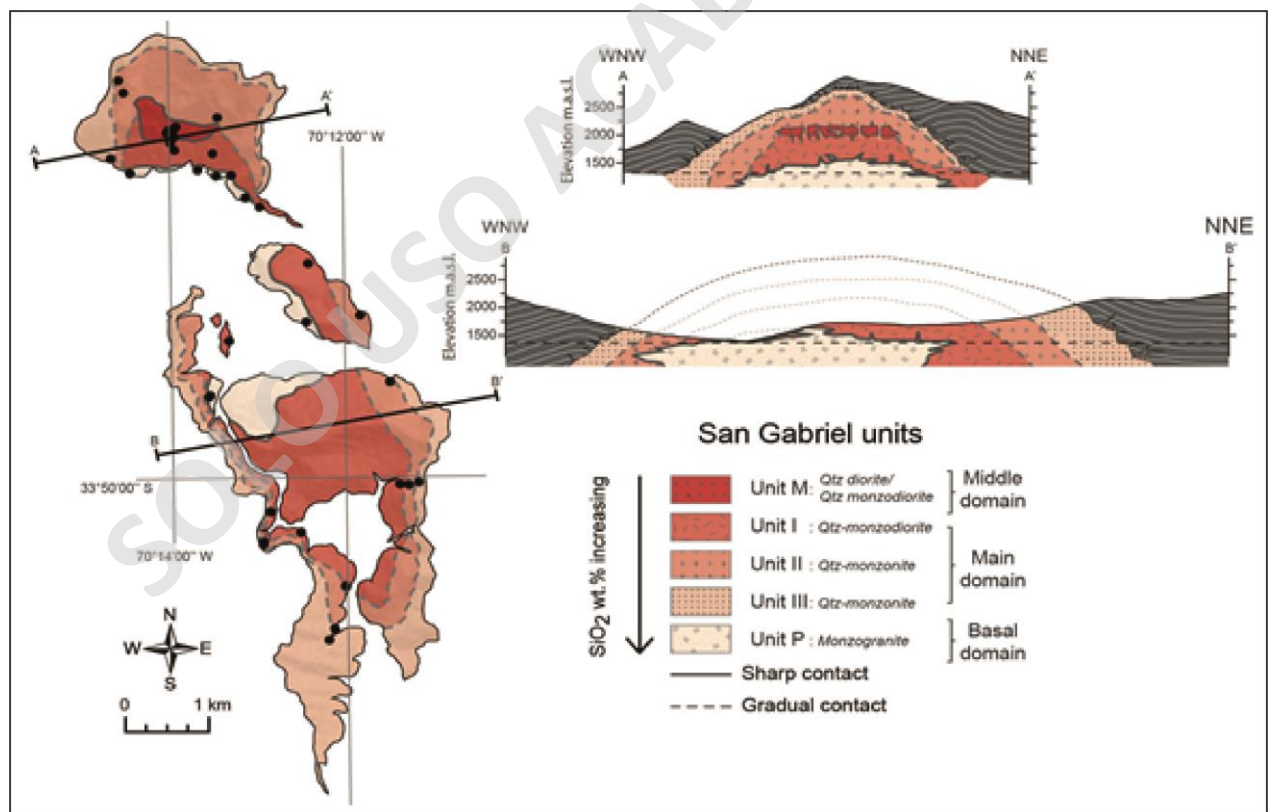


Figura 15. Unidades plutón San Gabriel, Payacán et al., (en prep) - Lithos.

3 Petrografía y composición de los enclaves máficos.

3.1 Introducción

En este capítulo se presentan las características petrográficas de los enclaves máficos presentes en el Plutón San Gabriel, consistentes en la composición mineralógica, morfológica y textural a mesoescala y microescala.

3.2 Metodología

Respecto a la petrografía de las muestras, estas se obtuvieron mediante la caracterización a macroescala de las muestras de mano. Posteriormente algunas de las muestras de mano fueron cortadas y pulidas en una forma similar un a un paralelepípedo, además se incluyó la caracterización a nivel microscópico de las muestras de mano y los testigos orientados, cabe destacar que las muestras observadas en microscopios corresponden cortes transparentes pulidos obtenidos en el taller de Rubén Espinoza ubicado en la comuna de Quinta Normal.

3.3 Puntos de muestreo

En el área de estudio a lo largo del plutón San Gabriel se realizaron mediciones y muestreos en 28 sectores, de los cuales un total de 24 sectores presentaban enclaves máficos (Tabla 1; Figura 16).

Cabe mencionar que no se accedió a las zonas superiores del plutón San Gabriel (Unidad M, zona norte).

Tabla 1. Posición de los puntos de muestreo, en amarillo aquellos sectores de muestreo en los que no se encuentran enclaves máficos.

Puntos muestreo	N UTM	E UTM	H msnm	Unidad Plutón San Gabriel
19SGI01	6261028	387211	1375	Unidad P
19SGI02	6261201	386831	1360	Unidad P
19SGI03	6261400	386537	1389	Unidad P

19SGI04	6261506	386432	1437	Unidad P
19SGI05	6261550	386415	1469	Unidad P
19SGI06	6261643	385827	1395	Unidad II
19SGI07	6259290	387615	1485	Unidad I
19SGI08	6259345	388111	1590	Unidad P
19SGI09	6260161	387885	1358	Unidad I
19SGI10	6259856	388337	1390	Unidad I
19SGI11	6259764	388145	1470	Unidad I
19SGI12	6252700	389269	1471	Roca de caja
19SGI13	6253772	389077	1457	Unidad I
19SGI14	6254852	387871	1430	Unidad I
19SGI15	6256653	386840	1381	Unidad I
19SGI16	6260919	387395	1373	Unidad II
19SGI17	6256893	386774	1385	Unidad I
19SGI18	6261751	384712	1296	Unidad III
19SGI19	6261751	384712	1460	Unidad I
19SGI20	6254790	387671	1461	Unidad I
19SGI21	6256856	386703	1386	Unidad I
19SGI22	6256970	386711	1402	Unidad I
19SGI23	6261515	385090	1280	Unidad P
19SGI24	6261048	387149	1369	Unidad II
19SGI25	6261933	384854	1380	Unidad III
19SGI26	6259189	388486	1450	Unidad I
19SGI27	6258736	388976	1640	Unidad II
19SGI28	6259625	388472	1413	Unidad II

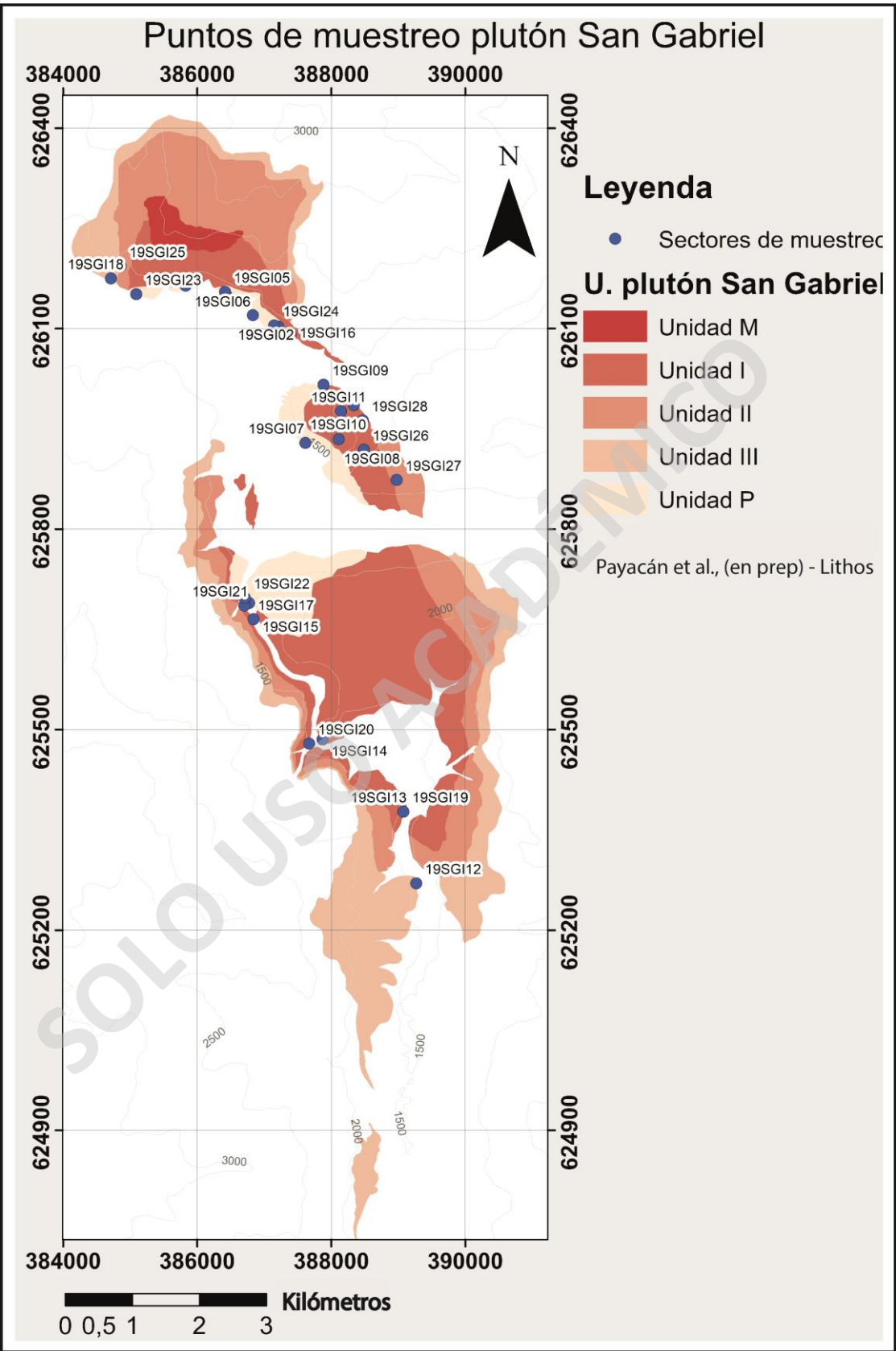


Figura 16. Sectores de muestreo plutón San Gabriel, respecto a las unidades definidas por Payacán et al (en prep) – Lithos.

3.4 Caracterización morfológica y petrográfica de los enclaves máficos

Los enclaves máficos observados en los puntos de muestreo se agruparon en 2 tipos mayoritarios de acuerdo a su composición, textura y tamaño de grano, se pudo representar la cantidad de los enclaves en el plutón San Gabriel para cada grupo definido, a partir de una gráfica (Figura 17). Los enclaves magmáticos cristalinos estos se encuentran preservados y distribuidos principalmente en la Unidad P y III del plutón San Gabriel, mientras que, los enclaves microcristalinos se encuentran preservados y distribuidos en la Unidad II del plutón San Gabriel (Figura 18).

Respecto a las relaciones entre el largo (cm) y el ancho (cm) de cada enclave medido, es decir, el aspecto (Figura 19), aproximadamente un 95% de los enclaves medidos presentan una anisotropía superior a 1, esto es indicativo que los enclaves máficos presentan algún grado de deformación, relacionado a procesos dinámicos al interior de un reservorio magmático (Vernon 1983) o a procesos estructurales (Vasallo et al., 2002).

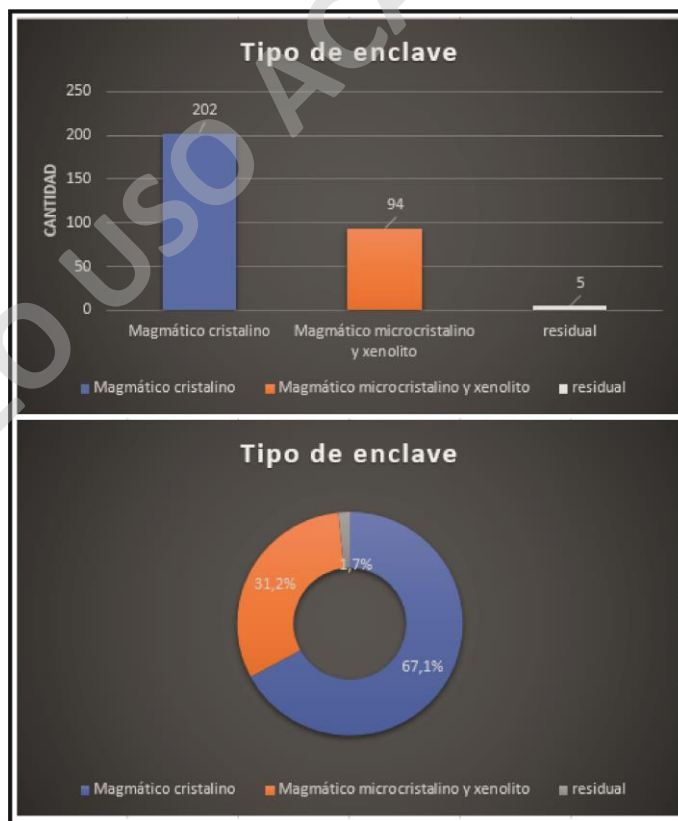


Figura 17. Gráfico de barra y circular que representan la frecuencia de cada tipo de enclave máfico en el área de estudio.

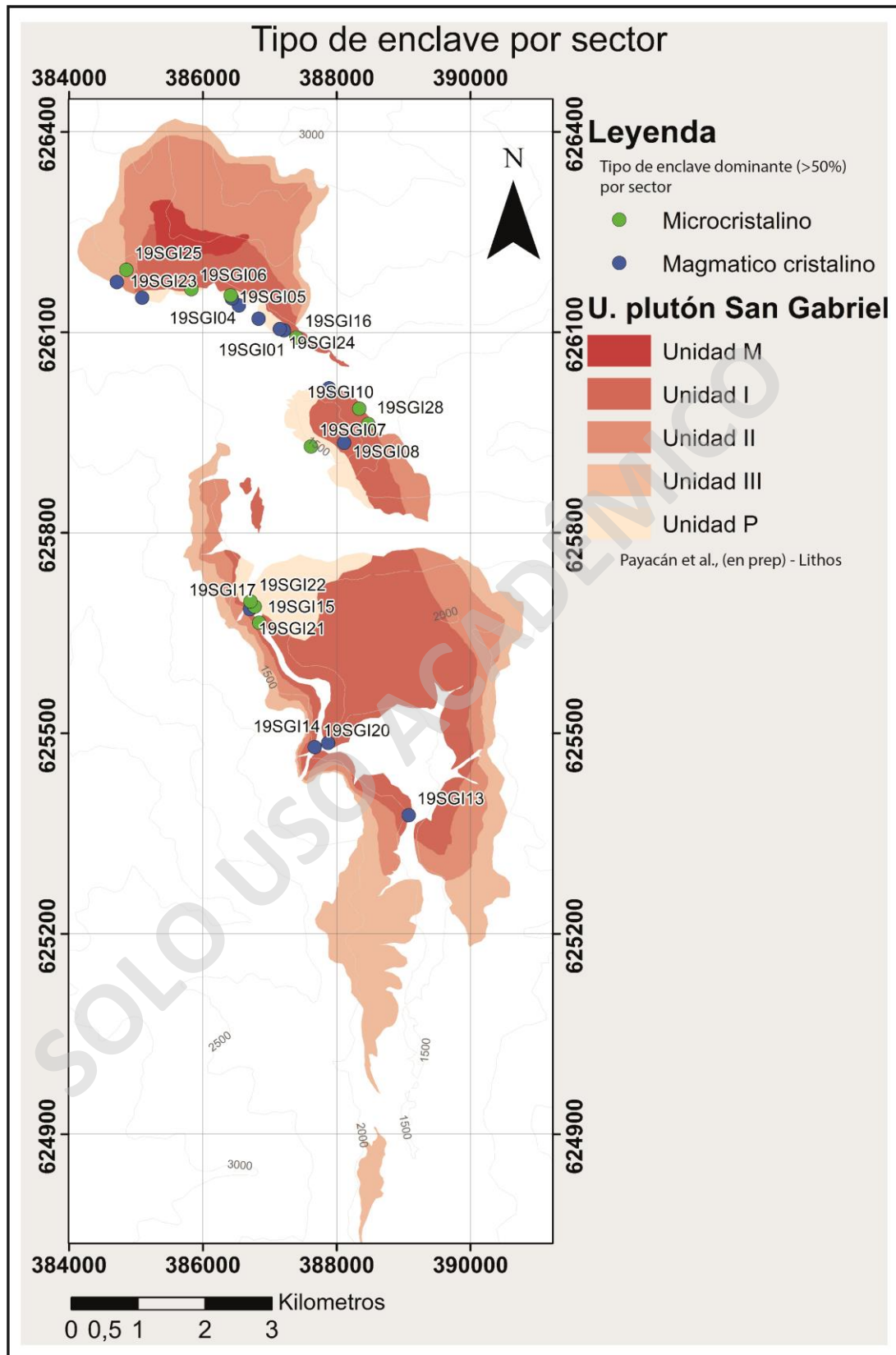


Figura 18. Tipos de enclaves máficos previamente descritos respecto a su predominancia por sector y su ubicación presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.).

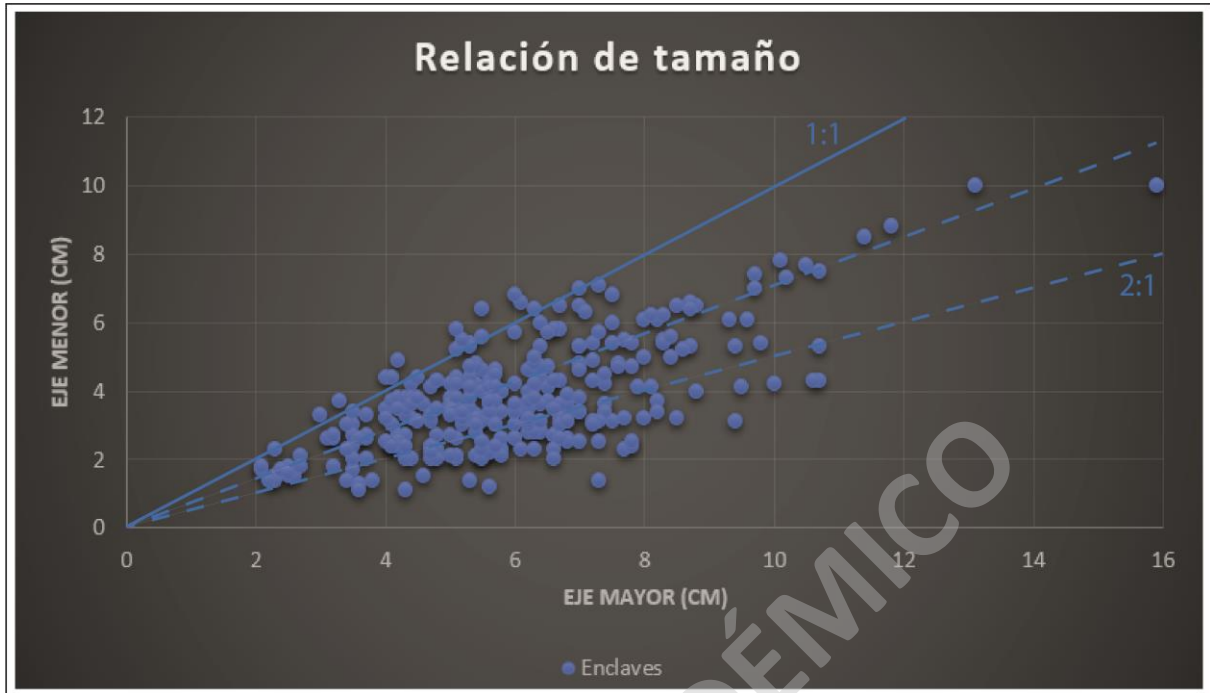


Figura 19. Relación de tamaño y tendencias de enclaves (eje mayor / eje menor (cm)).

❖ Enclaves magmáticos cristalinos

Morfología: Enclaves elipsoidales a circulares con bordes redondeados a subredondeados con un tamaño máximo de 15 cm.

Mineralogía modal: Este grupo de enclaves se ha podido definir respecto a su composición en: Dioritas, compuestas por plagioclasa (40-50%), anfibola (30-45%), biotita (<10%), piroxeno (10-15%) y cuarzo (<5%), estos presentan tamaños de grano grueso (5-30 mm), medio (2-5 mm) y fino (<2 mm). Cuarzo dioritas, las que se componen por plagioclasa (35-45%), anfibola (40%), biotita (10-15%) y cuarzo (0-10%), estos presentan tamaños de grano medio (2-5 mm) y fino (<2 mm).

Textura: A escala mesoscópica presentan texturas porfíricas respecto a la plagioclasa y minerales máficos, holocristalinas, con cristales de grano fino a medio. A escala microscópica se puede observar textura intergranular en las plagioclasas, además presenta zonaciones y maclas del tipo simple. Los piroxenos se encuentran en cúmulos, además algunas anfibolas y biotitas presentan bordes de reacción. Se presentan minerales secundarios como clorita y biotita secundaria reemplazando a la biotita, así como también se observa la presencia de opacos como inclusiones en biotita.

❖ Enclaves microcristalinos

Morfología: Enclaves elipsoidales, ovalados y circulares con bordes subangulosos a redondeados con un tamaño máximo de 13 cm.

Mineralogía modal: Este grupo de enclaves se ha podido definir respecto a su composición en: Cuarzo dioritas, compuestas por plagioclasa (30-45%), anfíbola (35 - 40%), biotita (10-15%) y cuarzo (0-10%), estos presentan tamaños de grano medio (2-5 mm) y fino (<2 mm). Tonalitas, compuestas por plagioclasa (30-40%), anfíbola (<45%), biotita (10%) y cuarzo (10%), estos presentan tamaños de grano medio (2-5 mm) y fino (<2 mm).

Texturas: A nivel macroscópico presentan texturas afaníticas, holocristalinas, con cristales de grano fino. A escala microscópica se puede observar textura intergranular en las plagioclasas, además presenta zonaciones y maclas del tipo simple y albita. Los piroxenos se encuentran en cúmulos, además algunas anfíbolas y biotitas presentan bordes de reacción, se presentan minerales secundarios como clorita y biotita secundaria reemplazando a la biotita.

Cabe mencionar que este grupo de enclaves presenta características petrográficas similares a la roca de caja (formaciones Farellones y Abanico) en lo que respecta a composición mineralógica y textural.

❖ Enclaves residuales

Enclaves circulares con un máximo de 5 cm, estos son de grano medio a grueso compuestos en su mayoría por turmalina y un bajo porcentaje de plagioclasa y cuarzo.

3.5 Sección delgada

De un total de 78 muestras recolectadas en terreno correspondientes a muestras de mano y testigos, 31 de estas fueron escogidas para confeccionar cortes transparentes pulidos, estas posteriormente fueron analizadas en el microscopio Nikon del laboratorio de microscopios de la Universidad Mayor. Dentro de estas se pudieron identificar minerales primarios, accesorios y texturas de los enclaves máficos.

3.5.1 *Minerales primarios*

Los minerales presentes en cada grupo de enclaves previamente definidos son generalmente similares para ambos grupos, en el caso de la plagioclasa existe una diferencia la cual se encuentra descrita.

❖ Plagioclasas

Las plagioclasas presentes en los enclaves máficos en general presentan un tamaño entre los 0,25 y 1 mm, y en muestras específicas algunas plagioclasas llegan a los 3 mm (Figura 20 a), esta diferencia de “familias” de tamaños se aprecia principalmente en las muestras correspondientes a los enclaves magmáticos cristalinos. Respecto a la forma, los cristales son subhedrales a anhedrales, estos presentan maclas del tipo simple y polisintéticas, además en algunos presentan zonaciones.

❖ Cuarzo

Solo se ha podido observar cuarzo en la muestra (19SGI0202), con tamaños inferiores al 0,1 mm. Estos son subhedrales a anhedrales y se encuentran “rodeando” a las plagioclasas y algunas anfíbolas (Figura 20 a y g) .

❖ Anfíbola

Las anfíbolas presentes en los enclaves máficos presentan dos poblaciones de tamaño, una entre los 0,05 y 0,3 mm (Figura 20 h) y la segunda de mayor tamaño, entre 1 y 2 mm. Respecto a su forma, los cristales principalmente son anhedrales y en los bordes se encuentran alterados a clorita y reemplazados por biotita (Figura 20 h).

❖ Biotita

En el total de las muestras analizadas, las biotitas se encuentran en un bajo porcentaje (<10%) respecto a los demás minerales máficos observados. Estas presentan un tamaño entre los 0,2 y 0,4 mm, estos son anhedrales y presentan inclusiones de minerales opacos (Figura 20 g).

❖ Piroxeno

Los piroxenos presentes en los enclaves se encuentran en un bajo porcentaje (<15%) respecto a la plagioclasa, presentan un tamaño inferior a los 0,3 mm, Estos presentan formas subhedrales y en su mayoría se encuentran formando cúmulos (Figura 20 h).

3.5.2 *Minerales secundarios*

❖ Clorita

La clorita presente en algunas muestras, se encuentran como mineral secundario producto de la alteración de la anfíbola y biotita, estas presentan un tamaño entre los 0,1 y 0,3 mm y presentan forma anhedral.

❖ Epidota

Este mineral se encuentra presente en muy pocas muestras, este presenta un tamaño <0,1 mm y tienen forma subhedrales.

❖ Opacos

Estos minerales presentan tamaños <0,05 mm, presentan bordes angulosos y se encuentran inmersos en forma de inclusiones en anfíbola, plagioclasa y biotita.

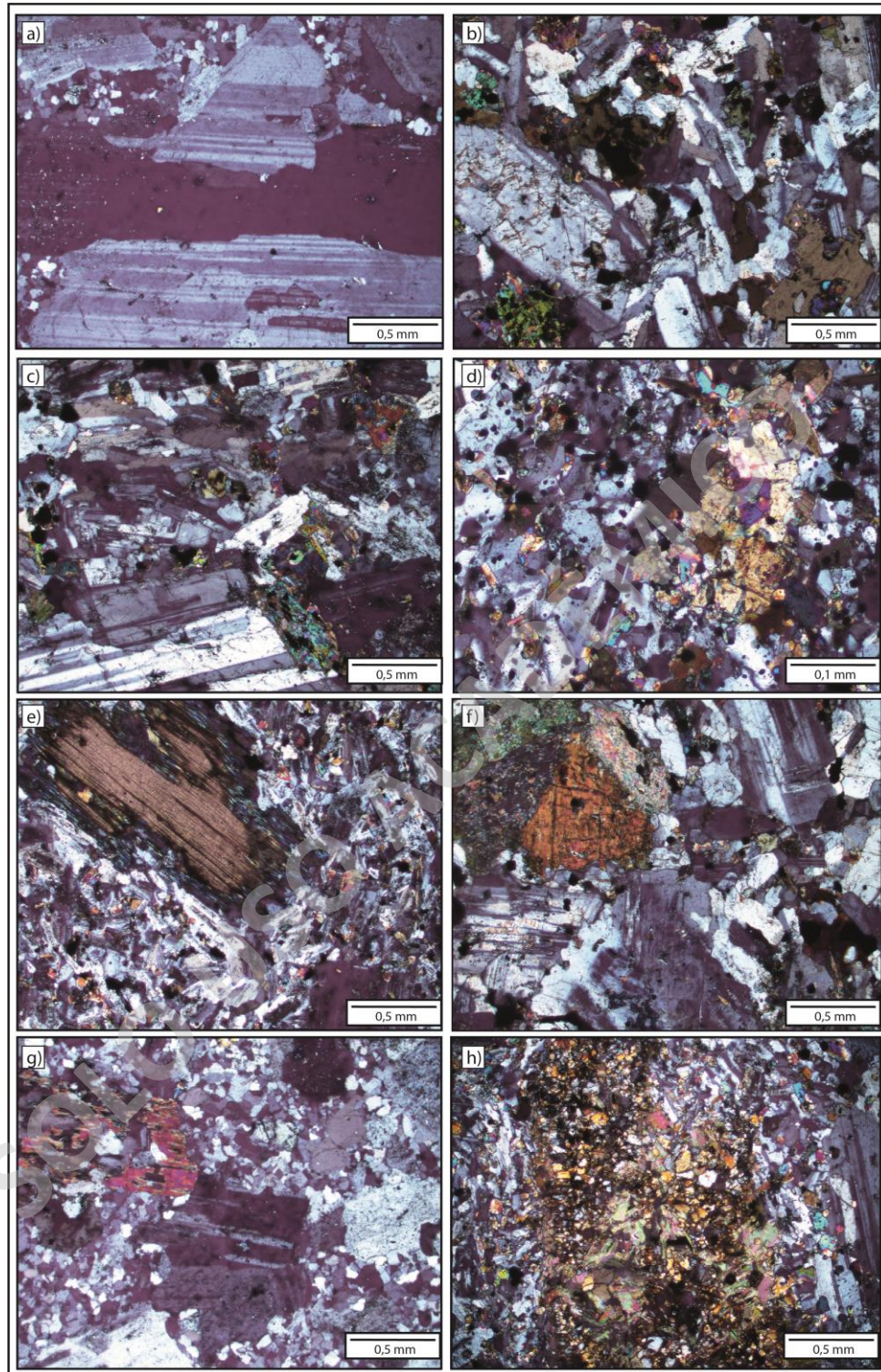


Figura 20. a) 19SGI0202, nic x, 4x. Cristal de plagioclasa de 3 mm con macla simple con cristales de cuarzo (<0,1mm).
 b y c) 19SGI1002, nic x, 4x. Diorita con textura intergranular con presencia de plagioclasa, anfíbola y biotita.
 d) 19SGI2201, nic x, 20x. Plagioclasas con presencia de maclas simples y polisintéticas y presencia de cúmulos de anfíbola.
 e) 19SGI0101, nic x, 4x. Cristal de anfíbola alterado a clorita, muestra con textura intergranular(plagioclasas).
 f) 19SGI0601, nic x, 4x. Cristales de plagioclasa de gran tamaño, en la parte superior se observan cristales de anfíbola alterados.
 g) 19SGI0202, nic x, 4x. Cristal de anfíbola reemplazado por biotita. h) 19SGI0301, nic x,4x cumulo de cristales de piroxeno inmersos en cristales de plagioclasas.

4 Distribución espacial y orientación preferencial de enclaves máficos.

4.1 Introducción.

En este capítulo se presentan los resultados de forma y orientación preferencial de los enclaves máficos en el plutón San Gabriel. En una primera etapa se comienza explicando en detalle la metodología utilizada para la medición de los enclaves en 2 dimensiones y la construcción de los elipsoides de anisotropía. Posteriormente se presentan los resultados correspondientes a la distribución, orientación y parámetros de forma de los enclaves máficos en 2D y 3D.

4.2 Metodologías

Campana de terreno:

La distribución y orientación de los enclaves fue determinada a partir de la medición del rumbo y manto (dip/dip direction) de los planos que albergan a estos. En total se realizó la medición de 28 sectores, los cuales se encontraban ubicados en áreas aledañas a caminos y senderos. Para cada medición de enclaves se determinó el tamaño de los ejes de mayor y menor longitud, además estos fueron clasificados de acuerdo a: 1) la forma y sus bordes si estos eran ovalados, elipses o circulares con bordes angulosos, subredondeados o redondeados, 2) índice de color si estos eran grises, gris claro o gris oscuro y 3) las características texturales de estos si eran cristalinos o microcristalinos (Figura 21). En cada sitio de muestreo se obtuvieron fotografías de los enclaves, en las cuales se indica la orientación del plano que contiene a cada uno de los enclaves.

En la mayoría de los sectores de muestreo se intento medir la mayor cantidad de enclaves por plano, con la finalidad de minimizar los errores generados, en promedio se midieron aproximadamente entre 10 a 15 enclaves por cada sector de muestreo.

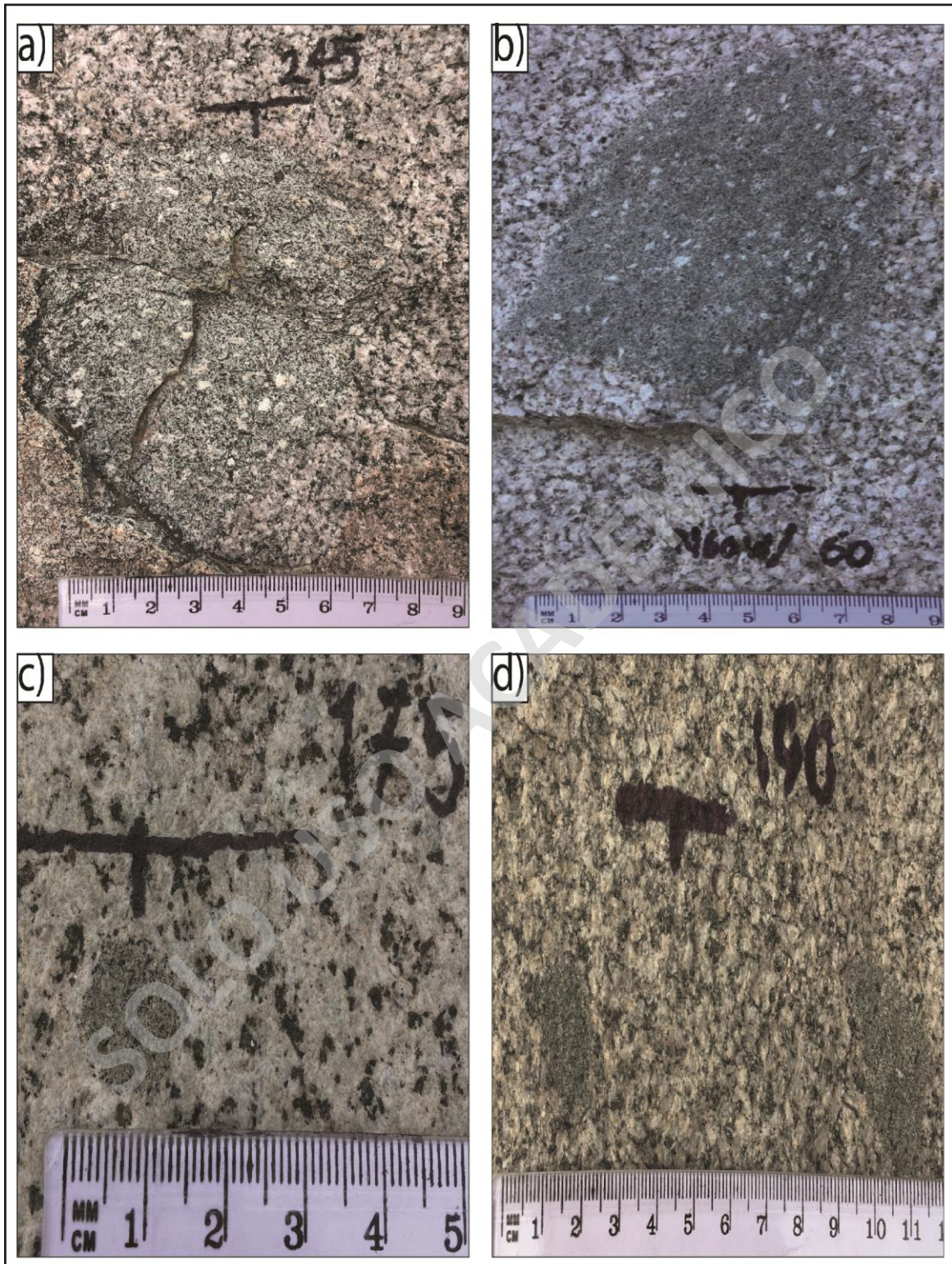


Figura 21. Enclaves máficos observados en terreno: a y b) enclaves ovalados cristalinos oscuros, c) enclave máfico circular microcristalino y d) enclaves máficos microcristalinos elipsoidales.

Cálculo de la orientación preferencial en 2D:

En primera instancia se realizó el cálculo del rake, el cual consiste en el cálculo del ángulo ubicado entre el eje de mayor longitud del enclave y el rumbo del plano (sentido horario) en el cual se encuentra el enclave. Esta medición fue realizada mediante la utilización del software *JMicrovision* (Figura 22) con la finalidad de mejorar la logística durante la campaña de terreno. En adición a la medición de enclaves se integraron los datos correspondientes a mediciones y características a una base de datos estadística en la que además se llevó a cabo el cálculo de la relación de aspecto entre los ejes del enclave.

Posteriormente con la finalidad de determinar la distribución y proyección de los enclaves en el espacio, se ingresaron los datos al software *Ellipsefit*, permitiendo determinar la forma, distribución y orientación de los enclaves en el espacio.

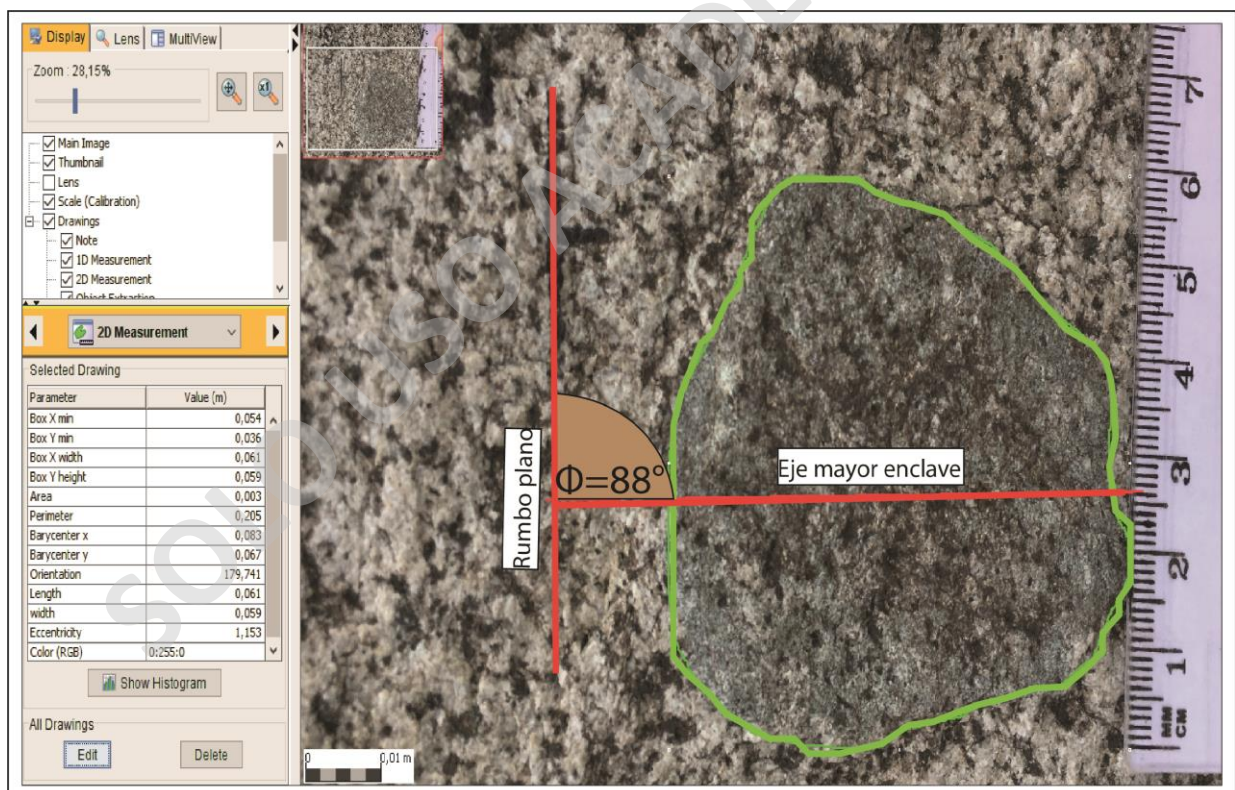


Figura 22. Cálculo del rake mediante el software JMicrovision.

Cálculo de elipsoides de anisotropía basados en la orientación y forma (3D).

Con el procesamiento del *software Ellipsefit*, se pudo determinar la forma y orientación preferencial en 3 dimensiones de los enclaves máficos utilizando los datos en 2D previamente definidos, este corresponde al cálculo de un elipsoide representado por 3 ejes principales: eje mayor (X), eje intermedio (Y) y eje menor (Z). Al utilizar este *software*, el cálculo de elipsoides se puede basar en alguno de los siguientes métodos analíticos derivados del método de Owens (1984): (1) el método de Robin (2002) distingue 2 casos, en el primer caso realiza el cálculo del elipsoide a partir de una ecuación lineal con 6 parámetros (eje mayor, eje menor, razón eje mayor/ menor, rumbo, manteo y rake), en el caso 2 los parámetros de los elipsoides son calculados a partir de los radios de los ejes axiales y un ángulo representado por el rake (2) el método de Shan (2008) es similar en teoría al método de Robin (2002) pero tiene un mayor alcance, ya que incorpora los ejes de los elipsoides, lineación y foliación. En este trabajo se opta por el método de Shan (2008), ya que al utilizar una mayor cantidad de parámetros incluyendo a la lineación, esto reducirá el porcentaje de error. Como se puede observar, ambos métodos analíticos difieren en la característica del elipsoide resultante. Por ejemplo, en el gráfico de Flinn indica que según el método de Robin (2002) la foliación es mayor que la lineación, mientras que en el método de Shan (2008) la foliación es similar a la lineación, respecto al gráfico de Nadai donde se calcula la forma de los elipsoides también existe una diferencia, ya que según el método de Robin (2002) indica que el elipsoide tiene una forma oblata, mientras que según el método de Shan (2008) indicaría una forma triaxial. Debido a estas grandes diferencias, en este trabajo el método utilizado será el método de Shan, ya que disminuye el porcentaje de error al utilizar una mayor cantidad de parámetros (Figura 23).

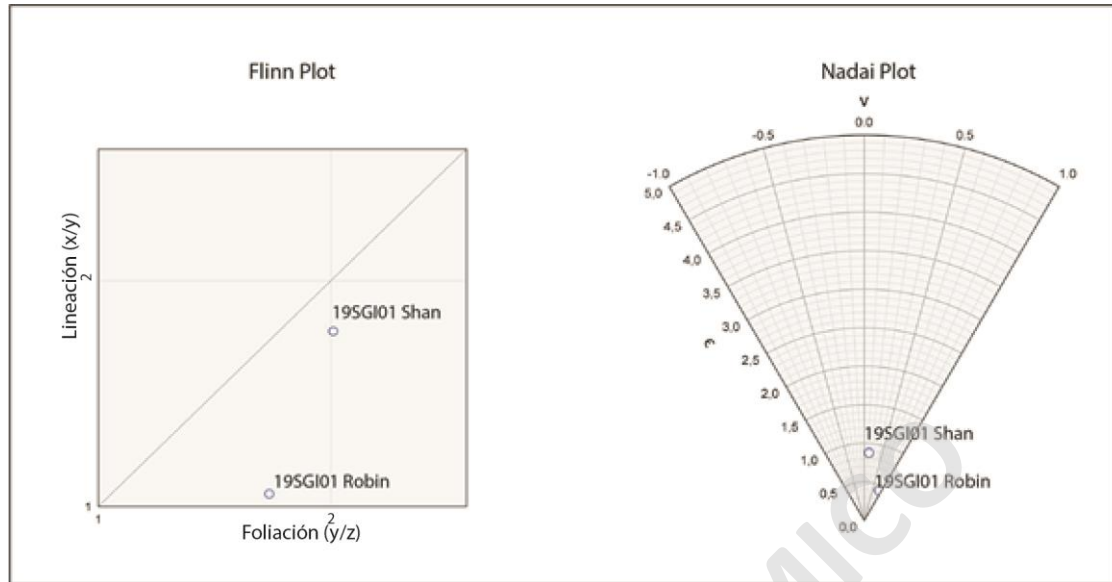


Figura 23. Variaciones de los métodos analíticos de Robin y Shan para determinar la orientación y forma de los enclaves máficos para el sector 19SGI01, a la izquierda gráfico de Flinn (escala logarítmica), a la derecha gráfico de Nadai.

4.3 Distribución espacial de los enclaves máficos.

Los enclaves previamente agrupados (Petrografía y composición de los enclaves máficos.) se encuentran distribuidos, 1) los enclaves magmáticos cristalinos se concentran principalmente en las unidades P, III y en menor medida en la unidad I del plutón San Gabriel (Payacán et al., (en prep)). 2) los enclaves microcristalinos se concentran principalmente en las unidades más cercanas a los bordes del plutón, es decir, la unidad I y II, 3) los enclaves residuales son los que presentan una menor concentración y solo se encuentran en los sectores 21 y 22 (Figura 24 y Figura 25).

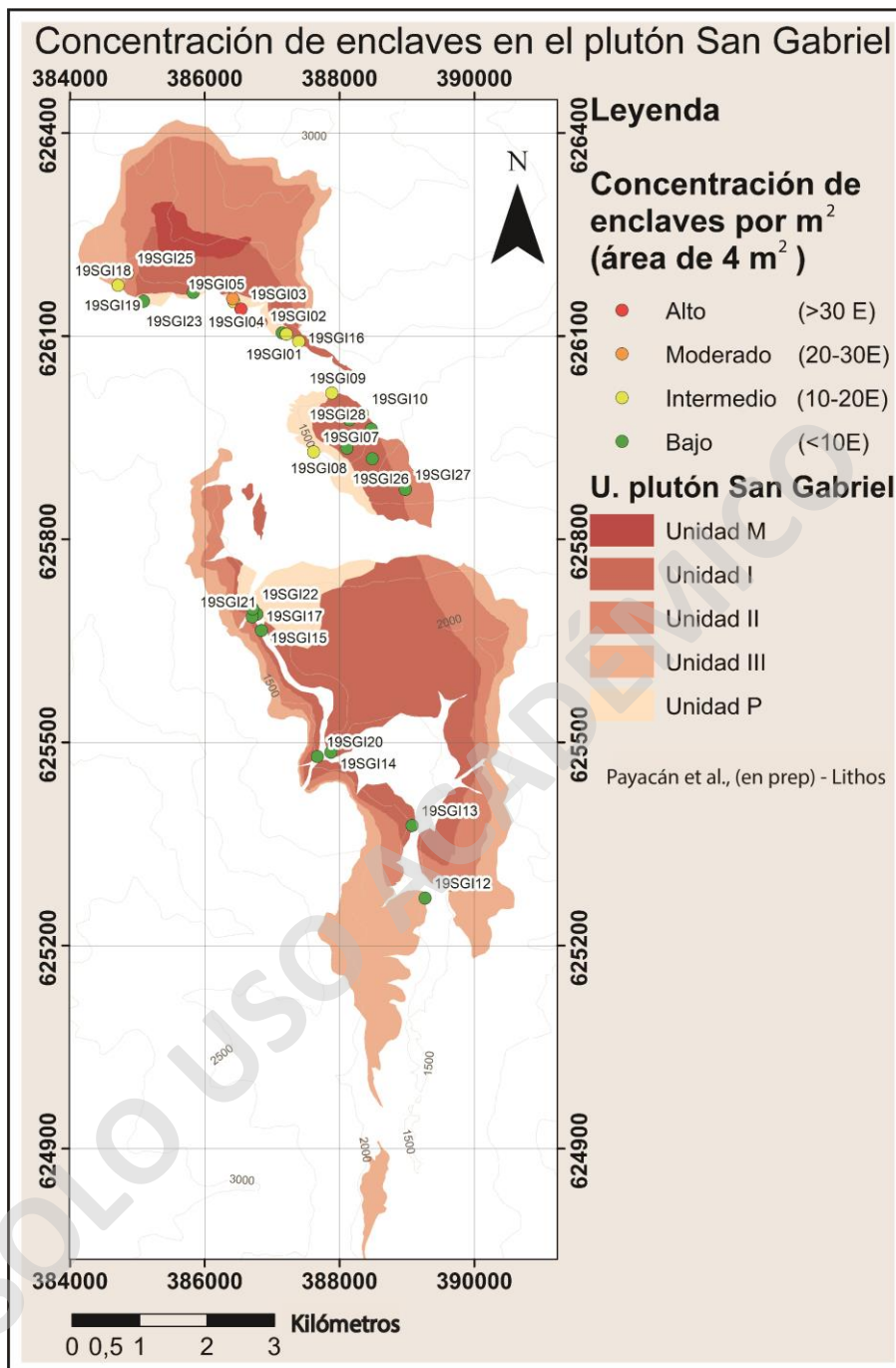


Figura 24. Concentración y distribución de enclaves máficos en el plutón San Gabriel, respecto a las unidades definidas por Payacán et al (en prep) – Lithos.

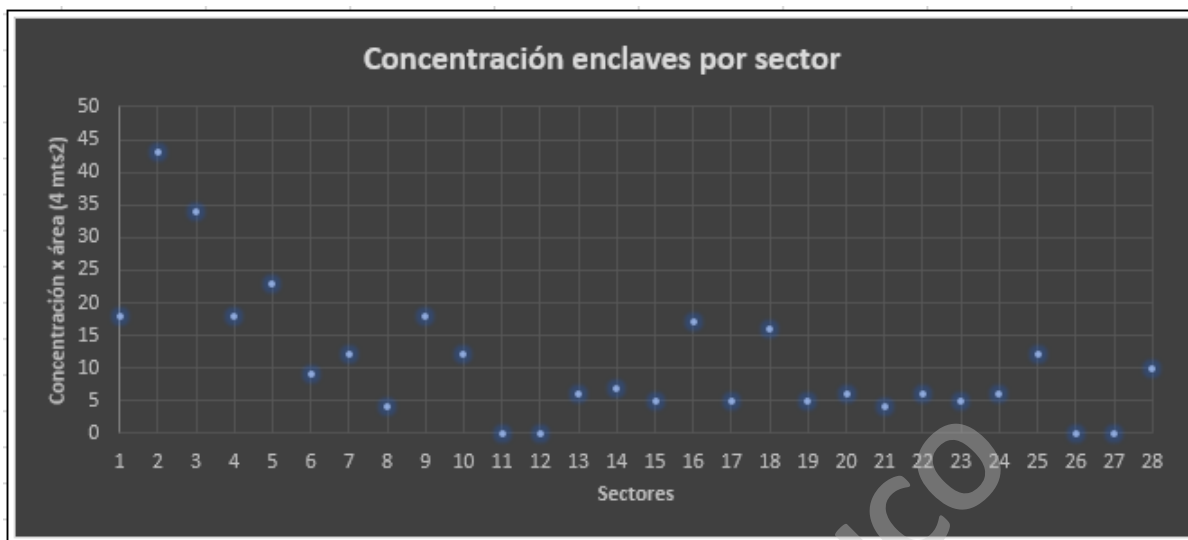


Figura 25. Gráfico de concentración de enclaves por sector, el area por sector comprende un área de 4 m².

4.4 Orientación de los enclaves máficos.

Los enclaves máficos observados en dos dimensiones varían desde elipses, círculos y óvalos, estos presentan tamaños que van desde 1 cm hasta los 15 cm aproximadamente en sus ejes mayores y en su mayoría estos presentan bordes subredondeados a redondeados (excepto algunos xenolitos que presentan bordes subangulosos).

Se registró la orientación de aproximadamente 200 enclaves a lo largo del plutón San Gabriel, contenidos en planos con orientaciones variables dependiendo del sector medido (Tabla 2).

Respecto a la orientación de los datos correspondientes a los enclaves, como se puede observar (Figura 26) existe una tendencia o patrón de los datos ya que se encuentran mayoritariamente concentrados entre los 15° y 135° con una relación de aspecto (eje mayor/eje menor) promedio entre 1 y 4 cm.

Tabla 2. Ejemplo cuantificación y caracterización enclaves máficos en el plutón San Gabriel.

Sector	Datos			Ubicación (UTM)		Código		
	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra mano	Foto	Muestra testigo
19SGI01	345	60	33	6261028	387211	19SGI0101E 19SGI0102E	1627	
	355	75	70				1635	

340	80	65				1631
330	61	40				1632
334	70	50				1633
355	46	60				1630
350	50	45				1634
340	46	35				1626
190	55	4				1636
203	65	15				1825
194	73	28				1826
215	45	30				1827
228	65	45				1828
190	43	64				1637
187	58					

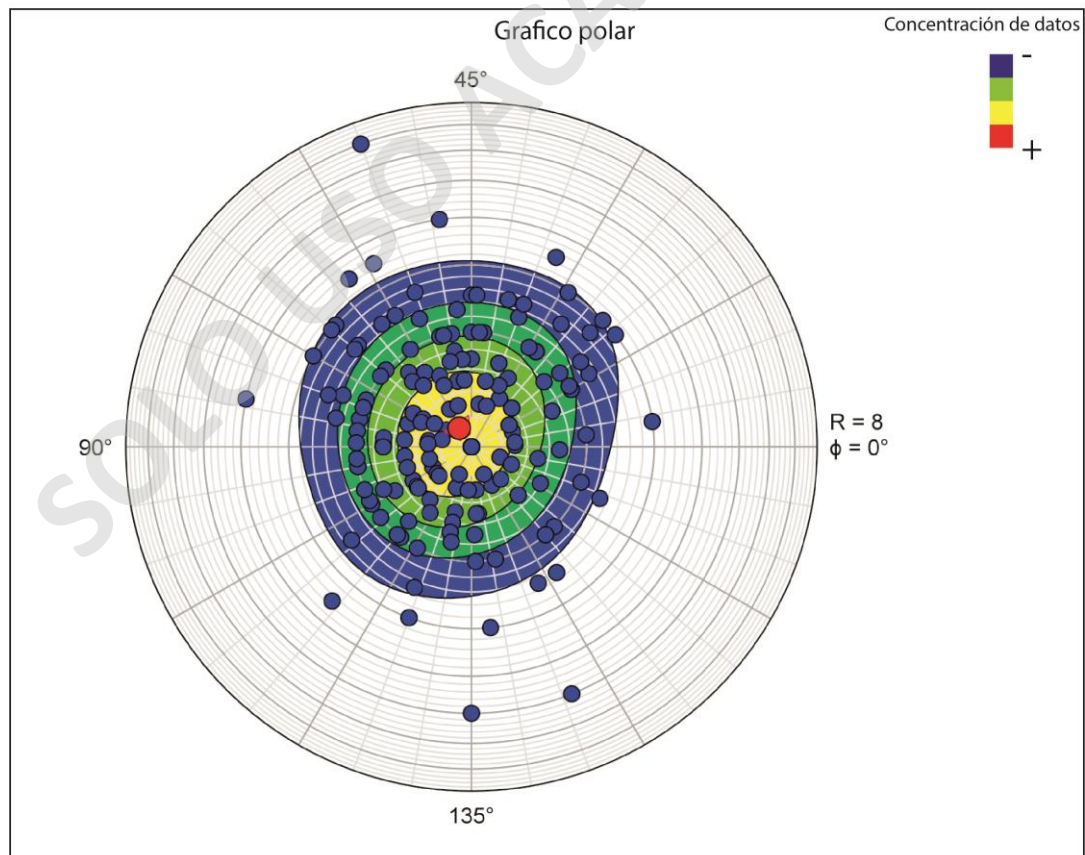


Figura 26. Gráficos polares de los datos obtenidos durante la campaña de terreno, la leyenda de la derecha representa la concentración total o tendencia en la cual los enclaves se encuentran distribuidos.

4.5 Orientación preferencial de enclaves máficos: Elipsoides de anisotropía basados en la orientación y forma.

De los 24 sectores medidos con presencia de enclaves, los cuales fueron proyectados en tres dimensiones, se determinó el *strain* o deformación el cual corresponde al producto de la deformación aplicada a una esfera (asumiendo esta forma como original). Con esto se pudo determinar la forma de los elipsoides.

4.5.1 Definición de parámetros

La medición de enclaves y posterior análisis de estos mediante el uso del *software Ellipsefit*, entrega datos correspondientes a la magnitud, declinación e inclinación (máxima, intermedia y mínima) de los 3 ejes (mayor, intermedio y menor), los cuales representan a un elipsoide. A partir de estos datos se obtienen un conjunto de parámetros escalares correspondientes a:

- 1) Anisotropía P: Corresponde a la razón entre el eje máximo y el eje mínimo y cuantifica la diferencia de magnitud dado por estos ejes.

$$P = \frac{\text{eje máximo (k max)}}{\text{eje mínimo (k min)}}$$

- 2) Foliación F: Corresponde a la razón entre el eje intermedio y el eje mínimo.

$$F = \frac{\text{eje intermedio (k int)}}{\text{eje mínimo (k min)}}$$

- 3) Lineación L: Corresponde a la razón entre el eje mínimo y el eje intermedio.

$$L = \frac{\text{eje mínimo (k min)}}{\text{eje intermedio (k int)}}$$

4.5.2 Parámetros de forma de los elipsoides de orientación.

Como se puede observar en el gráfico de Nadai (Nadai, 1950) (Figura 27) un 63% de los sectores que presentan enclaves máficos corresponden a elipsoides oblatos, esta forma ocurre cuando el parámetro v o *strain symmetry* se encuentra entre 0 y 1, indicando que el tipo de *strain* es en general de aplastamiento (esto ocurre cuando la relación de esfuerzos es $S1=S2>S3$) y la foliación es mayor que la lineación, mientras que un 29% de los enclaves son elipsoides prolatos, esta forma ocurre cuando el parámetro v o *strain symmetry* se encuentra entre -1 y 0, indicando que el tipo de *strain* es de constricción (esto ocurre cuando la relación de esfuerzos es $S1>S2=S3$) y la lineación es mayor, el 8% restante presentan formas triaxiales.

Respecto a la anisotropía de los elipsoides, se ha podido inferir mediante el gráfico de Flinn (Flinn, 1978) que en la mayoría de los sectores muestreados la foliación (eje y (intermedio)/ eje z (menor)) es mayor que la lineación (eje x (mayor) / eje y (intermedio)) (Figura 28). Esto se relaciona con el gráfico de Nadai, ya que, la mayoría de los grupos de elipsoides analizados por sector corresponden a elipsoides oblatos. Además, se puede observar una tendencia respecto a la ubicación de los enclaves respecto a su parámetro de forma, ya que, los enclaves prolatos tienden a ubicarse en las unidades III y P del plutón, mientras que los enclaves oblatos se concentran principalmente en la unidad I, II y III. De igual manera se puede observar una tendencia respecto a la foliación por sector (Figura 29), ya que, en la mayoría de los casos la foliación es subvertical a vertical como se muestra en los planos del mapa (Figura 30), mientras que en el caso de las lineaciones de los enclaves por sector, existe una tendencia, en la que las direcciones se concentran en su mayoría hacia el Este (Figura 31).

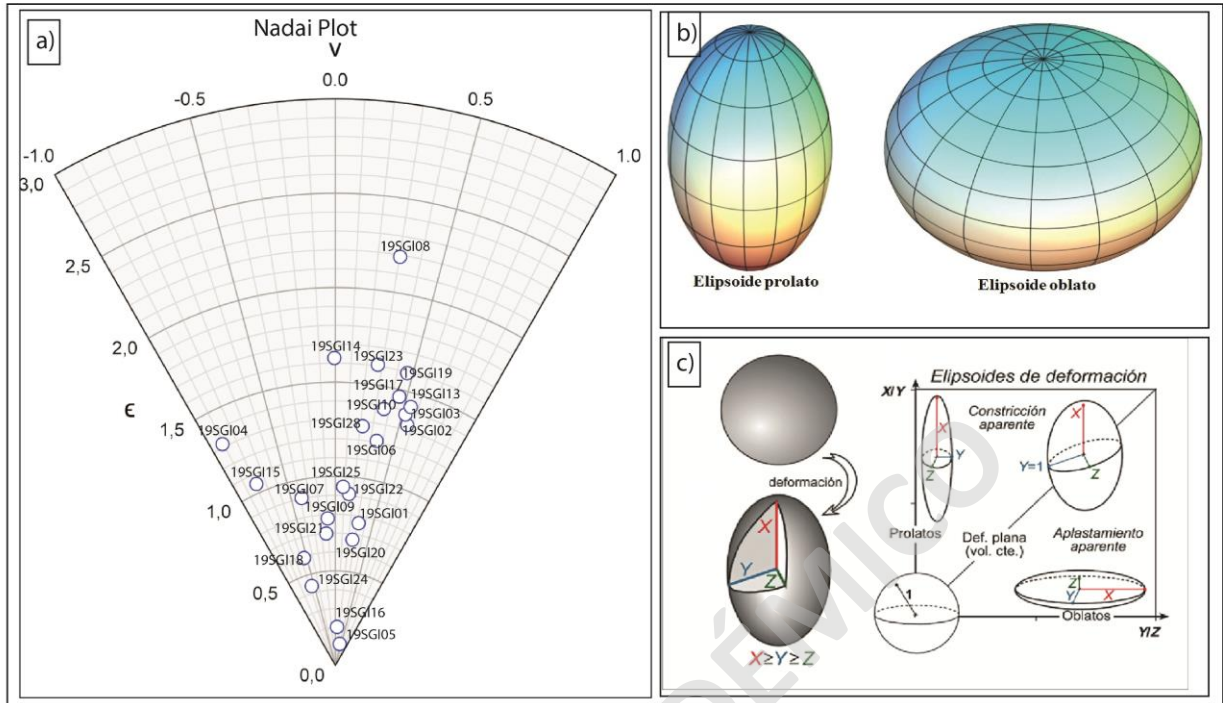


Figura 27. a) Gráfico de Nadai (Nadai, 1950) el cual indica la forma de los enclaves máficos en cada sector estudiado, en este caso los enclaves máficos presentan forma prolatas, triaxiales y en la mayoría estos tienen forma oblatas, elaboración mediante el software *Ellipsefit*.

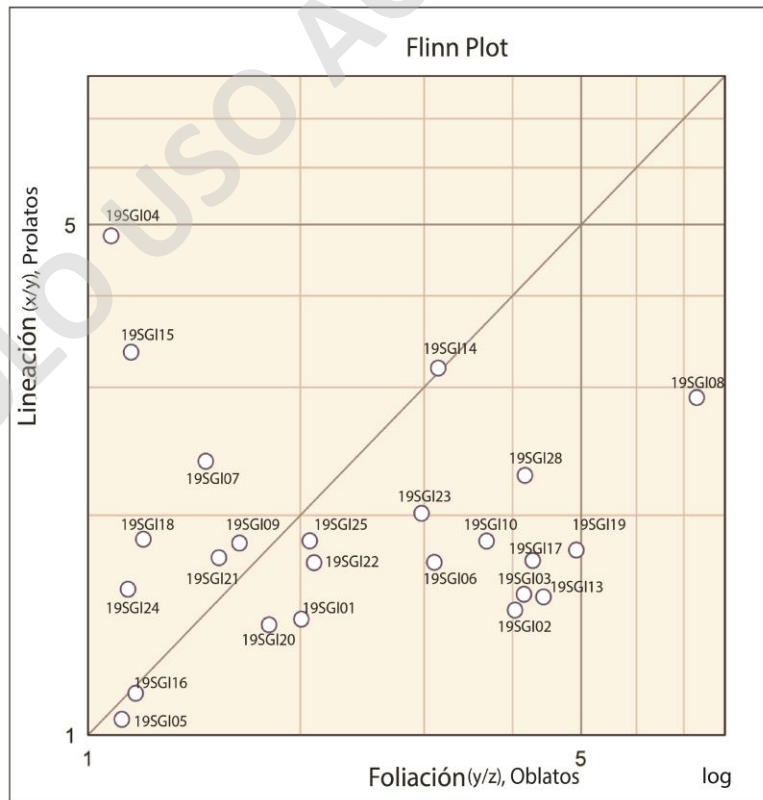


Figura 28. Gráfico de Flinn (escala logarítmica) (Flinn, 1958) el cual representa los grados de anisotropía de cada sector estudiado, elaboración mediante el software *Ellipsefit*.

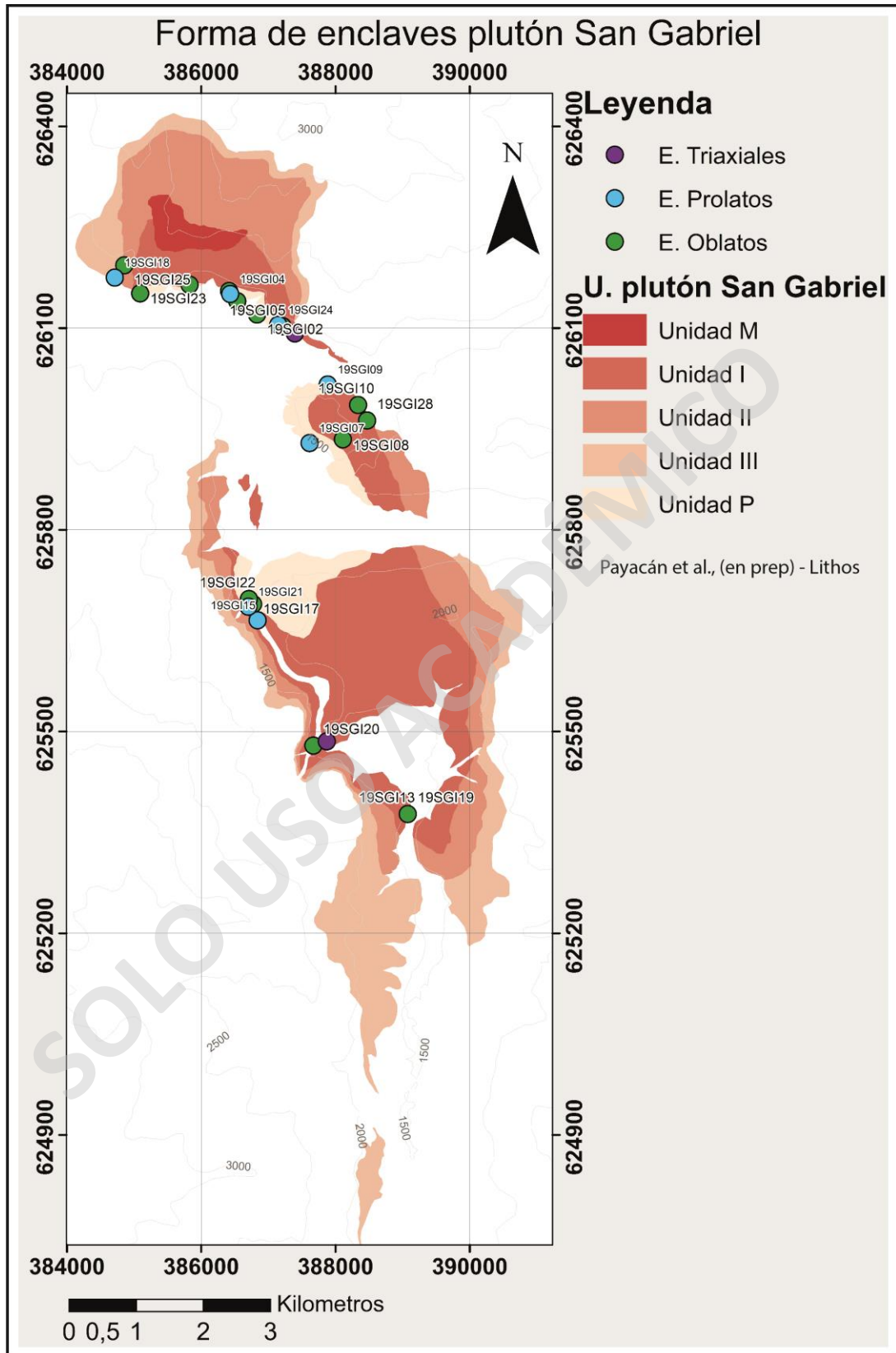


Figura 29. Forma de los enclaves máficos presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.).

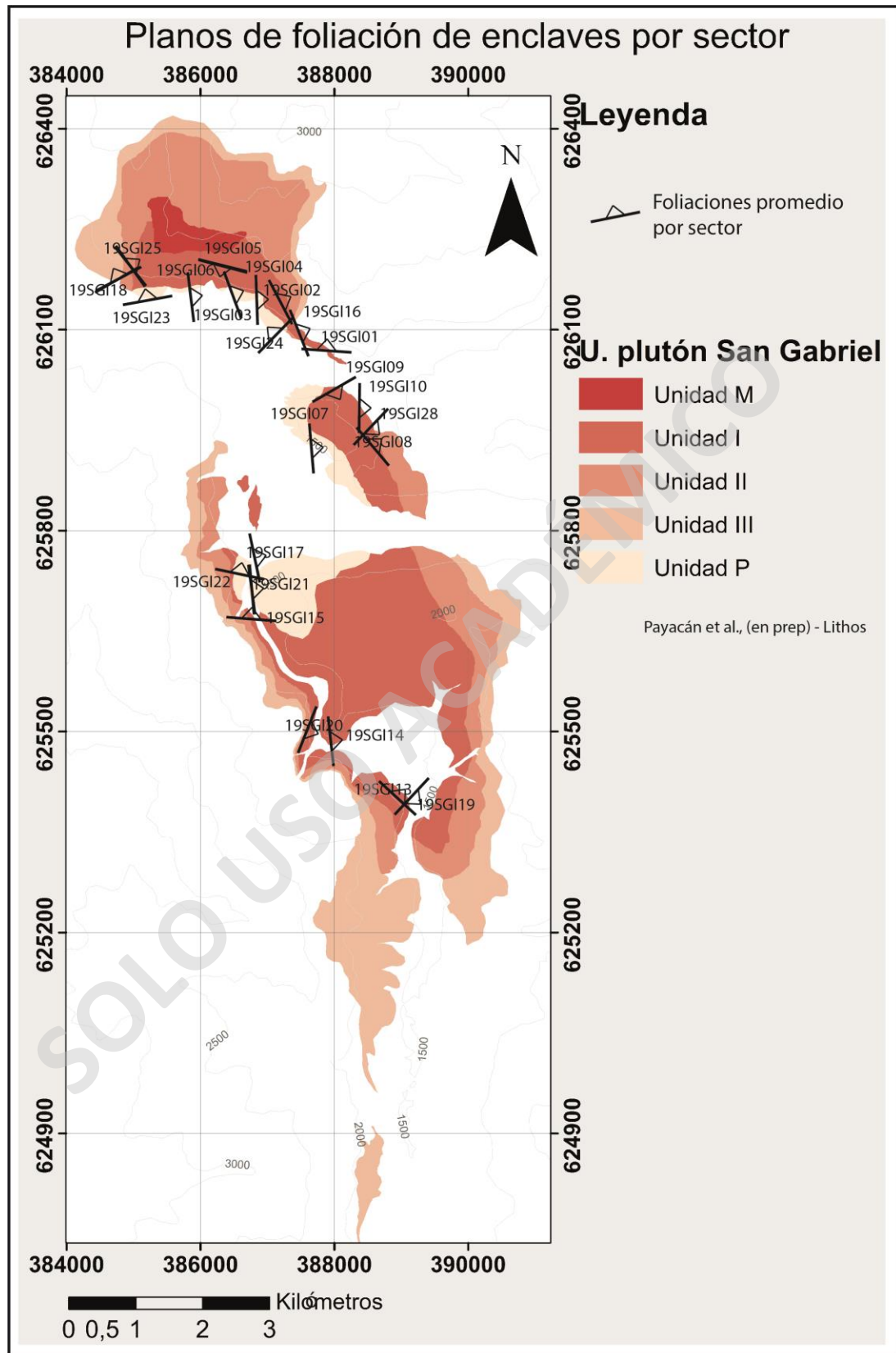


Figura 30. Foliación de los enclaves máficos presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.).

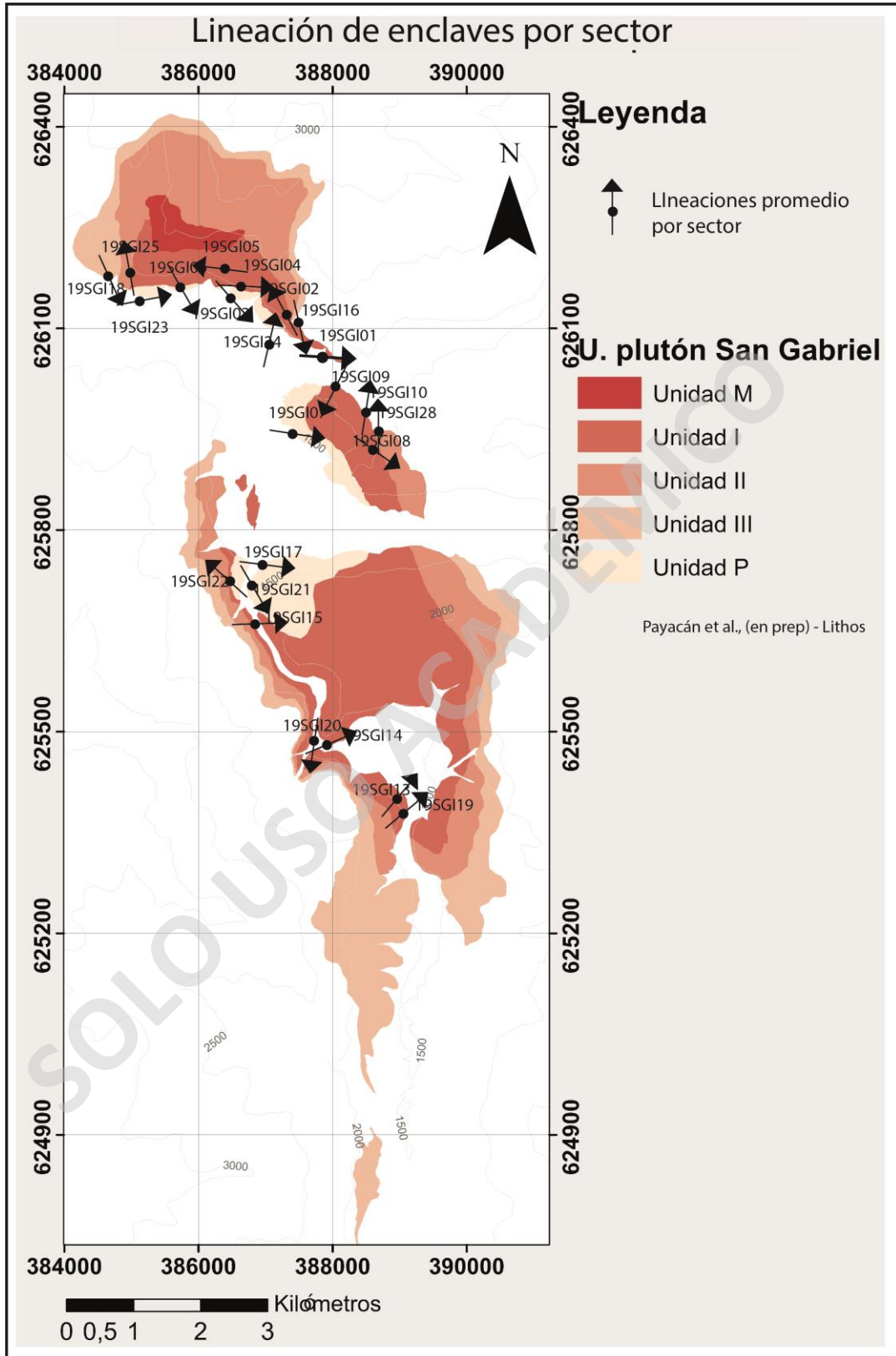


Figura 31. Lineación de los enclaves máficos presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.).

4.5.3 Parámetros de orientación de los elipsoides.

La orientación de enclaves fue calculada a partir de los valores entregados por el *software Ellipsefit* correspondientes a la declinación (trend) e inclinación (plunge) de los tres ejes de anisotropía (eje mayor (X), eje intermedio (Y) y eje menor (Z)) (Tabla 3).

Como se puede observar en la proyección estereográfica elaborada con el *software Stereonet*, existe una tendencia y se reconoce la dirección de la lineación dada por los ejes máximos (X), aproximadamente un 90% de los sectores se concentran principalmente en el cuadrante NE y SE, mientras que los ejes intermedios (Y) se encuentran orientados hacia el E-SE, y el eje mínimo (Z) se encuentran orientados hacia el SW. Además existe un patrón de cada sector muestreado respecto a la orientación y la forma del plutón San Gabriel, ya que, en la mayoría de los sectores los ejes se encuentran alineados respecto a la forma alargada del plutón (Figura 32, Figura 33 y Figura 34). Además, es posible reconocer los planos de foliación de cada sector (línea negra, conformada por la intersección entre los ejes mayores y ejes intermedios), como se puede observar en los mapas (Figura 33, Figura 34), la mayoría de los planos de foliación se encuentran orientados hacia el NNE.

Tabla 3. Declinación e inclinación máxima (k máx), intermedia (k int) y mínima (k mín) entregadas por el *software Ellipsefit*.

Sector	K max		K int		K min		Error 95%		
	Max Dec	Max Inc	Int Dec	Int Inc	Min Dec	Min Inc	Max 95%	Int 95%	Min 95%
19SGI01	306,3	65,9	104,1	22,5	197,5	8,2	1,9	0,4	0,2
19SGI02	328,6	32,8	101,4	46,5	221,0	25,1	1,8	0,4	0,1
19SGI03	139,8	33,7	9,7	44,0	249,9	27,3	5,0	0,6	0,1
19SGI04	88,5	50,5	264,5	39,4	356,1	2,0	3,5	0,3	0,2
19SGI05	280,8	65,2	108,8	24,6	17,4	3,1	0,2	0,1	0,1
19SGI06	149,5	52,9	1,2	32,7	261,0	15,5	2,7	0,4	0,1

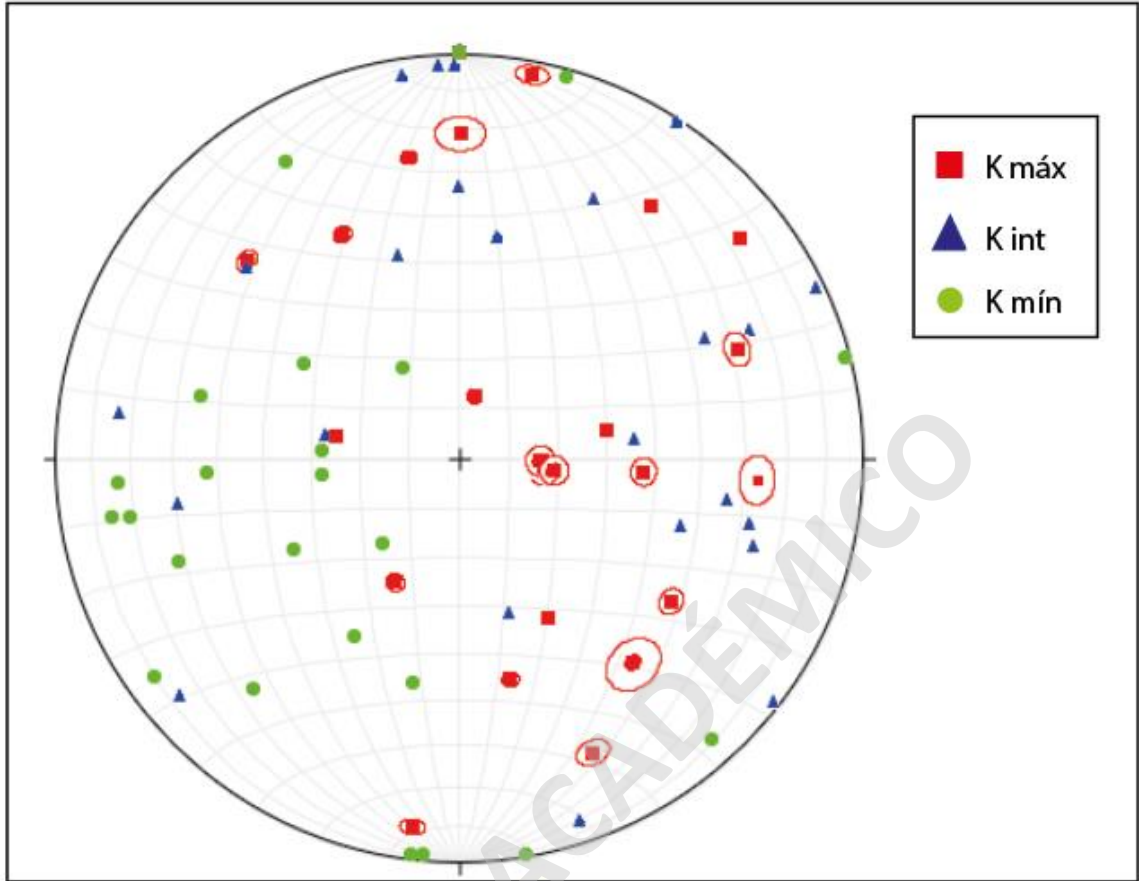


Figura 32. Red estereográfica la cual muestra la orientación de los ejes máximos, intermedios y mínimos de los 24 sectores estudiados, elaborada mediante el software Stereonet.

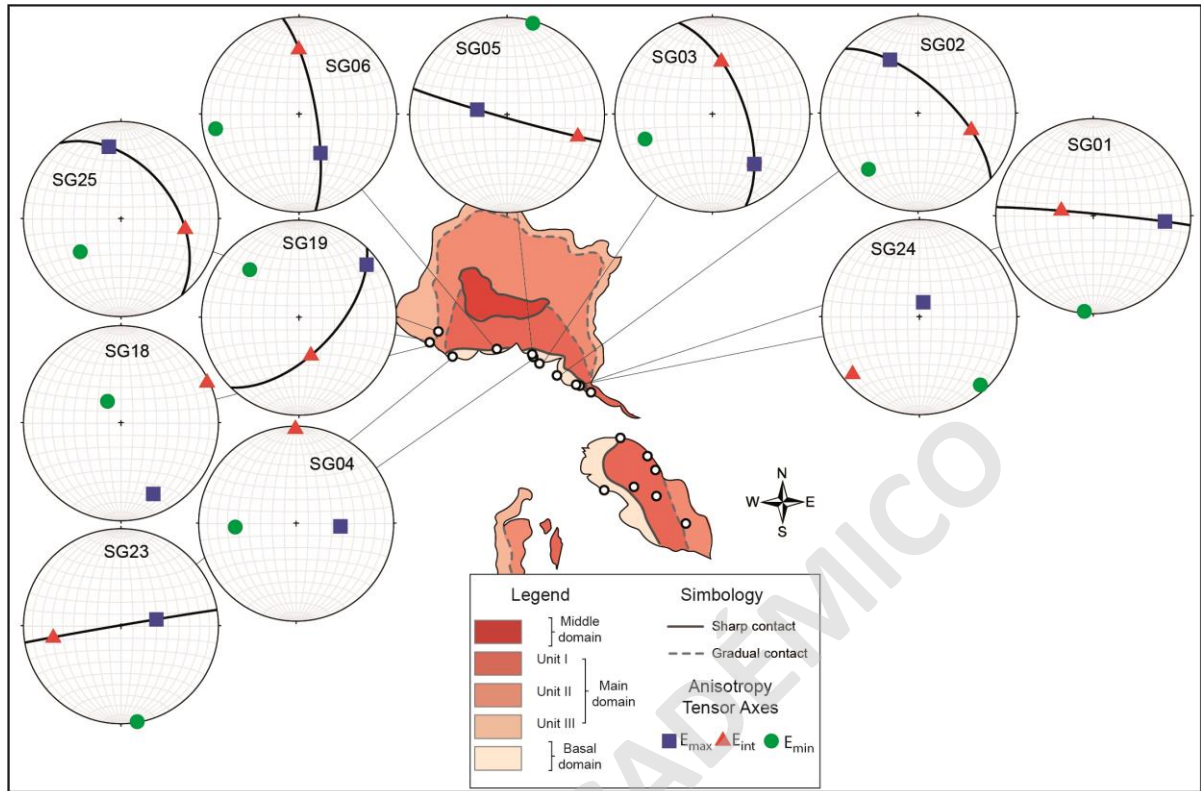


Figura 33. Proyección estereográfica de la orientación de los elipsoides de anisotropía obtenidos por la orientación preferencial de enclaves máficos en el plutón San Gabriel, parte norte. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (in prep.).

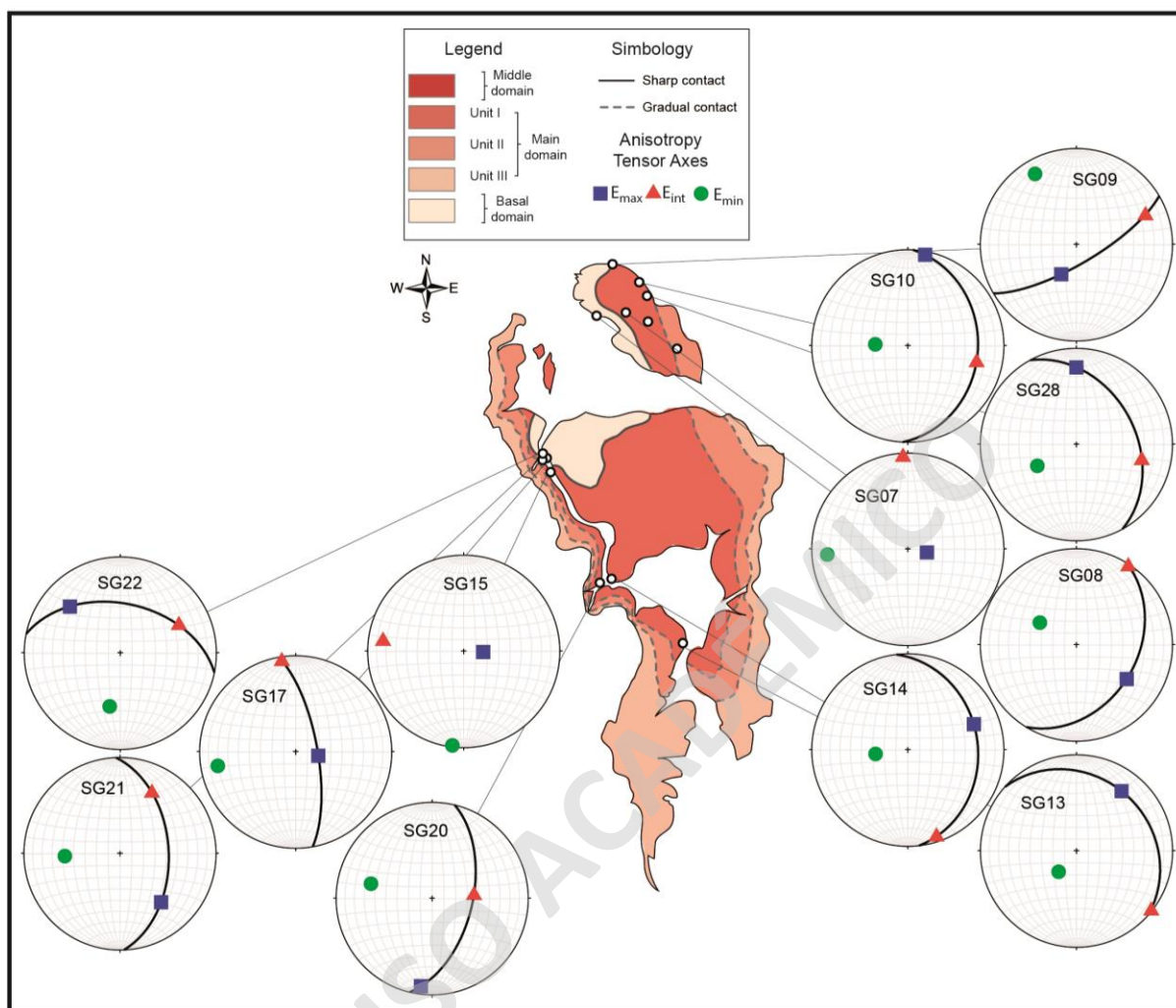


Figura 34. Proyección estereográfica de la orientación de los elipsoides de anisotropía obtenidos por la orientación preferencial de enclaves máficos en el plutón San Gabriel, parte centro sur. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (in prep.).

4.6 Algunas consideraciones

Respecto a la forma y orientación de los enclaves máficos en 2 dimensiones, se logró determinar que estos presentan formas redondas a ovaladas y principalmente presentan un rake entre los 15° y 75° . Mientras que, en cuanto al análisis de los enclaves en 3 dimensiones se determinó que los elipsoides presentan formas oblatas en su mayoría y en una menor cantidad formas prolatas.

Respecto a la distribución de las formas en los sectores del plutón, se determinó que los enclaves oblatos se distribuyen en las unidades I, II y III del plutón, mientras que los enclaves prolatos se

distribuyen principalmente en la Unidad III y P del Plutón, es decir, existe una tendencia o patrón determinado.

Las lineaciones y foliaciones de los enclaves presentan tendencias principalmente subverticales a verticales, estas no presentan patrón especial o concentración respecto a la distribución en el plutón.

Finalmente respecto a la orientación de los ejes de los enclaves máficos se ha podido determinar que los ejes máximos se encuentran localizados en el cuadrante NE y SE, los ejes intermedios se encuentran localizados en el cuadrante E – SE y los ejes mínimos se encuentran localizados en el cuadrante SW (Figura 35).

A modo de resumen se representa a continuación, una tabla recopilatoria respecto a la cuantificación y caracterización general de los enclaves presentes en el plutón San Gabriel respecto a los capítulos 3 y 4 (Tabla 4).

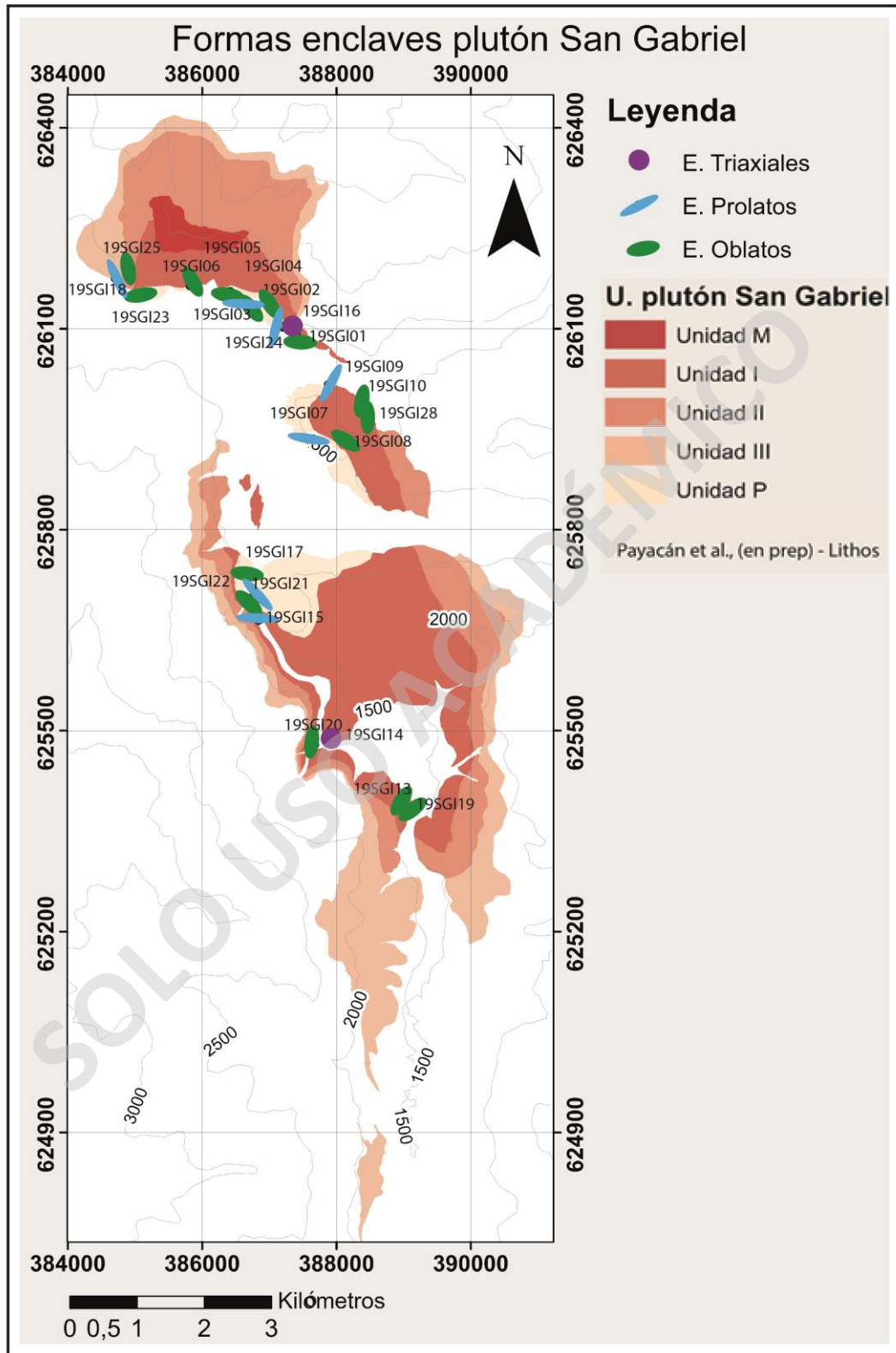


Figura 35. Forma y orientación de los enclaves máficos presentes en el plutón San Gabriel. Unidades petrográficas tomadas de Payacán et al. (en prep.), orientaciones de los enclaves respecto al trend de los ejes mayores.

Tabla 4. Caracterización y cuantificación general de los enclaves máficos por sector muestreado (concentración respecto a parámetros explicados en capítulo 3 y 4).

ID	Ubicación		Concentración x área	Unidad plutón	Características					
	Y	X			Textura macro	Principal grupo	Formas	Índice color	Bordes	Dirección de elongación (eje máx)
19SGI01	6261028	387211		Unidad P	Porfírica	Magmático cristalino	Oblato	Gris claro	Sub red/redondeados	O - E
19SGI02	6261201	386831		Unidad P	Porfírica	Magmático cristalino	Oblato	Gris claro	Sub red/redondeados	NO
19SGI03	6261400	386537		Unidad P	Porfírica	Magmático cristalino	Oblato	Gris claro	Sub red/redondeados	NO
19SGI04	6261506	386432		Unidad P	Afanítica	Microcristalino	Prolato	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	O - E
19SGI05	6261550	386415		Unidad P	Afanítica	Microcristalino	Oblato	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	O - E
19SGI06	6261643	385827		Unidad II	Afanítica	Microcristalino	Oblato	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	NO
19SGI07	6259290	387615		Unidad I	Afanítica	Microcristalino	Prolato	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	NE
19SGI08	6259345	388111		Unidad P	Porfírica	Magmático cristalino	Oblato	Gris claro	Sub red/redondeados	NO
19SGI09	6260161	387885		Unidad I	Porfírica	Magmático cristalino	Prolato	Gris claro	Sub red/redondeados	NE
19SGI10	6259856	388337		Unidad I	Porfírica	Magmático cristalino	Oblato	Gris claro	Sub red/redondeados	N
19SGI11	6259764	388145	S/D							
19SGI12	6252700	389269	S/D							
19SGI13	6253772	389077		Unidad I	Porfírica	Magmático cristalino	Oblato	Gris claro	Sub red/redondeados	NE
19SGI14	6254852	387871		Unidad I	Porfírica	Magmático cristalino	Triaxial	Gris claro	Sub red/redondeados	N
19SGI15	6256653	386840		Unidad I	Afanítica	Microcristalino	Prolato	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	O - E
19SGI16	6260919	387395		Unidad II	Afanítica	Microcristalino	Triaxial	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	N
19SGI17	6256893	386774		Unidad I	Afanítica	Microcristalino	Oblato	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	O - E
19SGI18	6261751	384712		Unidad III	Porfírica	Magmático cristalino	Prolato	Gris claro	Sub red/redondeados	NO
19SGI19	6261751	384712		Unidad I	Porfírica	Magmático cristalino	Oblato	Gris claro	Sub red/redondeados	NE
19SGI20	6254790	387671		Unidad I	Porfírica	Magmático cristalino	Oblato	Gris claro	Sub red/redondeados	N
19SGI21	6256856	386703		Unidad I	Porfírica	Magmático cristalino	Prolato	Gris claro	Sub red/redondeados	NO
19SGI22	6256970	386711		Unidad I	Afanítica	Microcristalino	Oblato	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	NO
19SGI23	6261515	385090		Unidad P	Porfírica	Magmático cristalino	Oblato	Gris claro	Sub red/redondeados	O - E
19SGI24	6261048	387149		Unidad II	Porfírica	Magmático cristalino	Prolato	Gris claro	Sub red/redondeados	O - E
19SGI25	6261933	384854		Unidad III	Afanítica	Microcristalino	Oblato	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	NNO
19SGI26	6259189	388486	S/D							
19SGI27	6258736	388976	S/D							
19SGI28	6259625	388472		Unidad II	Afanítica	Microcristalino	Oblato	Gris oscuro	Sub ang/anguloso	N

5 Discusión.

5.1 Introducción

En este capítulo se sintetizan y discuten los resultados obtenidos en esta investigación. Esta discusión se divide en tres partes. En primer lugar, se presenta una interpretación de los procesos petrogenéticos que dieron lugar a los enclaves, Posteriormente, se analiza el estado reológico de los enclaves máficos y el magma hospedante durante el registro de la deformación que habría controlado la orientación preferencial de estos. Finalmente, se interpreta el proceso que habría controlado la deformación y se propone un modelo conceptual para la deformación y su relación con los procesos magmáticos que ocurrieron en el interior del reservorio magmático que representa el plutón San Gabriel.

5.2 Génesis de los enclaves máficos

5.2.1 *Procesos magmáticos asociados a la generación de enclaves en el plutón San Gabriel.*

Los enclaves máficos presentes en el plutón San Gabriel tienen características petrográficas, mineralógicas, texturales y granulométricas diferentes entre sí. La mayoría de los enclaves en el plutón son del tipo magmático, mientras que una baja cantidad son del tipo xenolito y concentrados microgranulares, los cuales presentan formas redondeadas, ovoidales y elipsoidales. Además, los enclaves no presentan evidencias de deformación frágil presentes en los cristales (fracturas) a escala macroscópica y microscópica, esto implicaría que durante la génesis de los enclaves deberían presentar un bajo % de cristalinidad mientras estos se orientaban. De acuerdo a estas características, los enclaves máficos, a excepción de los xenolitos, fueron originados durante un proceso de mezcla heterogénea de magmas, es decir, un proceso de *mingling*. La evidencia que permite inferir este proceso es la presencia de plagioclasa proveniente del plutón y que se encuentra inmersa en los enclaves, es decir, disgregada desde las unidades del plutón (Figura 36). El *mingling* implica que los enclaves máficos presentes en el plutón fueron generados a partir de dos o más pulsos magmáticos: en una primera instancia los pulsos de origen ácido a intermedio que dieron origen al plutón San Gabriel, posteriormente, fueron intruidos por inyecciones de magma de

composiciones básicas a intermedias, durante un estado dúctil a semidúctil. Altos contrastes de la temperatura entre los magmas ácidos respecto a los magmas básicos llegando hasta 600°C, si se consideran magmas ácidos a 600°C y magmas básicos a 1300°C, sumado a los contrastes de la densidad y la viscosidad efectiva habrían generado la inmiscibilidad de los magmas provocando que los enclaves máficos fueran distribuidos y preservados como cuerpos individuales (Best, 2003). Este grupo de enclaves también pudo haber sido originado debido a una desmezcla convectiva producto de la inmiscibilidad y contrastes reológicos entre ambos fundidos (básico/ácido), la principal diferencia respecto al proceso anterior correspondería a la temporalidad de los procesos, ya que, en ambos casos serían originados producto de la inmiscibilidad entre magmas.

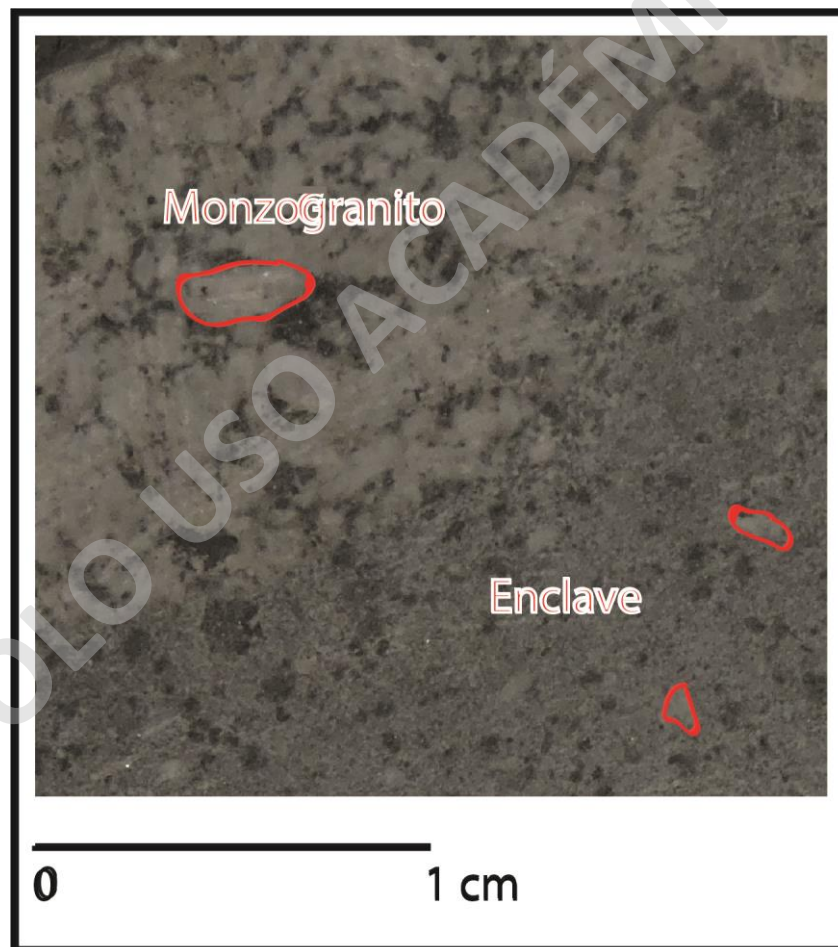


Figura 36. Muestra de mano sector 19SGI0201, correspondiente a la transición entre el monzogranito (Unidad P, Payacan et al., (en prep)) y enclave máfico.

Respecto a los concentrados microgranulares presentes en la zona, estos fueron originados durante un proceso en el cual el magma de origen ácido se encontraba cristalizando parcialmente,

y coetáneamente el magma de origen básico estaba disminuyendo su cantidad, debido a que se habían formado grupos de enclaves de mayor tamaño previamente, además del avance del tiempo y de la baja en la temperatura de cristalización tal como menciona Vernon (2004). Es por ello que los enclaves cristalizaron con un menor tamaño. En cuanto a los enclaves microcristalinos correspondientes a xenolitos, estos fragmentos subangulosos a angulosos presentan una composición andesítica muy similar a la roca de caja correspondientes a las formaciones Abanico/Farellones (página 41). Esto indicaría que estos fragmentos de roca de caja o xenolitos fueron generados por el proceso *stoping*, la que ocurre cuando el magma asciende y emplaza a la roca de caja provocando que esta se fracture y genere la caída de fragmentos de roca hacia el magma.

En cuanto al proceso en el que los enclaves magmáticos cristalinos fueron generados, corresponde a un proceso del tipo externo respecto a la cámara magmática, es decir, los enclaves fueron originados por procesos en un sistema abierto, principalmente asociado a la mezcla heterogénea entre dos magmas inmiscibles. El principal mecanismo por el cual los enclaves fueron originados correspondería al modelo propuesto por Vernon (1983) en el que los enclaves son producidos por las inyecciones de múltiples pulsos de composición básica sobre un magma de composición ácida durante un estado dúctil. En una primera etapa ocurre la inyección del magma básico sobre el magma ácido en un corto periodo de tiempo (coetáneo) (Hill et al., 1988), lo que provoca que en una segunda etapa los altos contrastes reológicos de los magmas principalmente la relación de la viscosidad efectiva y la densidad, provoca que el magma básico se mantenga como una capa inferior bajo la capa ácida bloqueando el ascenso del magma básico en una gran cantidad. En una tercera etapa, a medida que la convección interna en la cámara se produce, esta dinámica ocurre el “arrastre” de porciones o glóbulos de magma básico provocando que los enclaves sean generados. Para que el arrastre de glóbulos, posterior génesis de los enclaves, distribución y presevación de estos suceda, la génesis de los enclaves ocurrió durante un estado dúctil, ya que, de lo contrario los enclaves máficos no se encontrarían distribuidos aleatoriamente en diferentes unidades del plutón. Además, si la mezcla heterogénea (*mingling*) de los magmas hubiera ocurrido en un estado en que el magma ácido se encontrara parcialmente cristalizado (un % de cristalización superior a un 35% aproximadamente), se habrían generado fracturas por las cuales el magma básico hubiera ascendido y posteriormente cristalizado en formas de diques (Figura 37) tal como mencionan Barbarin et al., (1992).

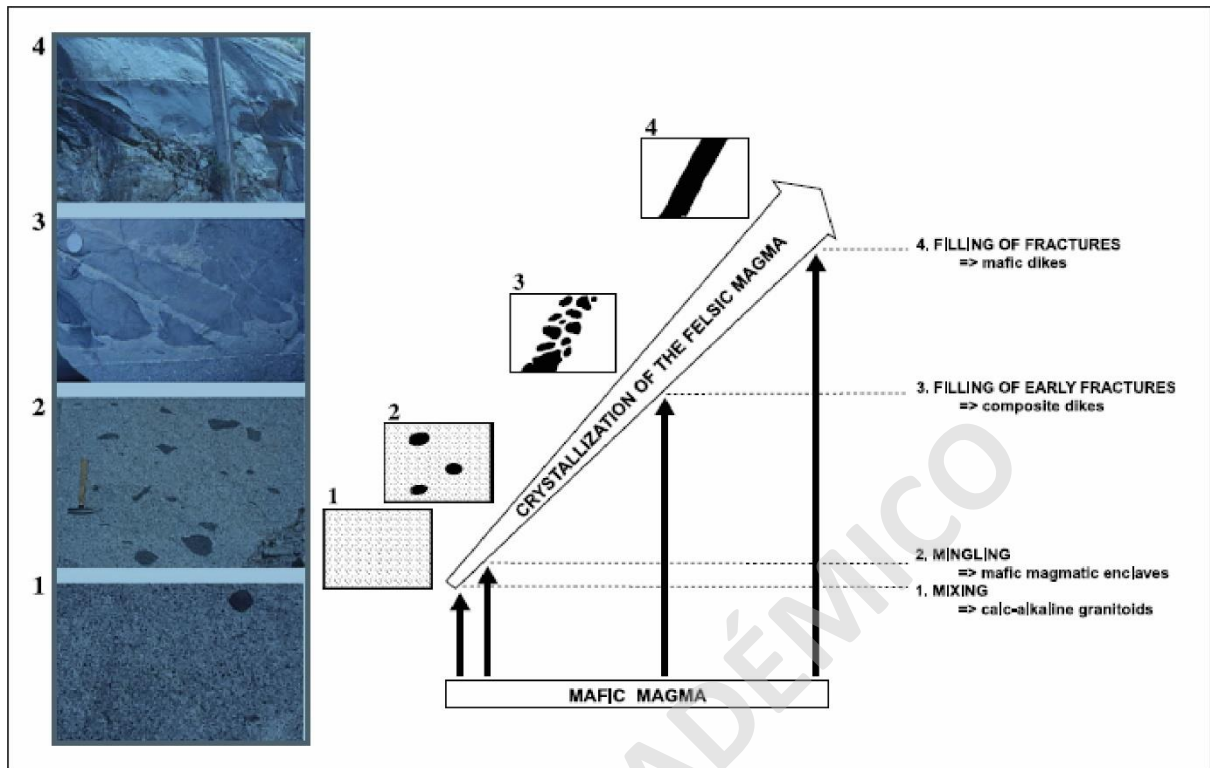


Figura 37. Diferentes etapas de hibridación en la que se forman los enclaves máficos, respecto al grado de cristalinidad que presente el magma ácido durante la inyección de un magma básico (Barbarin et al., 1992).

En algunos sectores del plutón San Gabriel tales como los sitios 19SGI (11, 12, 26 y 27), no presentan enclaves y en algunos sectores como 19SGI(8 y 17) presentan muy pocos enclaves en relación a otros sectores. Esto se podría explicar por el hecho de que el magma básico generador de los enclaves ascendió por fracturas o canales y en un volumen inferior que el magma ácido, provocando que solo en ciertos sectores del plutón estuvieran presentes (Figura 38). Además, la evidencia de que los enclaves se concentren en un mayor contenido en las unidades más diferenciadas, es decir, en las unidades II, III, y P del plutón (Payacán et al., (en prep.)), implica que en las unidades más básicas se produzca una mezcla de magmas principalmente homogéneas, tal como sugiere Laumonier et al., (2014).

En esta investigación se desestiman los procesos internos de los reservorios de magma (suponiendo un sistema cerrado) como generadores de los enclaves máficos del plutón San Gabriel, ya que no se reconocen las características mineralógicas y texturales necesarias para sugerir dicha génesis. Por ejemplo, en el modelo de restitas (White y Chappell, 1977) se indica que los enclaves son generados a partir de magmas residuales en los cuales el enclave “crece” a partir de un mineral

núcleo de mayor tamaño. Por otro lado, en el modelo de autolito (Dodge y Kistler, 1990) se propone que los enclaves son generados por el proceso de cristalización fraccionada, los que en un primer estado corresponden a acumulación de anfíbola, biotita y plagioclasa. Debido a que en el plutón San Gabriel el mineral con mayor contenido corresponde a plagioclasa y la única textura de acumulación presente corresponde a piroxenos (Dodge y Kistler, 1990), se descartan estas alternativas.

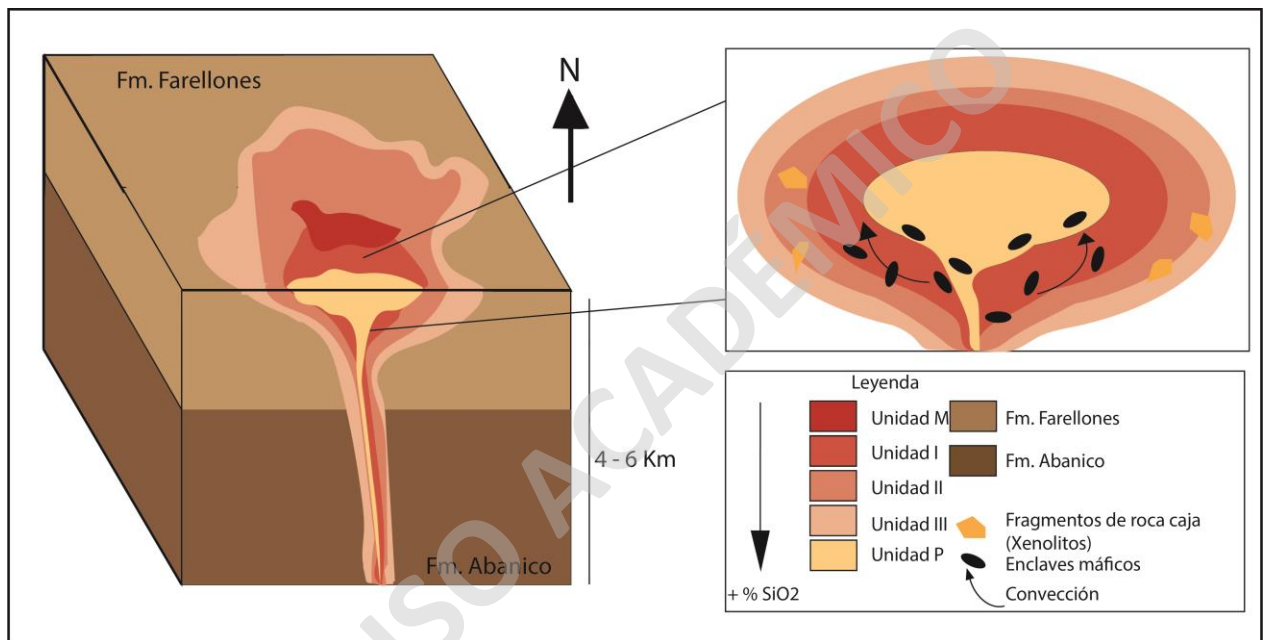


Figura 38. Modelo de génesis de la zona más representativa del plutón San Gabriel (cara sur) basado en el modelo petrográfico de Payacán et al., (en prep) y en la estratigrafía de Fock et al., (2006), En este modelo se explica la relación de temporalidad de los grupos de enclaves previamente definidos.

5.2.2 Relación de deformación y génesis de los enclaves máficos.

La falta de deformación interna de los enclaves, permite sugerir que la deformación que generó la elongación de estos actuó previamente a la formación de los cristales primarios, en este escenario, en una primera instancia se deformó el glóbulo que dio origen al enclave, mientras que el magma inmerso en estos glóbulos aún se encontraba en un estado parcialmente fundido. Esto se puede evidenciar, ya que, estos no presentan indicios de deformación en un estado frágil, es decir, fracturas, deformaciones, o cambios en las lineaciones o foliaciones internas (Figura 39). En el caso que la deformación se hubiera transferido hacia el interior del plutón y los enclaves, los

cristales inmersos en los enclaves presentarían cambios en la lineación y foliación, incluso plegamientos (Figura 40 d) y, como un tercer escenario, si la deformación tuviese un origen externo al sistema magmático y hubiese ocurrido posterior a la cristalización, se encontrarían evidencias de desgarros o fracturas en la forma elipsoidal de los enclaves, mientras que los cristales se encontrarían fracturados (Figura 40 a,b y c), tal como Webber et al., (2015) reconocen en complejo Santo Domingo.

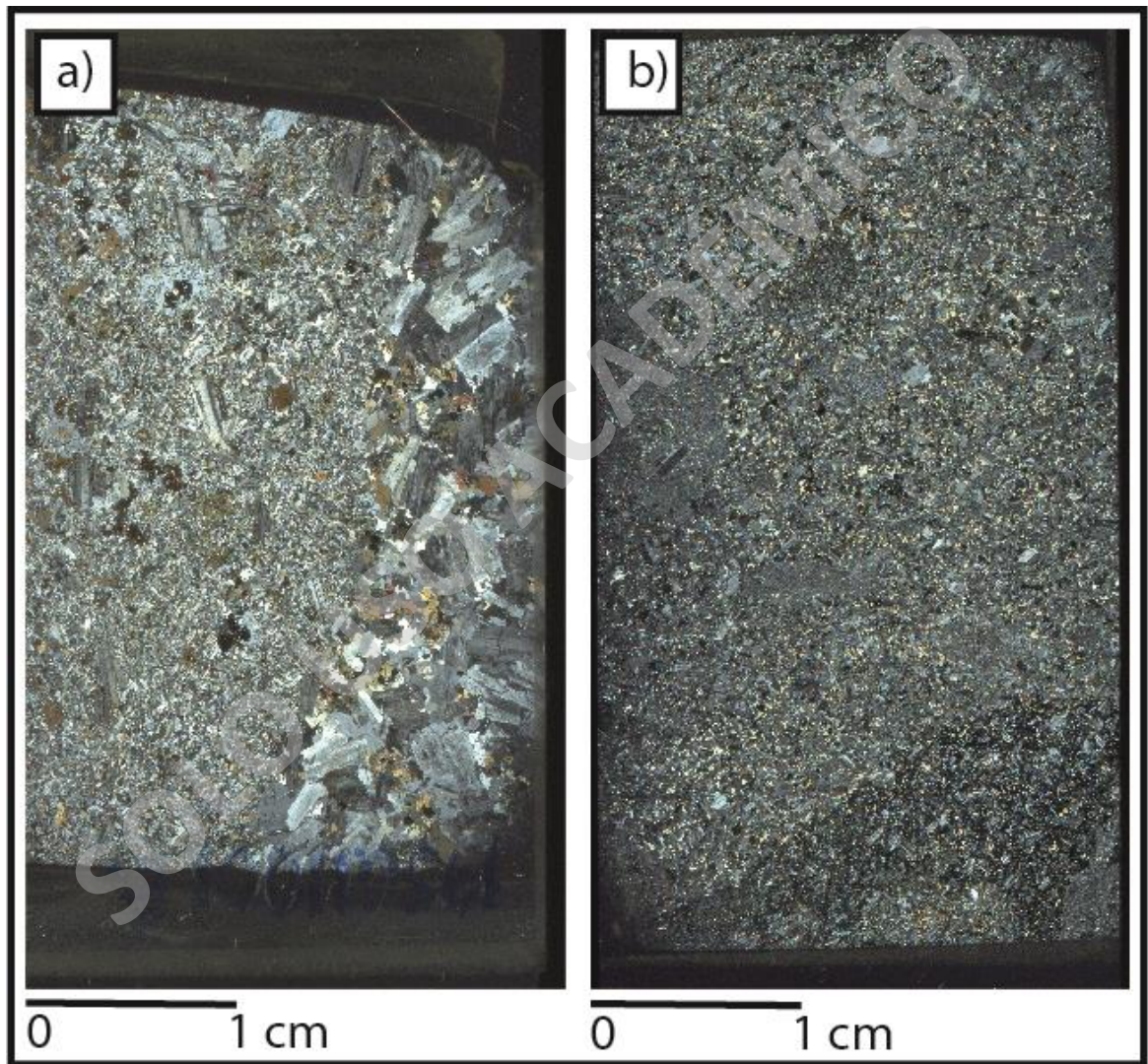


Figura 39. Cortes escaneados sectores 19SGI1001 (a) y 19SGI1201 (b), como se puede observar en ningún caso se observan foliación y lineación de cristales a escala macroscópica y microscópica

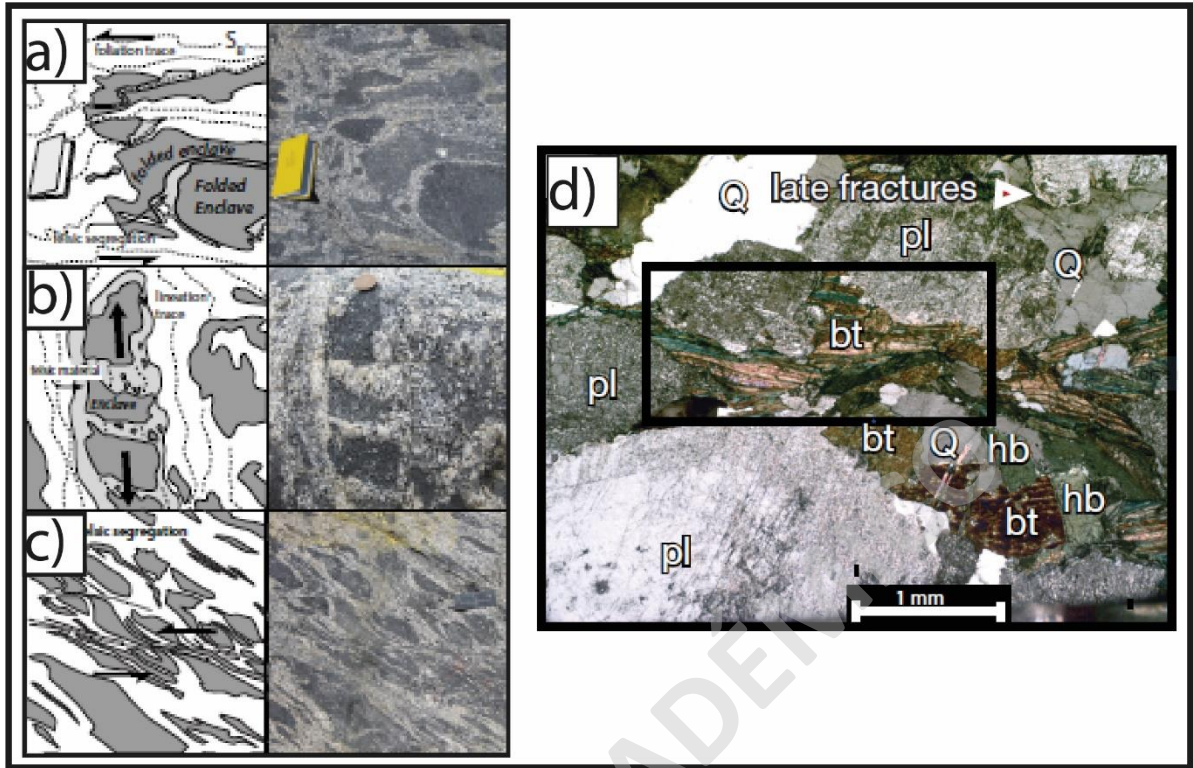


Figura 40. a) Enclaves plegados con material leucocrático concentrado, b) Enclave en forma de *boudinage* producto de deformación tectónica, c) Enclave registra desplazamiento sinistral asociado a zonas de cizalle y d) Cristal de biotita deformado. Figura extraída y modificada de Webber et al., (2015).

5.2.3 Evidencias de enfriamiento y orden de cristalización en enclaves máficos.

Como se ha podido observar, los enclaves presentan texturas intergranulares en las plagioclasas (cristales correspondientes a los originados durante la génesis de los enclaves, no a los fenocristales disgregados por el mingling) el cual es el mineral primario con una mayor abundancia. Esta textura es indicativa de una baja tasa de nucleación, pero un rápido crecimiento cristalino de la plagioclasa respecto a otras fases minerales. De igual manera, las plagioclasas presentes se ven afectadas por cambios en la composición del fundido, a medida que los cristales de plagioclasa van creciendo van incorporando ciertos elementos del fundido, específicamente Ca. Es por ello que a medida que el fundido se empobrece en elementos la plagioclasa utiliza el Na restante, esto provoca zonaciones las cuales pueden ser inversas o normales. Respecto a las acumulaciones de minerales presentes, estos han sido originados por la formación de cúmulos producto del enfriamiento, como “islas” de cristales de un mismo mineral, en este caso de piroxeno (Figura 41) (Winter. J, 2001).

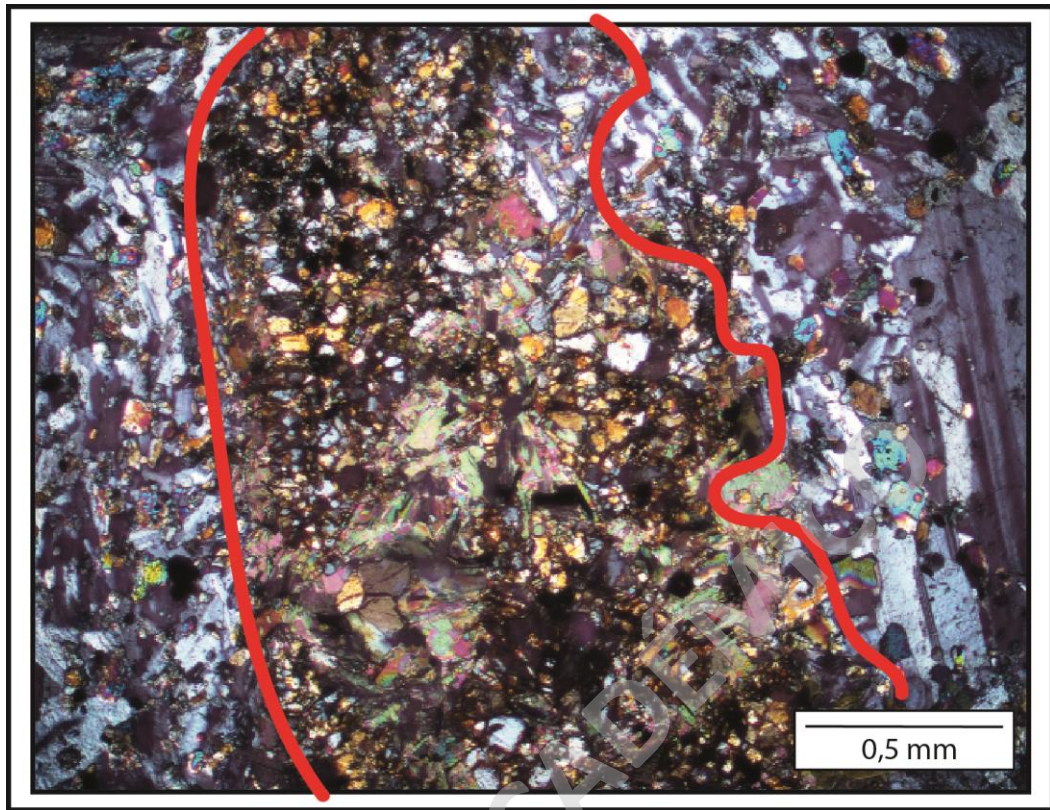


Figura 41. Cúmulos de piroxeno presente en el corte transparente pulido del sector 19SGI0301, nicoles x.

Los minerales presentes en los enclaves máficos del plutón San Gabriel presentan diferentes texturas a escala macroscópica, los enclaves magmáticos cristalinos tienen textura porfírica, mientras que los enclaves microcristalinos una textura afanítica. A escala microscópica se observan texturas intergranulares en plagioclasas con dos familias de granos y textura glomeroporfírica (cúmulos) en minerales máficos, diferenciándose incluso en tamaño, lo que es indicativo que los minerales no cristalizaron bajo condiciones de enfriamiento similares.

Castro et al. (1991) han definido que los enclaves de composiciones tonalíticas o similares suelen registrar distintas etapas de enfriamiento y cristalización. Durante la primera etapa se generan los fenocristales de plagioclasa y se mezclan con los xenocristales de plagioclasa disgregados desde el granito, los que representan un mayor tiempo de cristalización. Durante esta etapa también pueden formarse los piroxenos y una baja cantidad de anfíbolos, debido a que en primera instancia cristalizan los minerales máficos deshidratados y posteriormente los hidratados, los cuales incluso pueden ser xenocristales. En una segunda etapa existe un proceso de cristalización bajo un

enfriamiento relativamente rápido, en la cual cristalizan los minerales máficos hidratados (anfíbola y biotita). La tercera y última etapa corresponde a la cristalización de minerales en intersticios a partir de fluidos residuales. En el caso de los enclaves del plutón San Gabriel, el mineral residual corresponde a cuarzo, el cual presenta un tamaño menor en comparación a los demás minerales (Figura 42).

Finalmente, los minerales secundarios presentes fueron originados producto de alteraciones asociados a procesos hidrotermales de muy baja pervasividad, en los cuales se altera la anfíbola para dar lugar a clorita, biotita secundaria o epidota.

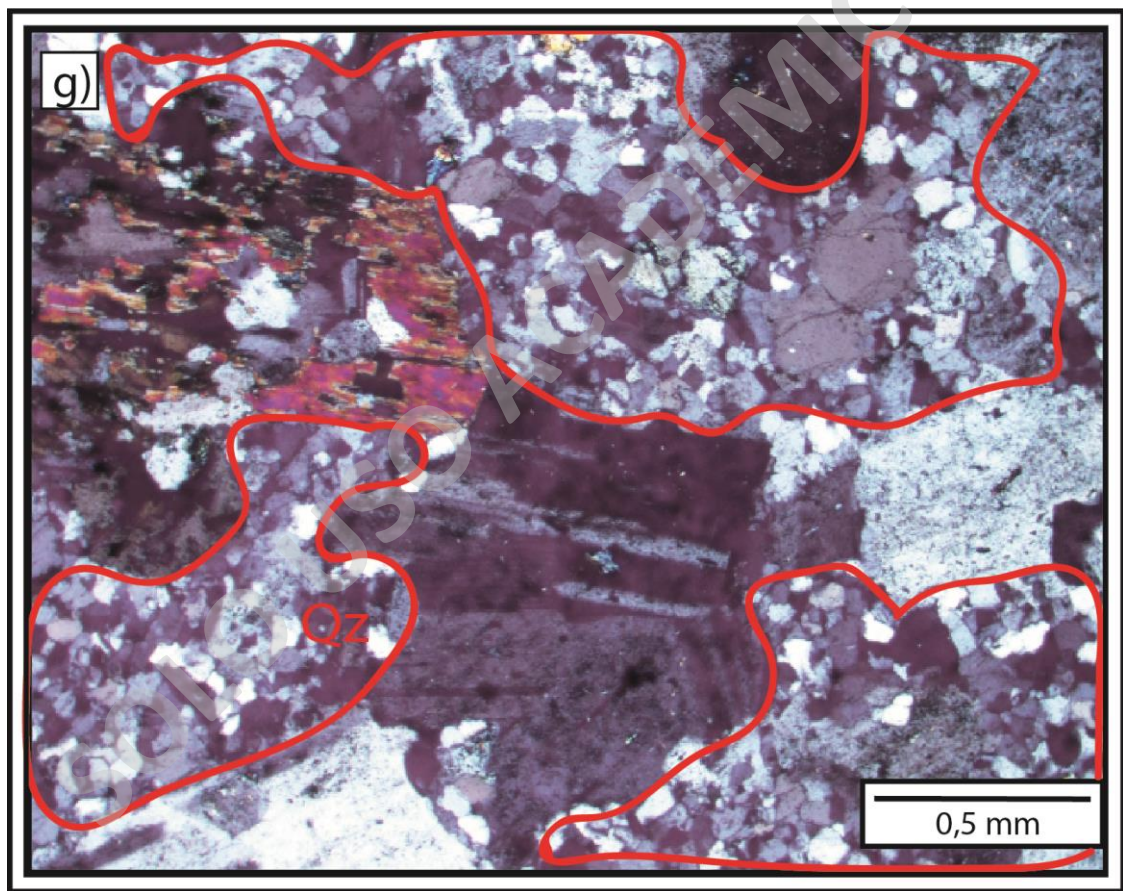


Figura 42. Corte transparente pulido sector 19SGI0202 nicols x, en el cual se puede observar el mineral que cristaliza en una etapa final (Cuarzo)

5.3 Origen de la deformación registrada por los enclaves máficos del plutón San Gabriel.

La deformación de plutones y otros cuerpos ígneos puede estar generada por mecanismos netamente asociados a estructuras (Webber et al., 2015) o por procesos magmáticos (Carichi et al., 2012) asociados a la dinámica del magma. En el caso de la deformación tectónica (externa al sistema magmático) en ambientes compresivos, las principales evidencias observables a nivel macroscópico son: la presencia de fracturas, diques, enclaves fracturados o deformados. Mientras que a escala microscópica se suele observar la presencia de cristales fracturados, lo que implicaría una deformación del tipo frágil o la presencia de plegamientos, estrechamientos o ensanchamientos en el caso de una deformación del tipo dúctil asociado a procesos externos a la cámara. Por otro lado, en el caso de una deformación de origen magmático la deformación es de estilo dúctil debido a procesos internos del reservorio, tal como la convección interna dentro del reservorio.

Respecto al plutón San Gabriel, los enclaves máficos, tanto magmáticos cristalinos como microcristalinos, presentan en su mayoría formas oblatas ubicados principalmente en la Unidad II y III del plutón San Gabriel (Payacán et al, en prep) lo que implicaría que la mayoría de los enclaves oblatos fueron deformados durante un *strain* del estilo compresivo (Passarelli et al., 2004), mientras que los enclaves prolatos se concentran principalmente en la Unidad P del plutón San Gabriel, su forma está asociada a un *strain* del tipo constricción (Passarelli et al., 2004).

Tanto las formas oblatas como prolatas de los enclaves se encuentran asociadas a un *strain* originado al interior del reservorio. No obstante, la orientación de la mayoría de los enclaves presenta una tendencia vertical a subvertical, lo que implica que las orientaciones fueron producidas durante el ascenso del magma en conjunto con la convección tal como mencionan Webber et al., (2015), producto de un ascenso en forma helicoidal, es decir, los glóbulos de magma básico ascienden respecto a un eje transitorio en forma ondulada (Figura 43), este patrón helicoidal se puede evidenciar al observar la orientación de los ejes de anisotropía de los elipsoides, ya que, a medida que el magma en conjunto con los glóbulos máficos asciende, los elipsoides se orientan de manera tanto manera vertical como horizontal, esto podría explicar además por qué la lineación y foliación de los enclaves presenten tendencias verticales a subverticales. Asumiendo que los enclaves en un estado inicial presentarían una forma esferoidal, la deformación presente de los enclaves fue producida únicamente por un tipo de deformación de origen magmático asociada a procesos convectivos en los que sumado a los contrastes de los magmas y sus características

reológicas durante el mingling, produjo que la deformación ocurriera en un estado dúctil a semidúctil, es decir, contemporáneo a la etapa en la que el plutón se mantenía en un estado termal activo. La deformación de los enclaves no fue originada por un proceso tectónico asociado a esfuerzos por estructuras aledañas al plutón (fallas o plegamientos), debido a que, estos no presentan evidencias tales como fracturamiento o deformación en la forma a escala mesoscópica, mientras que a nivel microscópico los cristales no presentan deformación, fracturamientos o alguna orientación preferencial (lineación/foiliación). Además, se ha podido observar que las orientaciones de los elipsoides siguen un patrón de orientación similar a los bordes del plutón San Gabriel, lo que sería un indicador de que a medida que los magmas en conjunto con los glóbulos máficos ascienden, estos se van orientando respecto a los bordes del plutón.

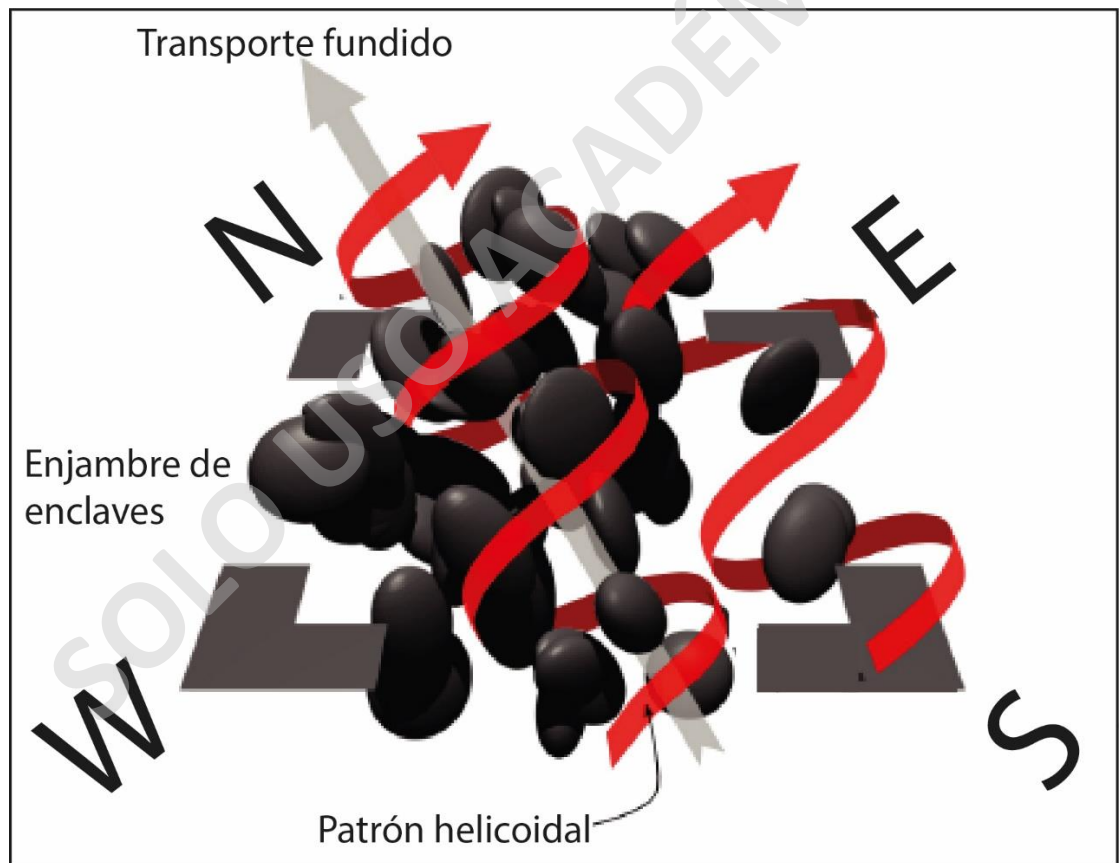


Figura 43. Modelo de transporte helicoidal por el cual el magma asciende propuesto por Webber et al., (2015).

Si bien la orientación del plutón San Gabriel es similar a la de los enclaves máficos, esto no implica que los enclaves fueran deformados por un proceso tectónico, ya que, estos no presentan alguna tendencia en la lineación o foliación de los cristales a nivel microscópico. Este desorden pudo haber sido producto de que en una primera fase los glóbulos que dieron paso a la generación de los enclaves máficos se encontraban internamente en un estado fundido, es por ello que algunos enclaves presentan orientaciones similares al rumbo y bordes del plutón, ya que mientras estos ascendían hacia el reservorio se iban deformando y cambiando su morfología de esferas a elipsoides respetando la forma del plutón (Figura 44). Es por ello que no existen orientaciones preferenciales de los cristales, ya que estos no se ven afectados por esfuerzos asociados a la tectónica que produzca alguna deformación al momento de la cristalización, es decir, en casos similares al plutón San Gabriel la tectónica externa no modifica el registro interno de la deformación debido a que este proceso solo afecto a la “costra” o bordes de los enclaves en un estado inicial, mientras que el interior aún se encontraba fundido.

En conclusión, existieron esfuerzos asociados a la tectónica que controlaron la forma alargada del plutón, pero estos no modificaron el interior de este, es decir, no afectaron al proceso de la evolución del interior del plutón, ya que el interior evoluciona posteriormente.

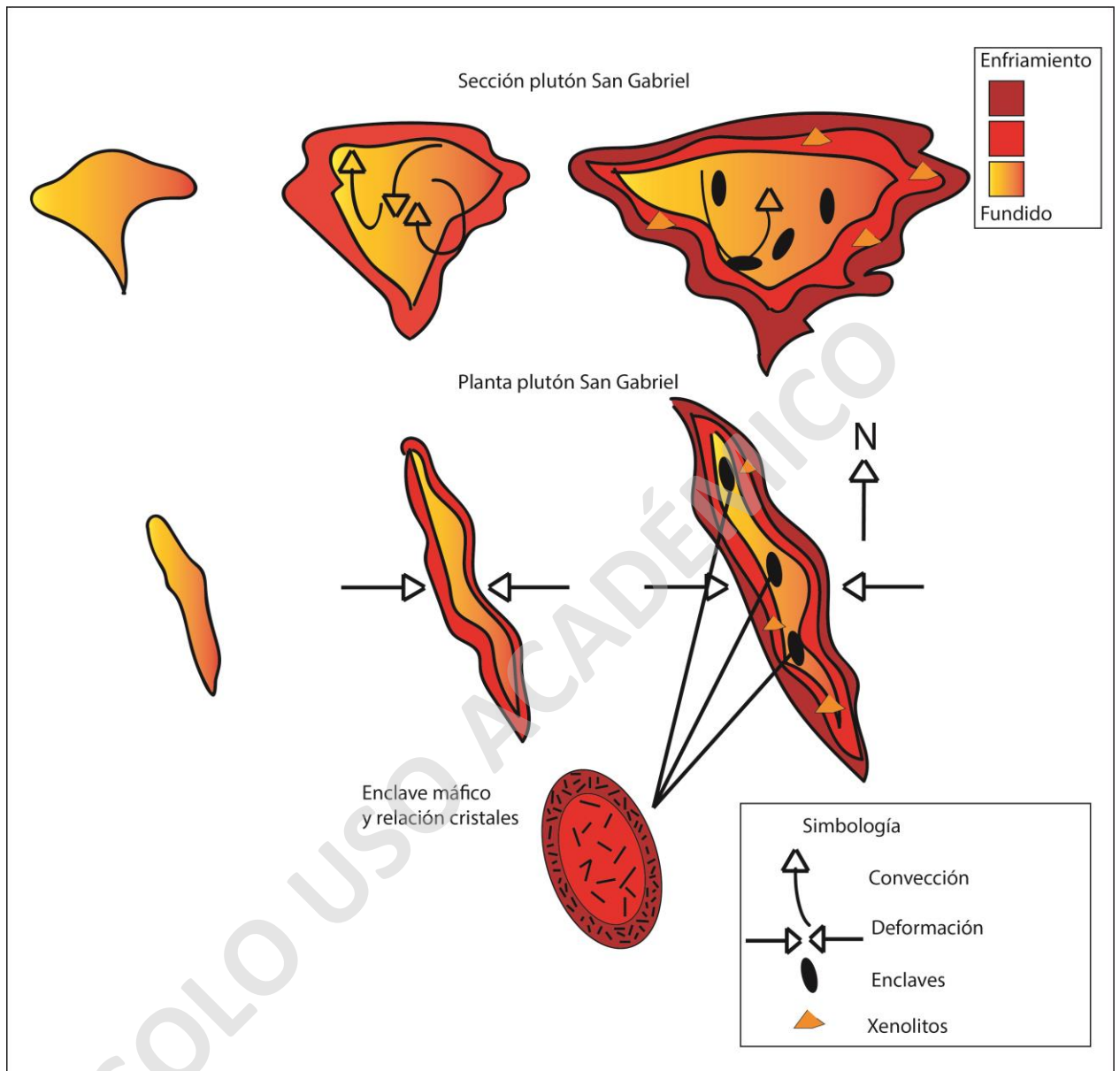


Figura 44. Modelo conceptual en el cual se explica cómo es controlada la forma del Plutón San Gabriel debido a la compresión tectónica (vista en planta), además se explica cómo se genera una costra a medida que el plutón cristaliza, de igual manera se muestra como los enclaves son orientados respecto a la forma del Plutón y de la dinámica del magma al interior, finalmente se muestra como el interior de los enclaves máficos no presentan ningún patrón de orientación respecto a los cristales (lineación o foliación).

5.4 Geometría del Plutón San Gabriel.

Respecto a la geometría del plutón, este presenta una forma alargada con una orientación NNO consistente con las estructuras presentes hacia el E y O del plutón y su orientación coincide con la dirección ortogonal a la definida por el campo de *stress* regional dado por la convergencia de las placas de Nazca y Sudamericana.

Estudios recientes mediante modelos análogos que explican el emplazamiento de cuerpos ígneos en ambientes compresivos (Montanari, D et al., 2010; Ferré, E. 2012) similares a la génesis del plutón San Gabriel respecto al ambiente tectónico, estos estudios indican la probabilidad de que la forma alargada que presenta este plutón sea producto de una tasa de inyección magmática lenta, ya que si la tasa de inyección fuera rápida, el plutón presentaría una forma circular (Figura 45). Además, como se menciona la tectónica controla la evolución de los reservorios magmáticos mediante los esfuerzos y las tasas de inyección, finalmente cabe destacar que en ambos modelos análogos la roca de caja (arena) presenta una isotropía regular, mientras que en el caso del plutón San Gabriel, las rocas de caja en la cual se emplazó el plutón presenta diferentes anisotropías, además internamente presenta diferencias respecto a las condiciones reológicas, estructurales y petrográficas.

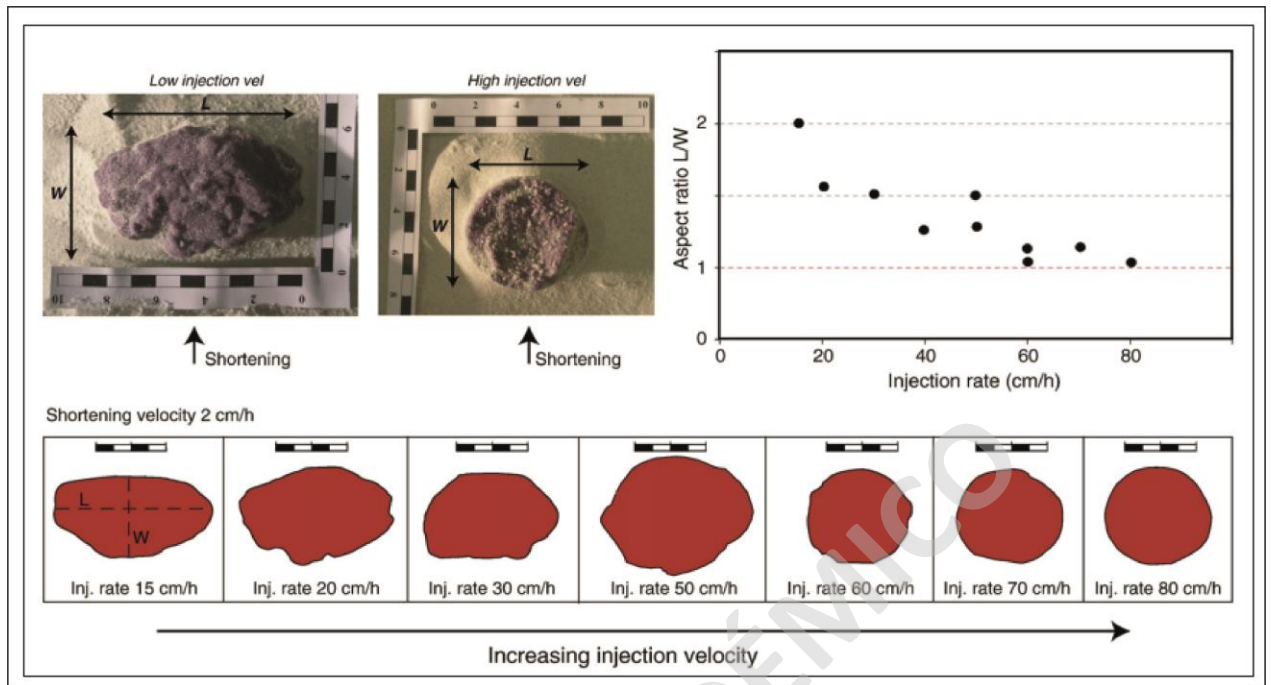


Figura 45. Modelo análogo en el cual se explica la forma que obtiene un cuerpo ígneo, respecto a las tasas de inyección magmática, como se puede observar si la tasa de inyección es lenta, el plutón presentara una forma más elongada, mientras que, si la tasa de inyección es rápida, el plutón presentara una forma circular, figura extraída de Montanari, D. et al., (2010).

Como se ha podido observar, las principales evidencias encontradas permiten interpretar que no existió un efecto asociado a estructuras tectónicas durante la génesis de los enclaves máficos, ya que como se mencionó anteriormente la tectónica afecta solo a la forma del plutón, ya que el interior de este evoluciona posteriormente.

La mayoría de los enclaves máficos presentan una orientación similar a la orientación del plutón, no obstante, esta implicancia tectónica se desestima, ya que, como menciona Vernon (1988) para que existiera una deformación tectónica asociada a los enclaves, estos deberían presentar aparte de la deformación en la forma un cierto lineamiento de múltiples enclaves. Si bien durante la observación in situ del plutón San Gabriel se encontraron planos de falla, y zonas de debilidad a nivel local, se ha podido determinar que este efecto de estructuras tectónicas ocurrió posterior a la génesis del plutón, ya que las fallas que se encuentran cortando algunas unidades del plutón incluso con enclaves máficos en las zonas aledañas.

6 Conclusiones.

El plutón San Gabriel presenta enclaves máficos los cuales presentan variabilidad, es decir, no todos son similares, es por esto que los enclaves fueron caracterizados en 2 grupos basados en las características morfológicas y petrográficas principalmente.

La principal diferencia es la morfología y sus características texturales, ya que, los enclaves magmáticos cristalinos presentan bordes redondeados a subredondeados asociados a composiciones dioríticas, cuarzodioríticas y en muy bajo contenido tonalíticas y texturas a escala macroscópico porfírica. Mientras que los enclaves microcristalinos corresponden a xenolitos con bordes subangulosos a angulosos asociados a composiciones similares a las rocas de caja donde el plutón se encuentra emplazado, es decir, cuarzodioritas y tonalitas con texturas a escala macroscópica del tipo afanítica.

Los enclaves magmáticos cristalinos se concentran en las unidades P y III del plutón, es decir, en las unidades intrusivas centrales del plutón, las que presentan una composición intermedia ($> \% \text{SiO}_2$). Esto indica que en las unidades más diferenciadas del plutón se produjo *mingling* o una mezcla heterogénea de magmas, lo que en conjunto con la dinámica del emplazamiento generó que los enclaves obtuvieran una orientación principalmente vertical a subvertical en la mayoría de las zonas. Respecto a los enclaves microcristalinos o xenolitos, estos se concentran principalmente en la Unidad II del plutón San Gabriel, fueron generados previo a la génesis de los enclaves cristalinos, producto del emplazamiento del magma bajo las formaciones Farellones y Abanico, lo que produjo el fracturamiento de la roca de caja y posteriormente por la dinámica interna del plutón. Estos fueron orientados y distribuidos en las diferentes ubicaciones de esta unidad. En algunos sectores se encontraron enclaves residuales, es decir, enclaves compuestos por minerales tardíos como turmalina y feldespatos potásico. Estos presentaban una muy baja concentración y su génesis está relacionada únicamente a procesos en el que los fluidos tardíos enriquecidos se concentran y posteriormente rellenan cavidades.

En cuanto a la temporalidad de la génesis respecto a los grupos de enclaves previamente definidos, el primer grupo en ser originado corresponde a los enclaves microcristalinos, debido a que estos fueron generados producto del emplazamiento del magma en la roca de caja, provocando que se desprendieran fragmentos de este hacia el reservorio por el proceso de *stoping*. Mientras

que en una segunda etapa se originaron los enclaves magmáticos cristalinos producto de la mezcla heterogénea de magma o *mingling*.

La forma alargada del plutón San Gabriel se encuentra controlada principalmente por factores tectónicos asociados a las dinámicas de esfuerzos compresivos en conjunto con una tasa de inyección magmática relativamente baja, ya que de lo contrario este hubiera presentada una forma similar a un círculo.

Respecto a la deformación presente y registrada en los enclaves máficos, este indica que es del tipo magmático, donde producto del ascenso magmático a través de zonas de fracturas, la convección del magma en conjunto de patrones helicoidales de ascenso magmático provocó que los enclaves presenten una deformación con una morfología principalmente elipsoidales. Las orientaciones de los enclaves fueron generadas bajo influencia de la forma del plutón (orientación NNO), ya que, como se pudo observar en la caracterización de las orientaciones de los enclaves, estos se encuentran orientados en su mayoría hacia el NNO, respecto a la ubicación de los enclaves. Estos se concentran aleatoriamente en las unidades P, II y III del Plutón, esto quiere decir que el proceso de la génesis de los enclaves ocurrió cuando tanto el magma básico como el ácido presentaban una baja viscosidad, es decir existía un bajo contenido de cristales (<30 – 35% Cx).

Finalmente respondiendo a la hipótesis, la deformación de ambos grupos de enclaves máficos ocurrió debido a un efecto principalmente de origen magmático durante una fase principalmente fundida, con un bajo % de cristalización, una vez estos grupos de enclaves se situaron en un lugar específico, respetaron la forma del plutón, ya que en su mayoría estos presentan una orientación similar al rumbo del plutón San Gabriel.

6.1 Recomendaciones.

A modo de recomendación en este estudio con la finalidad de mejorar y detallar de mejor manera este, se proponen los siguientes análisis:

- Análisis geoquímicos con la finalidad de determinar y confirmar los tipos de magmas generadores de los enclaves respecto al plutón San Gabriel, además de acotar los campos de

estos magmas en diagramas TAS (*total alkali- silica*), según series magmáticas y determinar el contenido de elementos mayores/ menores como por ejemplo gráficos Harker.

- Análisis de proveniencia respecto a minerales como el circón, con la finalidad de corroborar la proveniencia de los enclaves microcristalinos respecto a la roca de caja de las formaciones Abanico y Farellones
- Datación geocronológica mediante datación de minerales máficos provenientes del plutón San Gabriel y enclaves ubicados en diferentes zonas del plutón con la finalidad de determinar temporalidades respecto a la génesis de estos.

SOLO USO ACADÉMICO

7 Referencias.

- Alvarado, F. 2016. Evolución Tectonoestratigráfica de la cordillera principal occidental, entre 34°20'S y 34°40'S, Chile central. Tesis de Magister en Ciencia Mención Geología, Universidad de Chile.
- Araneda, M., Avendaño, M., Merlo, C., 2000. Modelo gravimétrico de la Cuenca de Santiago, etapa II final. IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, pp. 404-408
- Armijo, R., Rauld, R., Thiele, R., Vargas, G., Campos, J., Lacassin, R., Kausel, E., 2010. The West Andean Thrust, the San Ramon Fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile.
- Aubouin, J; Borrello, A; Cecioni, G; Charrier G; Chotin, P; Frutos, J; Thiele, R; Vicente, J. 1973. Esquisse Paléogéographique et structurale des Andes Méridionales. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique* v.15 (fasc.1-2):pp.11-72.
- Barbarin, B., Didier, J., 1992. Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves through various types of interaction between coexisting felsic and mafic magmas. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 83, 145–153.
- Bergantz, G. et al., 1991. Magmatic processes. *Eos*, Vol. 72, No. 8.
- Best, M. 2003. *Igneous and metamorphic petrology* second edition. Blackwell Publishing.
- Castro, A.; Moreno – Ventas, I.; de la Rosa, J.D. 1991, Multistage crystallization of tonalitic enclaves in granitoid rocks (Hercynian belt, Spain): implications for magma mixing. *Geologische Rundschau* 80 (1): 109 – 120.
- Caricchi, L., Annen, C., Rust, A., & Blundy, J. (2012). Insights into the mechanisms and timescales of pluton assembly from deformation patterns of mafic enclaves. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B11)
- Cembrano, J., Lavenu, A., Yanez, G., Riquelme, R., Garcia, M., Gonzalez, G., Herail, G., 2007. Neotectonics. In: Moreno, T., Gibbons, W. (Eds.), *The Geology of Chile*. The Geological Society, London, pp. 231–261.
- Chappell, B.W.; White, A.; Wyborn, D. 1987, The importance of residual source material (restite) in granite petrogenesis. *J. Petrol.* 28, 1111 – 1138.
- Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J. J., Gans, P., Kay, S. M., Muñoz, N., Swisher, C. C. III, Wyss, A. R. and Zurita, E., 2002. Evidence for extensional basin development and tectonic

- inversion in the southern central Andes, Chile (33°-36° S). *Journal of South American Sciences*, Vol 15, Nº 1, p. 117-139.
- Deckart, K. et al., 2010. Barren Miocene granitoids in the Central Andean metallogenic belt, Chile: Geochemistry and Nd-Hf and U-Pb isotope systematics. *Andean Geology*, vol. 37, no. 1, p. 1-31.
- Ferré, E. C., Galland, O., Montanari, D., & Kalakay, T. J. (2012). Granite magma migration and emplacement along thrusts. *International Journal of Earth Sciences*, 101(7), 1673 – 1678.
- Flinn, D., 1978. Construction and computation of three-dimensional deformations. *Journal of the Geological Society of London*, 135, p. 291-305.
- Fock, A., Charrier, R., Farías, M. y Muñoz, M., 2006. Fallas de vergencia oeste en la Cordillera Principal de Chile Central: Inversión de la cuenca de Abanico (33°-34°S). *Revista de la Asociación Geológica Argentina, Publicación Especial 6*, 48-55.
- Frost, T.; Mahood, G. 1987, Field, chemical, and physical constraints on mafic – felsic magma interaction in the Lamarck Granodiorite, Sierra Nevada, California. *Geological Society of American Bulletin* 99(2), 272 – 291
- Glazner, A. F., Bartley, J. M., Coleman, D. S., Gray, W., & Taylor, R. Z. (2004). ¿Are plutons assembled over millions of years by amalgamation from small magma chambers? *GSA Today*, 14(4), 4.
- Godoy, E., Yañez, G. y Vera, E., 1999. Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Chilean Central Andes: first seismic and gravity evidences: *Tectonophysics*, v. 306, p. 217–236.
- Kay, S. M., Godoy, E., Kurtz, A. 2005. Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 117, no. 1-2, p. 67-88.
- Khazaradze, G., Klotz, J., 2003. Short- and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the south central Andes. *J. Geophys. Res.* 108, 2289,
- Kurtz, A., 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). *Revista Geológica de Chile*. Vol 24.

- Laumonier, M., Scaillet, B., Pichavant, M., Champallier, R., Andujar, J., & Arbaret, L. (2014). On the conditions of magma mixing and its bearing on andesite production in the crust. *Nature Communications*, 5(1).
- Montanari, D., Corti, G., Sani, F., Del Ventisette, C., Bonini, M., & Moratti, G. 2010. Experimental investigation on granite emplacement during shortening. *Tectonophysics*, 484(1-4), 147–155.
- Oliveros, V., Vásquez, P., Creixell, C., Lucassen, F., Ducea, M. N., Ciocca, I., ... Kasemann, S. A. (2019). Lithospheric evolution of the Pre- and Early Andean convergent margin, Chile. *Gondwana Research*.
- Pasarelli, C., Stipp, M., Costa, M. 2004. Geocronologia e geologia isotópica dos terrenos Pré-Cambrianos da porcao Sul – Oriental do Estado de Sao Paulo. *Revista do Instituto de Geociencias - USP*.vol 4.
- Paterson, S.R., and Vernon, R.H. 1995. Bursting the bubble of ballooning plutons: A return to nested diapirs emplaced by multiple processes. *Geological Society of America Bulletin*, 107, 11, 1356–1380.
- Payacan, I., Pizarro, B., Gutierrez, F. en prep. Mafic enclaves within the upper crustal intermediate pluton San Gabriel (central Chile): inferences on the rheological architecture of a magma reservoir.
- Peña, T. 2014. Revisión documental sobre la dinámica de los magmas. Centro de Geociencias, UNAM, 76230, Querétaro, México.
- Petford, N., Cruden, A. R., McCaffrey, K. J. W., & Vigneresse, J.-L. (2000). Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust . *Nature*, 408(6813), 669–673.
- Ramos, V. 1989. The Birth of Southern South America. *The Birth of Southern South America. American Scientist*. Vol. 77, No 5, p. 444-450.
- Robin, P.F., 2002. Determination of fabric and strain ellipsoids from measured sectional ellipses theory. *Journal of Structural Geology* 24, 531-544.
- Shan, Y., 2008. An analytical approach for determining strain ellipsoids from measurements on planar surfaces. *Journal of Structural Geology* 30, 539-546.
- Scheuber, E., & Gonzalez, G. (1999). Tectonics of the Jurassic-Early Cretaceous magmatic arc of the north Chilean Coastal Cordillera (22°-26°S): A story of crustal deformation along a convergent plate boundary. *Tectonics*, 18(5), 895–910.

- Tapia, F. 2015, Evolución tectónica y configuración actual de los Andes Centrales del Sur (34°45'-35°30'S). Tesis de Doctorado en Ciencias Mención Geología, Universidad de Chile.
- Thiele, R. 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N°29. 51 p.
- Vassallo, J.J., Wilson, C.J.L., 2002. Palaeoproterozoic regional-scale noncoaxial deformation: an example from eastern Eyre Peninsula, South Australia. *Journal of Structural Geology* 24 (1), 1–24.
- Varas, M. 2011. Naturaleza, distribución espacial e implicaciones petrogenéticas de los enclaves máficos microgranulares del complejo plutónico Illapel, cordillera de la costa, Chile central. Tesis de Magister en Ciencia Mención Geología, Universidad de Chile.
- Vernon, R. H., Etheridge, M. A., & Wall, V. J. (1988). Shape and microstructure of microgranitoid enclaves: Indicators of magma mingling and flow. *Lithos*, 22(1), 1–11.
- Vernon, R. H. 2004, *A Practical Guide to Rock Microstructure*, Oxford University Press: pp. 606, Oxford.
- Vignerresse, J.L. 1995b. Crustal regime of deformation and ascent of granitic magmas. *Tectonophysics* 249, 187–202.
- Villela, D. 2015. Desarrollo estructural de la cordillera principal al suroeste del río Maipo, sector del Ingenio, Región Metropolitana, Chile (33°40'-33°50'S). Tesis de Magister en Ciencia Mención Geología, Universidad de Chile.
- Webber, J. R., Klepeis, K. A., Webb, L. E., Cembrano, J., Morata, D., Mora-Klepeis, G., & Arancibia, G. (2015). Deformation and magma transport in a crystallizing plutonic complex, Coastal Batholith, central Chile. *Geosphere*, 11(5), 1401–1426.
- Winter, J. 2001. *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. Prentice hall.
- Zak, J., Paterson, S. R., & Memeti, V. (2007). Four magmatic fabrics in the Tuolumne batholith, central Sierra Nevada, California (USA): Implications for interpreting fabric patterns in plutons and evolution of magma chambers in the upper crust. *Geological Society of America Bulletin*, 119(1-2), 184–201.

8 Anexos.

Tabla estadística: cuantificación y caracterización pluton San Gabriel.

Sector	Datos			Ubicación (UTM)		Código			Características					
	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra man o	Foto	Mues tra testig o	Form a	Bordes	T.eje mayor	T.eje menor	Relac ión de aspec to	Tipo de enclave
19SGI01	345	57	31	6261 028	3872 11	19S GIO 101 E 19S GIO 102 E	1627		Elips e	B.redo ndos	8	5	1,6	Magmá tico cristali no
	355	75	69				1635		Oval ada	B.redo ndos	9,4	3,1	3,0	Magmá tico cristali no
	340	80	65				1631		Oval ada	B.redo ndos	7	4,8	1,5	Magmá tico cristali no
	330	61	40				1632		Oval ada	B.redo ndos	8,8	6,5	1,4	Magmá tico cristali no
	334	70	50				1633		Oval ada	B.redo ndos	9,8	5,4	1,8	Magmá tico cristali no
	355	46	60				1630		Oval ada	B.redo ndos	10	4,2	2,4	Magmá tico cristali no
	350	50	45				1634		Oval ada	B.redo ndos	10,7	4,3	2,5	Magmá tico cristali no
	340	46	128				1626		Oval ada	B.redo ndos	6,2	4	1,6	Magmá tico cristali no
	204	70							Circu lar	B.redo ndos	8,2	6,1	1,3	Magmá tico cristali no
	190	55	0				1636		Oval ada	B.redo ndos	6,3	6,4	1,0	Magmá tico cristali no
	215	63							Elips e	B.redo ndos	7,5	6	1,3	Magmá tico cristali no
195	50				Elips e	B.redo ndos	6,7	3,2	2,1	Magmá tico cristali no				

	203	65	15				1825		Elipse	B.redondos	6,8	3,1	2,2	Magmático cristalino
	194	73	28				1826		Elipse	B.redondos	6,8	3,7	1,8	Magmático cristalino
	215	45	30				1827		Elipse	B.redondos	7,2	5,4	1,3	Magmático cristalino
	228	65	45				1828		Elipse	B.redondos	5	3,8	1,3	Magmático cristalino
	190	43	50				1637		Elipse	B.redondos	5,5	6,4	0,9	Magmático cristalino
	187	58							Elipse	B.redondos	7	4,6	1,5	Magmático cristalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI02	237	68	129	6261201	386831	19SGI0201E	1639		Circular	B.redondos	4,4	4,2	1,0	Magmático cristalino
	240	73	114				1640		Elipse	B.redondos	7,3	2,5	2,9	Magmático cristalino
	250	75						19SGI0201TE	Elipse	B.redondos	5,8	2,3	2,5	Magmático cristalino
	216	55	35				1830	19SGI0202TE	Elipse	B.redondos	7,5	3,1	2,4	Magmático cristalino
	223	48	61				1833	19SGI0203ATE 19SGI0203BTE	Elipse	B.redondos	5,4	3	1,8	Magmático cristalino
	217	60							Elipse	B.redondos	5,8	2,1	2,8	Magmático cristalino
	223	70	63				1834		Elipse	B.redondos	7,7	2,3	3,3	Magmático cristalino
	230	66							Elipse	B.redondos	6,4	4,4	1,5	Magmático cristalino

215	60	44			1839	Ovalada	B.redondos	5,6	2,2	2,5	Magmático cristalino
208	60					Ovalada	B.redondos	7,6	4,8	1,6	Magmático cristalino
210	73					Ovalada	B.redondos	7,9	4,1	1,9	Magmático cristalino
223	69					Ovalada	B.redondos	6,6	2,7	2,4	Magmático cristalino
235	77	59			1837	Ovalada	B.redondos	7,8	2,4	3,3	Magmático cristalino
228	80	33			1841	Ovalada	B.redondos	7,8	2,5	3,1	Magmático cristalino
211	70	60			1846	Ovalada	B.redondos	4,6	3,6	1,3	Magmático cristalino
250	80					Ovalada	B.redondos	6,8	2,6	2,6	Magmático cristalino
195	60					Ovalada	B.redondos	4,4	3,2	1,4	Magmático cristalino
230	50					Ovalada	B.redondos	5,4	3,3	1,6	Magmático cristalino
245	52					Ovalada	B.redondos	4,2	2,7	1,6	Magmático cristalino
230	45	70			1840	Ovalada	B.redondos	6,4	2,9	2,2	Magmático cristalino
190	58	66			1842	Ovalada	B.redondos	5,2	3	1,7	Magmático cristalino
195	55	29			1843	Ovalada	B.redondos	6,4	2,8	2,3	Magmático cristalino
227	88	36			1845	Ovalada	B.redondos	5,7	3	1,9	Magmático cristalino
230	85	27			1641	Ovalada	B.redondos	10,6	4,3	2,5	Magmático

										cristali no
225	87	84		1848	Oval ada	B.redo ndos	7	3,8	1,8	Magmá tico cristali no
231	80				Oval ada	B.redo ndos	4,2	4,9	0,9	Magmá tico cristali no
233	78				Oval ada	B.redo ndos	7,8	4,7	1,7	Magmá tico cristali no
225	75				Oval ada	B.redo ndos	6,6	2,3	2,9	Magmá tico cristali no
270	70				Oval ada	B.redo ndos	6,2	3,1	2,0	Magmá tico cristali no
263	75				Oval ada	B.redo ndos	4	3,5	1,1	Magmá tico cristali no
270	68				Oval ada	B.redo ndos	7	2,5	2,8	Magmá tico cristali no
272	69				Oval ada	B.redo ndos	4,7	4,1	1,1	Magmá tico cristali no
279	75				Oval ada	B.redo ndos	6,2	3,5	1,8	Magmá tico cristali no
265	77				Oval ada	B.redo ndos	5,8	3,4	1,7	Magmá tico cristali no
268	63				Oval ada	B.redo ndos	6,2	2,8	2,2	Magmá tico cristali no
226	60				Oval ada	B.redo ndos	5,6	3,6	1,6	Magmá tico cristali no
215	73				Oval ada	B.redo ndos	6,8	3,5	1,9	Magmá tico cristali no
218	71	69		1849	Oval ada	B.redo ndos	5,4	2,1	2,6	Magmá tico cristali no
220	72	38		1642	Elips e	B.redo ndos	5,5	2,1	2,6	Magmá tico cristali no

	225	75	15				1851		Ovalada	B.redondos	4,2	2,6	1,6	Magmático cristalino		
	228	72	75				1852		Ovalada	B.redondos	6	2,6	2,3	Magmático cristalino		
	220	80							Ovalada	B.redondos	5,5	2,1	2,6	Magmático cristalino		
	223	76							Ovalada	B.redondos	6	2,6	2,3	Magmático cristalino		
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave		
19SGI03	250	43		6261 479	3865 37	19SGI0301E			Ovalada	B.redondos	4,1	3,7	1,1	Magmático cristalino		
	251	50									Ovalada	B.redondos	8,5	3,2	2,7	Magmático cristalino
	243	55									Ovalada	B.redondos	6,6	2,7	2,4	Magmático cristalino
	255	47								19SGI1901TE	Ovalada	B.redondos	7,4	3,6	2,1	Magmático cristalino
	270	60								19SGI1902TE	Ovalada	B.redondos	8,5	6,5	1,3	Magmático cristalino
										19SGI1903TE		B.redondos	7,4	3,4	2,2	Magmático cristalino
										19SGI1904TE		B.redondos	7,4	3,4	2,2	Magmático cristalino
	105	65								19SGI1905TE	Ovalada	B.redondos	6,8	2,5	2,7	Magmático cristalino
	120	60									Ovalada	B.redondos	6,1	2,3	2,7	Magmático cristalino
	110	58									Ovalada	B.redondos	5,5	2	2,8	Magmático cristalino
115	63						Ovalada	B.redondos	8	3,2	2,5	Magmático cristalino				

122	75				Ovalada	B.redondos	5,5	3,2	1,7	Magmático cristalino
						B.redondos	6,7	3	2,2	Magmático microcristalino
234	80				Ovalada	B.redondos	4,7	2,4	2,0	Magmático microcristalino
240	77	63			Ovalada	B.redondos	5,6	2,2	2,5	Magmático microcristalino
237	74	54			Ovalada	B.redondos	4,2	3,8	1,1	Magmático microcristalino
250	83				Ovalada	B.redondos	3,5	1,7	2,1	Magmático microcristalino
243	75	22			Ovalada	B.redondos	6,3	2,8	2,3	Magmático microcristalino
238	85	3		1661	Ovalada	B.redondos	2,3	1,5	1,5	Magmático microcristalino
243	80	15			Ovalada	B.redondos	4,7	3,1	1,5	Magmático cristalino
						B.redondos	7	6,5	1,1	Magmático cristalino
265	50				Ovalada	B.redondos	6,8	3,6	1,9	Magmático cristalino
273	44				Ovalada	B.redondos	5,1	2	2,6	Magmático cristalino
261	40				Ovalada	B.redondos	6	3,4	1,8	Magmático cristalino
263	38				Ovalada	B.redondos	5,1	3,6	1,4	Magmático cristalino
264	45	10			Ovalada	B.redondos	8,7	6,6	1,3	Magmático cristalino
270	51	55			Ovalada	B.redondos	7,3	1,4	5,2	Magmático

														cristalino		
	245	50	79				1662		Ovalada	B.redondos	7	3,4	2,1	Magmático cristalino		
	253	54	49						Ovalada	B.redondos	4,6	1,5	3,1	Magmático cristalino		
	266	53	22						Ovalada	B.redondos	8,2	3,7	2,2	Magmático cristalino		
	253	55	45						Ovalada	B.redondos	6,2	3,7	1,7	Magmático cristalino		
	261	58	16						Ovalada	B.redondos	4,2	2,7	1,6	Magmático cristalino		
	267	49							Ovalada	B.redondos	6,7	3,6	1,9	Magmático cristalino		
	270	53							Ovalada	B.redondos	7,4	4,2	1,8	Magmático cristalino		
	265	54							Ovalada	B.redondos	6,7	2,6	2,6	Magmático cristalino		
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave		
19SGI04	140	60		6261 588	3864 46				Elipse	B.redondos	4,4	2	2,2	Magmático cristalino		
	133	63								Elipse	B.redondos	4,8	2,1	2,3	Magmático cristalino	
	135	58	80								Elipse	B.redondos	6,3	4,1	1,5	Magmático cristalino
	145	55	75								Elipse	B.redondos	6,5	4,7	1,4	Magmático cristalino
	148	62	33								Circular	B.redondos	3,5	3	1,2	Magmático cristalino
	140	50	50						1665		Elipse	B.redondos	6,5	3,7	1,8	Magmático

														microcr istalino
	137	60							Elipse	B.redo ndos	3,2	2,6	1,2	Magmá tico cristali no
	135	70	138				1666		Elipse	B.redo ndos	4,3	3,3	1,3	Magmá tico microcr istalino
	129	68							Elipse	B.redo ndos	6,4	3,6	1,8	Magmá tico cristali no
	115	65	70						Elipse	B.redo ndos	5,5	2,3	2,4	Magmá tico cristali no
	120	60	125						Elipse	B.redo ndos	5,4	4,2	1,3	Magmá tico cristali no
	130	73							Circu lar	B.redo ndos	3,7	3,3	1,1	Magmá tico cristali no
	133	75							Elipse	B.redo ndos	5,4	2,8	1,9	Magmá tico cristali no
	215	60							Elipse	B.redo ndos	4,3	3,5	1,2	Magmá tico microcr istalino
	223	70	69						Elipse	B.redo ndos	4,7	2	2,4	Magmá tico microcr istalino
	209	68	121						Elipse	B.redo ndos	6,2	3	2,1	Magmá tico microcr istalino
	213	60							Elipse	B.redo ndos	5,8	4	1,5	Magmá tico microcr istalino
	220	63							Elipse	B.redo ndos	5,6	4,3	1,3	Magmá tico microcr istalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Mue stra	Foto	Mues tra testig o	Form a	Bordes	Tam.ej e mayor	Tam.ej e menor	Relac ión de aspec to	Tipo de enclave
19SGI05	175	25	169	6261 656	3863 96	19S GIO 501 E	1673		Circu lar	B.redo ndos	6,1	6,6	0,9	Magmá tico microcr istalino
	185	22	97				1674		Circu lar	B.redo ndos	6,4	6	1,1	Magmá tico

										microcr istalino
179	20									Magmá tico microcr istalino
187	23									Magmá tico microcr istalino
173	27									Magmá tico microcr istalino
225	89	90			1675					Magmá tico microcr istalino
230	85	47								Magmá tico microcr istalino
233	90	88								Magmá tico microcr istalino
227	80									Magmá tico microcr istalino
235	83									Magmá tico microcr istalino
231	84									Magmá tico microcr istalino
228	86									Magmá tico microcr istalino
230	85									Magmá tico microcr istalino
232	79									Magmá tico microcr istalino
231	85									Magmá tico microcr istalino
232	87									Magmá tico microcr istalino
185	45									Magmá tico microcr istalino

	193	48	84						Circular	B.redondos	5,3	5,3	1,0	Magmático microcristalino
	180	40							Elipse	B.redondos	6,6	2	3,3	Magmático microcristalino
	193	46	12						Elipse	B.redondos	5	3,6	1,4	Magmático microcristalino
	179	39	69						Circular	B.redondos	5,2	5,5	0,9	Magmático microcristalino
	182	50	46						Circular	B.redondos	5,1	5,8	0,9	Magmático microcristalino
	185	36							Circular	B.redondos	4,1	4,4	0,9	Magmático microcristalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI06	100	65		6261 643	3858 27	19SGI0601E			Elipse	B.redondos	10,7	7,5	1,4	Magmático cristalino
	97	64	1				1679	Elipse	B.redondos	13,1	10	1,3	Magmático cristalino	
	105	60	31					Elipse	B.redondos	8,3	5,5	1,5	Magmático cristalino	
	115	63						Elipse	B.redondos	6,7	5,8	1,2	Magmático microcristalino	
	105	68	83				1682	Elipse	B.redondos	6,4	3,1	2,1	Magmático microcristalino	
	245	88	78				1680	Elipse	B.redondos	4,3	2	2,2	Magmático microcristalino	
	250	90						Elipse	B.redondos	5,3	3,2	1,7	Magmático microcristalino	
	243	85	16					Elipse	B.redondos	5,5	4,6	1,2	Magmático microcristalino	

	240	90	133				1681		Elipse	B.redondos	8	6,1	1,3	Magmático microcrystalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI07	247	85	90	6259 290	3876 15		1709		Elipse	B.redondos	5,7	3	1,9	Magmático microcrystalino
	250	80							Elipse	B.redondos	5,4	4,7	1,1	Magmático microcrystalino
	238	81	50						Elipse	B.redondos	3,7	2	1,9	Magmático microcrystalino
	237	82							Elipse	B.redondos	4,2	2,6	1,6	Magmático microcrystalino
	226	83	87						Elipse	B.redondos	3,5	2,4	1,5	Magmático microcrystalino
	238	84	36						Elipse	B.redondos	5,3	4,4	1,2	Magmático microcrystalino
	236	50	21						Elipse	B.redondos	6,5	4,1	1,6	Magmático microcrystalino
	252	70							Ovalada	B.redondos	4,7	3,3	1,4	Magmático microcrystalino
	244	65	77						Elipse	B.redondos	5,8	2,6	2,2	Magmático microcrystalino
	310	75	49						Ovalada	B.redondos	5,1	4,4	1,2	Magmático microcrystalino
	298	78	5						Ovalada	B.redondos	6,5	4,1	1,6	Magmático microcrystalino
300	75	179		1713	Elipse	B.redondos	5,3	3,5	1,5	Magmático microcrystalino				
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave

19SGI08	303	28	111	6259 345	3881 11	19S GIO 801 E 19S GIO 802 E 19S GIO 803 E			Elipse	B.redondos	5,7	4,6	1,2	Magmático cristalino	
	310	35	94						Elipse	B.redondos	9,4	5,3	1,8	Magmático cristalino	
	298	46	115						Elipse	B.redondos	7,5	6,8	1,2	Magmático cristalino	
	300	30	41						Elipse	B.redondos	3,5	2	1,8	Magmático cristalino	
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave	
19SGI09	4	55		6260 161	3878 85	19S GIO 901 E			Ovalada	B.redondos	11,8	8,8	1,3	Magmático cristalino	
	1	70	59						Ovalada	B.redondos	6,4	4,7	1,4	Magmático cristalino	
	14	89							Ovalada	B.redondos	9,7	7,4	1,3	Magmático cristalino	
	16	52	115						1737	Ovalada	B.redondos	10,7	5,3	2,0	Magmático cristalino
	15	50	19						19SG I0901 TE	Ovalada	B.redondos	8,1	6,2	1,3	Magmático cristalino
	355	58							19SG I0902 TE	Ovalada	B.redondos	5,6	4,1	1,4	Magmático cristalino
	335	35							19SG I0903 TE	Ovalada	B.redondos	7,7	3,2	2,4	Magmático cristalino
	340	40	73						Ovalada	B.redondos	6,4	5,3	1,2	Magmático cristalino	
	337	43	28						Ovalada	B.redondos	8,1	4,1	2,0	Magmático cristalino	
	327	25	171						1742	Ovalada	B.redondos	4,2	2,5	1,7	Magmático cristalino

	354	16	11						Ovalada	B.redondos	5,5	2,5	2,2	Magmático cristalino
	348	18							Ovalada	B.redondos	7	5,3	1,3	Magmático cristalino
	347	19							Ovalada	B.redondos	10,5	7,7	1,4	Magmático cristalino
	331	20							Ovalada	B.redondos	6,2	4,6	1,3	Magmático cristalino
	2	50	44				1818		Ovalada	B.redondos	8,7	5,3	1,6	Magmático cristalino
	320	83	170				1819		Ovalada	B.redondos	6,6	5,8	1,1	Magmático cristalino
	357	80	63				1820		Ovalada	B.redondos	4,2	2,4	1,8	Magmático cristalino
	70	58							Ovalada	B.redondos	7,1	6,3	1,1	Magmático cristalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI10	65	13		6259 856	3883 37	19SGI1001 E 19SGI1002 E		19SGI1001 TE	Ovalada	B.redondos	4,8	2,3	2,1	Magmático microcristalino
	80	18						19SGI1002 TE	Ovalada	B.redondos	6,3	4,2	1,5	Magmático microcristalino
	65	20	61					19SGI1003 TE	Ovalada	B.redondos	6	3	2,0	Magmático microcristalino
	70	23						19SGI1004 TE	Ovalada	B.redondos	7,4	4,5	1,6	Magmático microcristalino
	50	22	36					19SGI1005 TE	Ovalada	B.redondos	5,3	3,8	1,4	Magmático microcristalino
	40	48	119					19SGI1006 TE	Ovalada	B.redondos	8,4	5	1,7	Magmático microcristalino
							1756	19SGI1007 TE	Ovalada	B.redondos				
							1757	19SGI1008 TE	Elipse	B.redondos				
							1762							

	190	70						19SG I1009 TE	Elipse	B.redondos	15,9	10	1,6	Magmático cristalino
	155	35	75				1764		Elipse	B.redondos	10,2	7,3	1,4	Magmático cristalino
	190	26							Elipse	B.redondos	11,4	8,5	1,3	Magmático cristalino
	80	70							Elipse	B.redondos	8,3	6,2	1,3	Magmático cristalino
	84	75							Elipse	B.redondos	8,3	5,4	1,5	Magmático cristalino
	73	15	93				1821		Elipse	B.redondos	6,8	3,1	2,2	Magmático cristalino
Sector	Dipdir	Dip				Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI11	5	70		6259764	388145	19SGI101D	1763	19SG I1101 TE	Dique	B.rectos	-	-		
	345	60					1767	19SG I1102 TE	Dique	B.rectos	-	-		
	160	35					1822	19SG I1103 TE 19SG I1104 TE	Dique	B.rectos	-	-		
Sector	Dipdir	Dip	Rake			Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI12	-	-	-	Roca de caja		19SGI201R				-	-	-		
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI13	253	26		6253772	389077				Elipse	B.rectos	7	7	1,0	Magmático cristalino
	260	30	53						Elipse	B.rectos	6,3	3,8	1,7	Magmático

															crystalino	
	272	28							Elipse	B.rectos	4	2,5	1,6		Magmático cristalino	
	270	26	80						Elipse	B.rectos	5,1	2,1	2,4		Magmático cristalino	
	273	25	77						Elipse	B.rectos	7,7	5,5	1,4		Magmático cristalino	
	275	28							Elipse	B.rectos	5,2	3,2	1,6		Magmático cristalino	
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave		
19SGI14	45	20		6254852	387871				Elipse	B.redondos	6,7	4,3	1,6		Magmático cristalino	
	35	35	155						1796	Elipse	B.redondos	6	3,4	1,8		Magmático cristalino
	45	35	15						1797	Elipse	B.redondos	5	4,2	1,2		Magmático cristalino
	235	22	136						1790	Elipse	B.redondos	4,8	2,7	1,8		Magmático cristalino
	262	36	116						1791	Elipse	B.redondos	2,5	1,8	1,4		Magmático cristalino
	315	40	80						1792	Elipse	B.redondos	2,1	1,7	1,2		Magmático cristalino
	285	35	70						1795	Circular	B.redondos	3,5	3,4	1,0		Magmático cristalino
	Sector	Dipdir	Dip						Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes
19SGI15	50	80	51	6256653	386840		1786		Elipse	B.redondos	3,2	2,7	1,2		Magmático microcristalino	
	134	84	33						Elipse	B.redondos	4,3	1,1	4,0		Magmático	

															microcr istalino
	135	79	84						Elipse	B.redo ndos	4,4	3,8	1,3		Magmá tico microcr istalino
	151	79	136						Elipse	B.redo ndos	5,1	3,8	1,7		Magmá tico microcr istalino
	145	80	86						Elipse	B.redo ndos	3,7	2,6	1,4		Magmá tico microcr istalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Mue stra	Foto	Mues tra testig o	Form a	Bordes	tam.eje mayor	tam.eje menor	Relac ión de aspec to	Tipo de enclave	
19SGI16	330	55	109	6260 919	3873 95		1617	19SG I1601 TE 19SG I1602 TE 19SG I1603 TE 19SG I1604 TE 19SG I1605 TE	Oval ada	B.redo ndos	2,5	1,5	1,7	Magmá tico microcr istalino	
	345	70							Elipse	B.redo ndos	4,4	3,6	1,2	Magmá tico microcr istalino	
	320	75	108				1618		Oval ada	B.redo ndos	3,7	2,7	1,4	Magmá tico microcr istalino	
	335	65							Oval ada	B.redo ndos	5,5	3,1	1,8	Magmá tico microcr istalino	
	340	80	115				1619		Oval ada	B.redo ndos	4,1	2,4	1,7	Magmá tico microcr istalino	
	125	90	52				1904		Oval ada	B.redo ndos	4,3	2,4	1,8	Magmá tico microcr istalino	
	190	80	42				1905		Oval ada	B.redo ndos	6	3,6	1,7	Magmá tico microcr istalino	
	245	75	35				1906		Oval ada	B.redo ndos	5,7	2,4	2,4	Magmá tico crystal ino	
	205	80	79				1908		Circu lar	B.redo ndos	2,7	2,1	1,3	Magmá tico crystal ino	
	190	70	48				1910		Elipse	B.redo ndos	5,7	3,7	1,5	Magmá tico microcr istalino	
	242	28	109				1909		Oval ada	B.subr -	9,6	6,1	1,6	Magmá tico	

										angulos				microcr
	205	83	155				1911		Elipse	B.redondos	2,3	1,4	1,6	Magmático cristalino
	91	70	137				1912		Ovalada	B.redondos	3,5	2,7	1,3	Magmático cristalino
	110	70							Elipse	B.redondos	4,8	3,5	1,4	Magmático cristalino
	185	90							Elipse	B.redondos	5,7	4,5	1,3	Magmático cristalino
	190	25							Elipse	B.redondos	7	5,3	1,3	Magmático cristalino
	100	90	138				1916		Elipse	B.redondos	3,6	1,3	2,8	Magmático microcristalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testiguo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI17	250	75	105	6256893	386774		1620		Elipse	B.redondos	5,4	3,2	1,7	Residual
	260	80	35						Elipse	B.redondos	4,5	3,8	1,2	Residual
	240	72	168						Elipse	B.redondos	5,3	4,1	1,3	Residual
	278	70	28						Elipse	B.redondos	6,8	3,9	1,7	Residual
	255	65	148						Elipse	B.redondos	5,1	2,6	2,0	Residual
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testiguo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI18	322	30	56	6261751	384712		1623	19SG I1801 TE	Ovalada	B.redondos	7,3	3,1	2,4	Magmático cristalino
	314	32	147				1624	19SG I1802 TE	Ovalada	B.redondos	6	5,7	1,1	Magmático cristalino
								19SG I1803 TE	Circular	B.redondos	4,8	4,3	1,1	Magmático cristalino
	183	45	128				1626	19SG I1805	Ovalada	B.redondos	5,4	3	1,8	Magmático

								TE 19SG I1806 TE						cristalino
	200	50							Ovalada	B.redondos	6,3	4,8	1,3	Magmático cristalino
	195	32	28				1881		Elipse	B.redondos	2,1	1,8	1,2	Magmático cristalino
	160	35	71				1882		Elipse	B.redondos	4,7	2,4	1,958 3333 33	Magmático cristalino
	220	12	16				1883		Ovalada	B.redondos	7	3,4	2,1	Magmático microcristalino
	175	20	55				1884		Elipse	B.redondos	8,2	3,4	2,4	Magmático cristalino
	170	83	105				1885		Ovalada	B.redondos	8,8	4	2,2	Magmático cristalino
	177	77	83				1887		Ovalada	B.redondos	6,3	5	1,3	Magmático cristalino
									Elipse	B.redondos	9,7	7	1,4	Magmático cristalino
	85	50							Elipse	B.redondos	4,1	2,4	1,7	Magmático cristalino
	95	45							Elipse	B.redondos	5	3,5	1,4	Magmático cristalino
	133	40	146				1891		Ovalada	B.redondos	5,6	1,2	4,7	Magmático microcristalino
	110	22	125				1892		Ovalada	B.redondos	3,6	1,1	3,3	Magmático microcristalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI19	300	64	65	6253 772	3890 77		1800	19SG I1901 TE 19SG	Circular	B.redondos	7,3	7,1	1,0	Magmático cristalino
	325	60	20				1801	I1902 TE	Ovalada	B.redondos	6,6	3,5	1,9	Magmático

								19SG I1903 TE						cristalino
	290	60	86				1802	19SG I1904 TE	Ovalada	B.redondos	4,1	2,4	1,7	Magmático cristalino
	276	75						19SG I1905 TE	Elipse	B.redondos	5	2,7	1,9	Magmático cristalino
	303	65							Elipse	B.redondos	7,5	5,4	1,4	Magmático cristalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI20	316	25	22	6254 790	3876 71		1803	19SG I2001 TE	Ovalada	B.redondos	10,1	7,8	1,3	Magmático cristalino
	313	30	175				1804	19SG I2002 TE	Ovalada	B.redondos	6	4,2	1,4	Magmático cristalino
	285	65	64				1805	19SG I2003 TE	Ovalada	B.redondos	8,6	5,2	1,7	Magmático cristalino
	290	89	89				1806	19SG I2004 TE	Ovalada	B.redondos	5	3,3	1,5	Magmático cristalino
	293	80	169				1807	19SG I2005 TE	Ovalada	B.redondos	9,5	4,1	2,3	Magmático cristalino
	248	68	22				1808	19SG I2006 TE	Ovalada	B.redondos	7,8	5,4	1,4	Magmático cristalino
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testigo	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave
19SGI21	30	25	57	6256 795	3867 47		1809		Elipse	B.redondos	8,4	5,6	1,5	Magmático cristalino
	45	27	141				1812		Elipse	B.redondos	6,2	3,1	2,0	Magmático cristalino
	60	73	129				1811		Elipse	B.redondos	7,6	4,7	1,6	Magmático cristalino
	330	75	74				1810		Elipse	B.redondos	5,3	4,7	1,1	Magmático

Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra testig o	Forma	Bordes	Tam.eje mayor	Tam.eje menor	Relación de aspecto	Tipo de enclave	
19SGI22	57	70		6256 899	3865 98			19SG I2201 TE	Elipse	B.subr - angulos os	6,5	5,7	1,1	Xenolit o	
	60	69	42					1813	19SG I2201 TE	Elipse	B.subr - angulos os	4,8	2	2,4	Xenolit o
	85	70	48					1814	19SG I2204 TE	Elipse	B.subr - angulos os	7,2	3,1	2,3	Xenolit o
	10	65							19SG I2205 TE	Elipse	B.subr - angulos os	5,6	3,4	1,6	Xenolit o
	7	60	21						19SG I2206 TE	Elipse	B.subr - angulos os	7,2	4,9	1,5	Xenolit o
	13	68	39						19SG I2208 TE	Elipse	B.subr - angulos os	6,6	4,3	1,5	Xenolit o
19SGI23	7	80	88	6261 515	3850 90		1815		Elipse	B.redo ndos	4,1	3	1,4	Magmá tico cristali no	
5	80						19SG I2301 TE	Elipse	B.redo ndos	3,8	1,4	2,7	Magmá tico cristali no		
5	80	48	1816				19SG I2301 TE	Elipse	B.redo ndos	3,6	2,6	1,4	Magmá tico cristali no		
							19SG I2303 TE	Elipse	B.redo ndos	4,7	2,2	2,1	Magmá tico cristali no		
160	87	52	1817				19SG I2304 TE	Elipse	B.redo ndos	5,6	3,7	1,5	Magmá tico cristali no		
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Muestra	Foto	Muestra	Forma	Bordes	#iVAL OR!	Tam.eje menor	Relación de	Tipo de enclave	

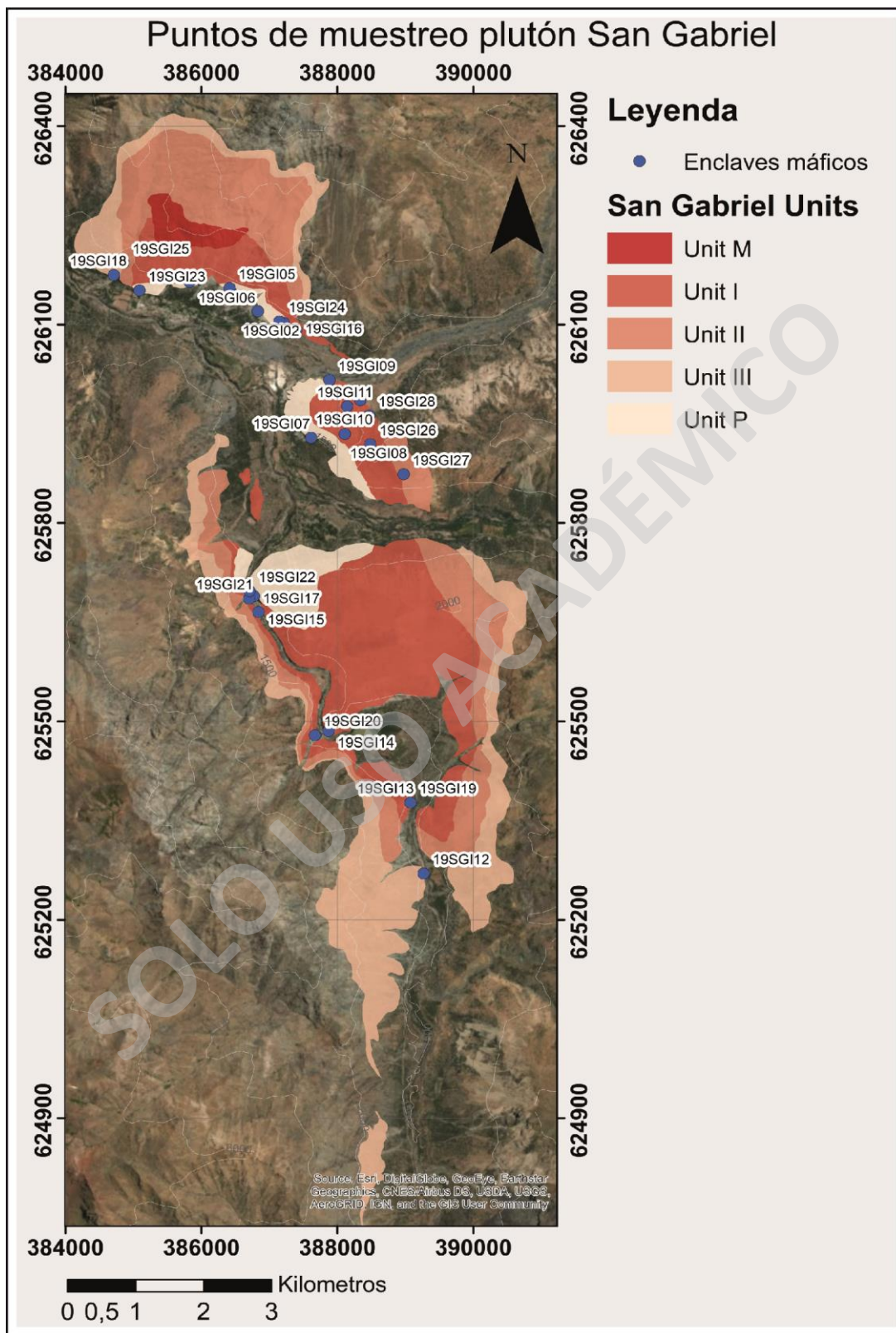
								testig o					aspec to		
19SGI24	210	80	87	6261 048	3871 49			19SG I2401 TE 19SG I2401 TE 19SG I2403 TE 19SG I2404 TE	Elipse	B.redo ndos	5,2	3,4	1,5	Magmá tico cristali no	
	220	55								Elipse	B.redo ndos	8,7	6,4	1,4	Magmá tico cristali no
	210	60	103						1823	Elipse	B.redo ndos	7,2	4,3	1,7	Magmá tico cristali no
	90	80	3						1824	Elipse	B.redo ndos	4	3,2	1,3	Magmá tico cristali no
	95	80								Elipse	B.redo ndos	3,4	1,4	2,4	Magmá tico cristali no
	97	85	19							Elipse	B.redo ndos	6,3	2,3	2,7	Magmá tico cristali no
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Mue stra	Foto	Mues tra testig o	Form a	Bordes	Tam.ej e mayor	Tam.ej e menor	Relac ión de aspec to	Tipo de enclave	
19SGI25	255	55	57	6261 933	3848 54			19SG I2501 TE 19SG I2502 TE 19SG I2503 TE 19SG I2504 TE 19SG I2505 TE	Elipse	B.redo ndos	3,1	2,6	1,2	Magmá tico cristali no	
	283	20	152						1894	Elipse	B.redo ndos	5	2,1	2,4	Magmá tico microcr istalino
	185	89	156						1896	Elipse	B.redo ndos	4,5	3,1	1,5	Magmá tico cristali no
	210	58								Elipse	B.redo ndos	3,4	2,3	1,5	Magmá tico cristali no
	205	50	104						1900	Oval ada	B.redo ndos	2,6	1,5	1,7	Magmá tico microcr istalino
	340	82	30						1901	Elipse	B.redo ndos	2,4	1,7	1,4	Magmá tico cristali no
	242	35	29						1902	Elipse	B.redo ndos	2,3	2,3	1,0	Magmá tico cristali no
	238	35	4						1903	Elipse	B.redo ndos	3,2	1,8	1,8	Magmá tico

															cristali no
	182	20							Oval ada	B.redo ndos	5,7	4,1	1,4		Magmá tico cristali no
	211	36							Oval ada	B.redo ndos	7,3	5,7	1,3		Magmá tico cristali no
	240	47							Oval ada	B.redo ndos	3,2	2,7	1,2		Magmá tico cristali no
	221	38							Oval ada	B.redo ndos	2,2	1,4	1,6		Magmá tico cristali no
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Mue stra	Foto	Mues tra testig o	Form a	Bordes	Tam.ej e mayor	Tam.ej e menor	Relac ión de aspec to	Tipo de enclave	
19SGI26	-	-	-	6259 189	3884 86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Mue stra	Foto	Mues tra testig o	Form a	Bordes	Tam.ej e mayor	Tam.ej e menor	Relac ión de aspec to	Tipo de enclave	
19SGI27	-	-	-	6258 736	3889 76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sector	Dipdir	Dip	Rake	Norte	Este	Mue stra	Foto	Mues tra testig o	Form a	Bordes	Tam.ej e mayor	Tam.ej e menor	Relac ión de aspec to	Tipo de enclave	
19SGI28	30	23	43	6259 625	3884 72		1918	-	Oval ada	B.redo ndos	2,5	1,6	1,6	Magmá tico microcr istalino	
	50	28	90				1917		Oval ada	B.redo ndos	5,2	3,4	1,5	Magmá tico microcr istalino	
	55	50	84				1919		Circu lar	B.redo ndos	3,4	3	1,1	Magmá tico microcr istalino	
	47	20	89				1920		Elips e	B.redo ndos	6,2	3,2	1,9	Magmá tico microcr istalino	
	75	50	101				1921		Elips e	B.redo ndos	2,7	1,8	1,5	Magmá tico cristali no	
	73	23							Elips e	B.redo ndos	5,1	4,2	1,2	Magmá tico cristali no	

	35	38	135				1923	Elipse	B.redondos	5,3	1,4	3,8	Magmático cristalino
	33	31	151				1924	Circular	B.redondos	3,0	3,3	0,9	Magmático microcristalino
	50	20	19				1925	Elipse	B.redondos	7,2	3	2,4	Magmático microcristalino
	80	55	99				1926	Elipse	B.redondos	9,3	6,1	1,5	Magmático microcristalino

SOLO USO ACADÉMICO

Imagen satelital con los sectores de muestreo (ArcGis).



Muestras correspondientes a testigos y sus mediciones

Sector	Datos testigo			Roca
	Código	Inclinación	Orientación	
19SGI02	19SGI0201TE	95	N66E	Enclave
	19SGI0202TE	48	N58E	Enclave
	19SGI0203ATE	60	N63E	Enclave
	19SGI0203BTE	51	N67E	Enclave
Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI09	19SGI0901TE	80	S07E	Enclave
	19SGI0902TE	78	S15E	Enclave
	19SGI0903TE	28	N64W	Enclave
Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI10	19SGI1001TE	28	N87W	Enclave
	19SGI1002TE	30	N58W	Enclave
	19SGI1003TE	19	N85W	Enclave
	19SGI1004TE	11	S58E	Enclave
	19SGI1005TE	22	S50W	Enclave
	19SGI1006TE	42	N06W	Enclave
	19SGI1007TE	41	N29W	Enclave
	19SGI1008TE	14	N18W	Enclave
	19SGI1009TE	34	S34W	Enclave
Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI11	19SGI1101TE	14	S89W	Dique
	19SGI1102TE	20	N86W	Dique
	19SGI1103TE	14	S52W	Dique
	19SGI1104TE	19	S26W	Dique
Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI16	19SGI1601TE	80	N14E	Enclave
	19SGI1602TE	78	N45E	Enclave
	19SGI1603TE	89	N25E	Enclave
	19SGI1604TE	90	N12E	Enclave
	19SGI1605TE	92	N83E	Enclave

Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI18	19SGI1801TE	58	N05W	Xenolito / Granito
	19SGI1802TE	62	NS	Xenolito
	19SGI1803TE	15	N20E	Enclave
	19SGI1804TE	19	S86E	Enclave
	19SGI1805TE	24	N18E	Enclave
	19SGI1806TE	31	N20E	Enclave
Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI19	19SGI1901TE	63	N100W	Enclave
	19SGI1902TE	57	N98W	Enclave
	19SGI1903TE	62	N100W	Enclave
	19SGI1904TE	58	N92W	Enclave
	19SGI1905TE	50	N66W	Enclave
Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI20	19SGI2001TE	21	S12W	Enclave
	19SGI2002TE	45	S23W	Enclave
	19SGI2003TE	59	N86W	Enclave
	19SGI2004TE	63	N81W	Enclave
	19SGI2005TE	42	N66W	Enclave
	19SGI2006TE	53	S74W	Enclave
	19SGI2007TE	19	N70W	Enclave
	19SGI2008TE	33	S61W	Enclave
Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI22	19SGI2201TE			
	19SGI2202TE			
	19SGI2203TE			
	19SGI2204TE			
	19SGI2205TE			Enclave
	19SGI2206TE	34	N57W	Roca caja
	19SGI2207TE	36	N64W	Roca caja
	19SGI2208TE	45	S83E	Xenolito
	19SGI2209TE	39	N76E	Xenolito

Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI23	19SGI2301TE	62	N05E	Enclave
	19SGI2302TE	61	N19E	Enclave
	19SGI2303TE	68	N05E	Enclave
	19SGI2304TE	76	N07E	Enclave
Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI24	19SGI2401TE	34	N30E	Enclave
	19SGI2402TE	60	N21E	Enclave
	19SGI2403TE	76	N22WE	Enclave
	19SGI2404TE	80	N17W	Enclave
Sector	Código	Inclinación	Orientación	Roca
19SGI25	19SGI2501TE	39	N77E	Enclave
	19SGI2502TE	45	N40E	Enclave
	19SGI2503TE	32	N74E	Enclave

Muestras utilizadas para corte transparente pulido

ID Muestras Corte	Tipo
19SGI0101E	Muestras de mano
19SGI0201E	
19SGI0301E	
19SGI0501E	
19SGI0601E	
19SGI0803E	
19SGI1101E	
19SGI1201E	
19SGI2201E	
19SGI02023BTE	
19SGI0902TE	
19SGI0902TE	
19SGI0903TE	

19SGI1002TE
19SGI1601TE
19SGI1604TE
19SGI1605TE
19SGI1904TE
19SGI2001DTE
19SGI2003B
19SGI2004TE
19SGI2005ATE
19SGI2006TE
19SGI2301TE
19SGI2302TE
19SGI2304TE
19SGI2403TE
19SGI2501BTE
19SGI2502TE

Tabla de clasificación de enclaves respecto a la declinación, inclinación para determinar los stereonet en los sectores del estudio.

Sector	K max		K int		K min		Error 95%		
	Max Dec	Max Inc	Int Dec	Int Inc	Min Dec	Min Inc	Max 95%	Int 95%	Min 95%
19SGI01	94,21	27,06	279,66	62,84	185,34	2,21	4,2862	0,6221	0,2176
19SGI02	332,48	37,74	107,16	42,26	221,73	24,59	1,6878	0,3679	0,15
19SGI03	139,75	33,69	9,86	43,89	249,96	27,39	5,2892	0,677	0,1447
19SGI04	94,14	52,34	359,53	3,55	266,81	37,43	2,6914	0,5615	0,2013
19SGI05	280,3	64,86	106,85	24,99	15,68	2,52	0,2647	0,0814	0,1769
19SGI06	151,01	52,74	360	33,64	260,35	14,14	0,9049	0,2828	0,0432
19SGI07	97,8	72,84	357	3,31	266	16,82	3,0133	0,4129	0,2525
19SGI08	124,04	36,87	33,12	1,23	301,47	53,1	2,4861	0,7207	0,1246
19SGI09	207,23	61,75	66,47	22,59	329,6	16,05	1,7591	0,3411	0,2195
19SGI10	10,76	4,04	102,86	27,44	273,07	62,21	2,5293	0,4918	0,1487
19SGI13	37,21	22,97	127,92	1,68	221,88	66,96	0,2219	0,1238	0,0078
19SGI14	68,62	27,08	161,71	6,01	263,2	62,15	2,9574	0,5597	0,1341
19SGI15	91,9	73,56	277,54	16,36	187,09	1,53	2,9282	0,2749	0,1821
19SGI16	166,92	43,31	343,24	46,63	75,19	1,84	1,5814	0,2543	0,4039
19SGI17	97,31	70,67	351,63	5,41	259,82	18,5	2,8079	0,5105	0,1391

19SGI18	155,46	21,34	64,53	2,39	328,44	68,51	2,9404	0,4142	0,3714
19SGI19	51,94	12,89	162,31	56,66	314,3	30,15	0,6403	0,2829	0,0288
19SGI20	187,18	9,13	84,41	53,99	283,53	34,48	2,0379	0,371	0,3185
19SGI21	139,64	34,23	27,55	28,93	267,58	42,1	1,4733	0,2467	0,2128
19SGI22	312,92	29,2	64,3	33,11	191,62	42,92	2,1412	0,3094	0,1814
19SGI23	78,92	59,63	260,81	30,36	170,33	0,83	0,0764	0,0112	0,0129
19SGI24	14,16	77,2	229,38	10,52	138,04	7,22	1,4706	0,2709	0,357
19SGI25	350,47	25,72	99,04	33,47	231,2	45,44	1,451	0,2193	0,1742
19SGI28	0,21	20,88	103,17	30,46	241,32	51,7	4,197	0,4951	0,1046

Parámetros escalares elipsoides en el sector de estudio.

ID	Y	X	Anisotropía	Lineacion	Foliación
19SGI01	6261028	387211	2,8916	2,0067	1,4410
19SGI02	6261201	386831	5,9782	4,0314	1,4829
19SGI03	6261400	386537	6,4707	4,1508	1,5589
19SGI04	6261506	386432	5,2088	1,0782	4,8311
19SGI05	6261550	386415	1,1731	1,1166	1,0506
19SGI06	6261643	385827	5,3408	3,0979	1,7240
19SGI07	6259290	387615	3,4842	1,4687	2,3723
19SGI08	6259345	388111	21,1657	7,2973	2,9005
19SGI09	6260161	387885	3,0042	1,6396	1,8323
19SGI10	6259856	388337	6,7749	3,6740	1,8440
19SGI13	6253772	389077	6,8414	4,4252	1,546
19SGI14	6254852	387871	9,9870	3,1368	3,1838
19SGI15	6256653	386840	3,8532	1,1509	3,3479
19SGI16	6260919	387395	1,3330	1,1682	1,1410
19SGI17	6256893	386774	7,4073	4,2721	1,7339
19SGI18	6261751	384712	2,2216	1,1978	1,8547
19SGI19	6261751	384712	8,8280	4,9252	1,7924
19SGI20	6254790	387671	2,5566	1,8061	1,4155
19SGI21	6256856	386703	2,6820	1,5328	1,7497
19SGI22	6256970	386711	3,6035	2,0921	1,7224
19SGI23	6261515	385090	5,9816	2,9720	2,0127
19SGI24	6261048	387149	1,8044	1,1393	1,5838
19SGI25	6261933	384854	3,8060	2,0626	1,8453
19SGI28	6259625	388472	9,4515	4,1655	2,2690