



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
CENTRO DE GEOCIENCIAS

**LOS PLUTONES EOCÉNICOS DEL CENTRO DE MÉXICO Y SU SIGNIFICADO  
GEOTECTÓNICO: GEOLOGÍA, PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA**

**TESIS**

Que para optar por el grado de:  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**PRESENTA**

CARLOS AUGUSTO QUIROZ PRADA

**TUTORA**

Dra. Ma. Teresa Orozco Esquivel  
Centro de Geociencias, UNAM

**MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR**

Dr. Peter Schaaf (UNAM, Instituto de Geofísica)  
Dr. Dante Jaime Morán Zenteno (UNAM, Instituto de Geología)  
Dra. Ma. Teresa Orozco Esquivel (UNAM, CGEO)  
Dr. Giovanni Sosa Ceballos (UNAM, Instituto de Geofísica)  
Dr. Roberto Maldonado Villanueva (UNAM, CGEO)

QUERÉTARO, MÉXICO

FEBRERO 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mis padres,  
hermanos y mi esposa.*

## Agradecimientos

Agradezco de manera especial a la Dra. Teresa Orozco, por aceptar la asesoría de este proyecto, por su dedicación, paciencia, disponibilidad, constante asesoría, y sobre todo por estar comprometida con mi aprendizaje.

A mi comité tutorial, Dr. Angel Francisco Nieto Samaniego y Dr. Gilles Levresse por sus comentarios, correcciones, sugerencias y discusiones que permitieron el cumplimiento de los objetivos propuestos durante estos años de formación académica.

Al programa de Apoyo a proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), que con su proyecto No. IN106017 “El plutonismo Eoceno temprano: un marcador de la fragmentación de la subducción en la parte centro de México”, financió este trabajo de investigación. Adicionalmente, al Concejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado por medio de su programa de becas de posgrado.

Agradezco a Carlos Ortega Obregón, Ofelia Pérez Arvizu, Liliana Corona Martínez, Juan Tomas Vásquez Ramírez, Oscar Aguilar Moreno y Manuel Albarrán Murillo del Centro de Geociencias, UNAM, a Rufino Lozano Santa Cruz del Instituto de Geología, UNAM y a Noemí Salazar Hermenegildo del Instituto de Geofísica, UNAM- Unidad Michoacán por su colaboración en la preparación de muestras y obtención de análisis. Además, a Armando Ramírez y Blanca Rendón por su apoyo en los tramites del posgrado.

A Roberto Maldonado, José Guadalupe Cavazos, Mattia Parolari y Sergio Reyes por la ayuda académica brindada. A José de Jesús Álvarez por su ayuda y acompañamiento en los trabajos de campo.

A mi familia, mis padres y hermanos, por acompañarme y apoyarme desde la distancia. A Ana Suarez por emprender este camino juntos, por su cariño, apoyo, consejos y discusiones académicas.

A los nuevos amigos David, Leidy, Ricardo, Pepe por hacer de estos años una experiencia agradable y en especial por las discusiones académicas y acerca del sentido de la vida. Así mismo, a los compañeros del Centro de Geociencias que pude conocer.

Finalmente, y no menos importante quisiera agradecer a México y a la Universidad Nacional Autónoma de México por dar la oportunidad a personas extranjeras de conocer sus costumbres, cultura y lo más importante, por la oportunidad de crecer profesional y académicamente.

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de, o referencias a, las obras de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante los recursos editoriales convencionales.



---

Carlos Augusto Quiroz Prada

## Tabla de contenido

1	Introducción .....	5
1.1	Localización del área de estudio .....	8
1.2	Objetivos .....	9
1.2.1	Objetivo general .....	9
1.2.2	Objetivos específicos .....	9
1.3	Hipótesis.....	10
2	Marco geológico .....	11
2.1	Evolución magmática del Cretácico al Oligoceno en el centro de México .....	11
2.2	Sierra de los Mármoles.....	12
2.3	Mesa Central .....	14
2.3.1	Sierra de Guanajuato.....	16
2.3.2	Granito Comanja .....	17
3	Materiales y métodos.....	19
3.1	Revisión de información bibliográfica.....	19
3.2	Geología de campo .....	19
3.3	Láminas delgadas y petrografía.....	20
3.4	Fecha U/Pb en circón.....	21
3.5	Geoquímica de elementos mayores y traza .....	23
3.5.1	Preparación de muestras.....	24
3.5.2	Digestión y análisis de elementos traza .....	24
3.6	Microsonda Electrónica (EPMA) .....	25
4	Resultados.....	26
4.1	Descripciones de campo.....	26
4.1.1	Intrusivos de la Sierra de los Mármoles .....	26
4.1.2	Granito Comanja .....	32
4.2	Petrografía y Química mineral .....	36
4.2.1	Intrusivos de la Sierra de los Mármoles .....	37
4.2.2	Granito Comanja .....	48
4.3	Geocronología .....	55
4.3.1	Intrusivos de la Sierra de los Mármoles .....	55
4.3.2	Geoquímica de circones .....	65
4.4	Oxitermobarometría.....	67

4.4.1	Sierra de Los Mármoles (La Encarnación) .....	69
4.4.2	Sierra de Los Mármoles (San Nicolás).....	72
4.4.3	Quetzalapa (Eoceno temprano).....	72
4.4.4	Nicolás Flores.....	72
4.4.5	Granito Comanja .....	73
4.5	Geoquímica de roca total.....	74
4.5.1	Elementos Mayores .....	74
4.5.2	Elementos Traza .....	80
4.5.3	Elementos de las tierras raras (REE).....	84
5	Discusión .....	88
5.1	Eventos magmáticos del Eoceno-Oligoceno.....	88
5.2	Condiciones P-T de cristalización .....	91
5.3	Profundidad de cristalización .....	94
5.4	Condiciones redox de cristalización .....	97
5.5	Evolución Magmática.....	102
5.5.1	Eoceno Temprano .....	102
5.5.2	Eoceno Medio.....	109
5.5.3	Oligoceno .....	109
5.6	Implicaciones para el magmatismo Eocénico .....	110
6	Conclusiones .....	116
7	Referencias Bibliográficas .....	119
8	Anexos .....	135
8.1	Composición modal .....	1356
8.2	Datos analíticos de microsonda .....	1359
8.3	Datos analíticos U-Pb .....	13560
8.4	Datos analíticos de elementos traza en circón.....	13574
8.5	Análisis geoquímicos .....	13588

## Lista de figuras

### Capítulo 1

**Figura 1.1.** Distribución del magmatismo Cretácico-Paleógeno en el centro de México. Se muestran los principales sistemas de fallas que limitan la MC: El Sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende (SFTSMA), el sistema de fallas del Bajío (SFB), el sistema de fallas San Luis Tepehuanes (SFSLT) y El Sector Transversal de Parras (STP). Las edades se obtuvieron de la base de datos MexIDB. Figura basada en Alaniz-Álvarez et al. (2002) Nieto-Samaniego et al. (2005); Ferrari et al. (2005); Ángeles-Moreno et al. (2017); Ángeles-Moreno, (2018); Fitz-Díaz et al. (2018); Ferrari et al. (2018) y la base cartográfica geológico-minera 1:250.000 del Servicio Geológico Mexicano. .... 6

**Figura 1.2.** Mapa de localización del área de estudio en el centro de México. Incluye la Sierra Madre Occidental (SMOc), la Mesa Central (MC), la Sierra Madre Oriental (SMOr) y la Faja Volcánica Transmexicana. Figura basada en la cartografía topográfica 1:50.000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). .... 10

### Capítulo 2

**Figura 2.1.** Mapa geológico de la región de La Sierra de Los Mármoles. Modificado de Segerstrom, 1961; JICA, (1983); Fitz-Díaz et al. (2012) y Fitz-Díaz et al. (2018). .... 14

**Figura 2.2.** Mapa Geológico de la Sierra de Guanajuato. Modificado de Martínez-Reyes, (1992); Botero-Santa et al. (2012); Ruiz-González, (2015) Ángeles-Moreno et al. (2017); Ángeles-Moreno, (2018) y cartas geológico-mineras (F14-C42, F14-C31 y F14-C32) del Servicio Geológico Mexicano (SGM). .... 18

### Capítulo 4

**Figura 4.1** Mapa de localización de intrusivos y muestras de La Sierra de Los Mármoles. SMOc: Sierra Madre Occidental, MC: Mesa Central, SMOr: Sierra Madre Oriental, FVTM: Faja Volcánica Transmexicana. .... 27

**Figura 4.2** Afloramientos y muestras de mano de los intrusivos de La Encarnación en la zona de Puerto Vigas. a y b) afloramiento fracturado, intruido por diques aplíticos. c) afloramiento alterado producto de meteorización y desarrollo de suelo. d y e) Muestras de mano del intrusivo de La Encarnación donde se observa el grado de cristalinidad (holocristalinas), y el índice de color (rocas mesocráticas). .... 29

**Figura 4.3** Apariencia de los afloramientos en el sector de San Nicolás. a) afloramiento afectado por falla con orientación N34E/54SE. b) Muestra de mano del intrusivo de San Nicolás donde se observa la disminución en el tamaño de cristales (~1mm). c) intrusión de un dique aplítico en las rocas de San Nicolás. d, e y f) enclaves microgranulares máficos elipsoidales no deformados. .... 30

**Figura 4.4** Afloramientos del intrusivo de Nicolás Flores. a) Apariencia del afloramiento en las zonas más elevadas, donde forman grandes bloques de roca. b) afloramiento en zonas de menor elevación, donde se puede observar el contacto neto con unidades sedimentarias (calizas). c) enclaves microgranulares poco deformados. d) Bloque del intrusivo de Nicolás Flores, con presencia de bandeamiento y estructuras de deformación tipo sigma ( $\sigma$ ). .... 31

**Figura 4.5** Mapa de localización de las muestras del Granito Comanja. SMOc: Sierra Madre Occidental, MC: Mesa Central, SMOr: Sierra Madre Oriental, FVTM: Faja Volcánica Transmexicana. .... 32

**Figura 4.6** Afloramiento del Granito Comanja en la zona norteoeste, sobre el camino que va rumbo a Lagos de Moreno. Se puede observar el grado de alteración y diques aplíticos. .... 33

**Figura 4.7** Afloramiento del Granito Comanja alterado, cortado por vetas de turmalina de ~2 cm ..... 33

**Figura 4.8** Apariencia de los afloramientos de la zona sureste. a) Rocas con formas redondeadas producto de la meteorización. b) cristales de feldespato potásico de ~4 cm. .... 34



<b>Figura 4.9</b> Ejemplos de los diques que cortan al Granito Comanja. a) dique aplítico en contacto con las rocas del cuerpo principal del Granito Comanja. b) Dique de composición granodiorítica que corta de ~1.5 m de ancho. c y d) dique de compuesto por feldespato potásico con vetas de turmalina. ....	<b>35</b>
<b>Figura 4.10</b> a) Acumulaciones de feldespato potásico de ~60 cm. b) Enclaves microgranulares máficos con formas elipsoidales, poco deformados. c) Estructuras diapíricas con núcleo de feldespato potásico, con cavidades miarolíticas y frentes schlieren simple. ....	<b>36</b>
<b>Figura 4.11</b> Diagrama QAP para las rocas de los Intrusivos de La Encarnación y San Nicolás. ....	<b>37</b>
<b>Figura 4.12</b> Fotomicrografías de las muestras correspondiente a los intrusivos de La Encarnación. a y b) textura y composición principal de las granodioritas de La Encarnación donde se destacan los zoneamientos en plagioclasa. c y d) Cristal euédrico de hornblenda característico de las rocas estudiadas. e) Cristales de apatito de ~1 mm y cristales de ortoclasa de ~0.5 mm que se encuentran rellenando espacios intercrystalinos. f) composición mineralógica de diques aplíticos. ....	<b>38</b>
<b>Figura 4.13</b> Clasificación composicional de los feldespatos encontrados en las muestras de La Encarnación. ....	<b>39</b>
<b>Figura 4.14</b> Clasificación química de los anfíboles correspondientes a las muestras zp-02 y zp-07 de los intrusivos de La Encarnación. ....	<b>40</b>
<b>Figura 4.15</b> Clasificación química de las espinelas para las muestras de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. Figura modificada de Bosi et al. (2019). El cálculo de Fe <sup>2+</sup> y Fe <sup>3+</sup> se hizo por el método de balance de cargas. ....	<b>41</b>
<b>Figura 4.16</b> Clasificación química de minerales opacos de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja ....	<b>42</b>
<b>Figura 4.17</b> Microfotografías del intrusivo de San Nicolás. a y b) imágenes en nicoles cruzados y paralelos de la textura y composición principal de las rocas donde se destacan los zoneamientos en plagioclasa. c y d) Cristales de biotita y hornblenda de ~ 1.5 mm. e y d) cúmulos cristalinos de biotita, hornblenda y augita característicos de esta zona. ....	<b>43</b>
<b>Figura 4.18</b> Clasificación composicional de feldespatos para los intrusivos de San Nicolás. ....	<b>44</b>
<b>Figura 4.19</b> Clasificación química de anfíboles cálcicos correspondientes a los intrusivos de San Nicolás. ....	<b>45</b>
<b>Figura 4.20</b> Diagrama QAP para las muestras de los intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa. ....	<b>46</b>
<b>Figura 4.21</b> Microfotografías de los intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa. a y b) imágenes en nicoles cruzados de las tonalitas de Nicolás Flores donde se destacan plagioclasas macladas y cristales de hornblenda. c y d) Cristales de plagioclasa, titanita y hornblenda de los intrusivos de Quetzalapa. e) roca compuesta principalmente por cristales de hornblenda de ~1.7 mm (hornblendita) y d) Roca compuesta por una matriz de plagioclasa con cristales de hornblenda de mayor tamaño (lamprófido). ....	<b>47</b>
<b>Figura 4.22</b> Diagrama QAP de las rocas que corresponde al Granito Comanja. ....	<b>48</b>
<b>Figura 4.23</b> Microfotografías de las rocas del Granito Comanja. a) Composición mineralógica principal de las muestras del Granito Comanja (plagioclasa + feldespato + potásico + biotita). b) megacristales de plagioclasa zoneados, cuarzo con textura mirmequitica (Mrq) y feldespatos potásicos con textura pertítica (Per). c y d) clots de biotita, hornblenda característicos en las muestras del Granito Comanja. ....	<b>49</b>
<b>Figura 4.24</b> Clasificación composicional de las plagioclasas y feldespato de las muestras del Granito Comanja. ....	<b>50</b>
<b>Figura 4.25</b> Clasificación química de los anfíboles para la muestra del Granito Comanja. ....	<b>52</b>
<b>Figura 4.26</b> Microfotografías de diques del Granito Comanja. a) Diques aplíticos compuestos por cuarzo y feldespato. b, c y d) diques de composición granodiorítica, con megacristales de hornblenda, biotita y plagioclasa. e y f) Diques de feldespato potásico y cuarzo con vetas de turmalina. ....	<b>54</b>
<b>Figura 4.27</b> Mapa de distribución de las muestras seleccionadas para fechamientos U-Pb. ....	<b>57</b>
<b>Figura 4.28</b> Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-12 (La Encarnación). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. Elipses de color verde representan los datos seleccionados para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados y zoneamiento interno. Las edades mostradas son en millones de años (Ma). c) Diagramas	

de tierras raras REE normalizados en la composición del condrito de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu.....	58
<b>Figura 4.29</b> Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-05 (La Encarnación). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. Elipses de color verde representan los datos seleccionados para el cálculo de la edad b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados y zoneamiento interno. Las edades mostradas son en millones de años Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición condritica de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu. ....	59
<b>Figura 4.30</b> Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-06 (La Encarnación). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. las elipses de color verde representan los datos usados para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados y zoneamiento interno. Las edades mostradas son en millones de años (Ma). c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición del condrito de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu. ....	60
<b>Figura 4.31</b> Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-07 (La Encarnación). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb, donde las elipses de color verde representan las edades empleadas en el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados y zoneamiento interno. Las edades mostradas son en millones de años Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición del condrito de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu.....	61
<b>Figura 4.32</b> Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-09 (San Nicolás). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb, las elipses de color verde muestran los datos seleccionados para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados. Las edades mostradas son en Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición condritica de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y anomalías negativas de Eu. ....	62
<b>Figura 4.33</b> Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra NF-02 (Nicolás Flores). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. las elipses de color verde representan los datos seleccionados para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados. Las edades mostradas son en millones de años Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición del condrito de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y anomalías negativas de Eu. ....	64
<b>Figura 4.34</b> Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra Qzl-01 (Quetzalapa). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. Las elipses de color verde representan las edades usadas para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia el zoneamiento interno y la ausencia de núcleos heredados. Las edades mostradas son en Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados con base en la composición condritica de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ausencia en anomalías negativas de Eu.....	65
<b>Figura 4.35</b> Variación de las anomalías de Eu y Ce en circones contra la edad para los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás, Nicolás Flores y Quetzalapa. a) Variación de los valores de $Eu_N/Eu^*_N = Eu_N / (Sm_N \times Gd_N)^{1/2}$ . b) variación de los valores de $Ce_N/Ce^*_N$ para circones de los intrusivos. $Ce_N/Ce^*_N = Ce_N / (Nd_N^2/Sm_N)$ . ....	67
<b>Figura 4.36</b> Variación de la presión y temperatura para los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. a) Valores de presión calculados siguiendo la calibración del barómetro de Mutch et al. (2016). b) Valores de temperatura obtenidos con el geotermómetro de Ridolfi et al. (2010). c) Temperaturas calculadas con el termómetro de Ti en circón de Ferry y Watson (2007). D) Temperaturas calculadas con el termómetro de dos feldespatos Putirka (2008). ....	71

- Figura 4.37** Variación de la fugacidad de oxígeno obtenida a partir de las muestras de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. En la figura se muestra la variación del delta de la fugacidad de oxígeno respecto de buffer de níquel –óxido de níquel NNO. .... 73
- Figura 4.38** Gráficos de clasificación geoquímica. a) Diagrama de clasificación de rocas basado en la composición de elementos mayores (R1 - R2) (de la Roche et al., 1980). b) Diagrama de discriminación de series magmáticas con base en sus contenidos de K<sub>2</sub>O (Pecerillo y Taylor, 1976). c) Diagrama A-B, propuesto por Debon y Le Fort (1983), modificado por Villaseca et al. (1998), donde se discriminan las rocas por su grado de saturación de álcalis. d) Diagrama MALI propuesto por Frost (2001) y Frost y Frost (2008). Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja. .... 76
- Figura 4.39** Diagrama de clasificación según el índice Fe [FeO/(FeO+MgO)] contra SiO<sub>2</sub> propuesto por Frost et al. (2001). Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja. .... 77
- Figura 4.40** Diagramas de variación multielementales de tipo Harker para los elementos mayores de las muestras analizadas en La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás, Nicolás Flores y Granito Comanja. Los elementos mayores están expresados en óxidos normalizados al 100% en base anhidra. La concentración de SiO<sub>2</sub> en % en peso se utilizó como índice de diferenciación. a) TiO<sub>2</sub>, b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, c) FeO total, d) MnO, e) MgO, f) CaO, g) Na<sub>2</sub>O y h) K<sub>2</sub>O. Granito Comanja GC, La Encarnación LE. Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja. .... 79
- Figura 4.41** Diagramas de variación multielementales de tipo Harker para los algunos elementos traza que presentan variaciones importantes en las muestras de La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás, Nicolás Flores y Granito Comanja. Los elementos traza están expresados en partes por millón (ppm). La concentración de SiO<sub>2</sub> en % en peso se utilizó como índice de diferenciación. a) Cr, b) Rb, c) Sr, d) Nb, e) Ba, f) La, g) Yb y h) Pb. Granito Comanja GC, La Encarnación LE. Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja. .... 81
- Figura 4.42** Diagramas multielementales de los intrusivos de La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás, Nicolás Flores y Granito Comanja. Los análisis se normalizaron a valores del manto primitivo de Sun y McDonough, (1989). a) Muestras de los intrusivos de La Encarnación y Quetzalapa. b) Muestras de los intrusivos de San Nicolás y Nicolás Flores. c) Muestras del Granito Comanja. d) Muestras correspondientes a los diques aplíticos de La Encarnación y Granito Comanja..... 83
- Figura 4.43** Diagramas de tierras raras REE de los intrusivos de La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás, Nicolás Flores y Granito Comanja. Los análisis se normalizaron a valores de la condrita de Sun y McDonough (1989). a) Muestras de los intrusivos de La Encarnación y Quetzalapa. b) Muestras de los intrusivos de San Nicolás y Nicolás Flores. c) Muestras del Granito Comanja. d) Muestras correspondientes a los diques aplíticos de La Encarnación y Granito Comanja..... 84
- Figura 4.44** Diagramas de variación de algunos elementos trazas, usando como índice de diferenciación el contenido de SiO<sub>2</sub>. a) Relación de tierras raras REE livianas vs pesadas (La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>). b) Relación entre tierras raras medias y pesadas (Gd<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>). Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja. La encarnación (LE), Granito Comanja (GC). .... 86
- Figura 4.45** Diagrama de variación de la anomalía de Eu vs el contenido de SiO<sub>2</sub> calculada a partir de resultados de química de roca total.  $Eu^* = Eu_N / (Sm_N + Gd_N)^{1/2}$ . Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja (GC); La Encarnación (LE). .... 87

## Capítulo 5

<b>Figura 5.1</b> Termometría de dos feldespatos de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. Presión calculada con la calibración de Mutch et al. (2016). Temperaturas obtenidas con la calibración de Putirka (2008). Las curvas de solidus y liquidus granítico para diferentes contenidos de agua modificadas de Johannes y Holtz (1996).....	<b>93</b>
<b>Figura 5.2</b> Termobarometría en hornblenda de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. Presión calculada con la calibración de Mutch et al. (2016). Temperaturas obtenidas con la calibración de Ridolfi et al. (2010). Las curvas de solidus tonalítico modificadas de Johannes y Holtz, (1996). .....	<b>94</b>
<b>Figura 5.3</b> Columnas estratigráficas de las regiones Sierra de Guanajuato y Sierra de los Mármoles. Modificadas de Ángeles-Moreno (2018) y Fitz-Díaz et al. (2014). $\rho$ : densidad; $\rho_{prom}$ : densidad promedio. Jtcp: Tonalita Cerro Pelón; Jpo: Piroxenita San Juan de Otates; Kicvs: Complejo volcanosedimentario Sierra de Guanajuato; Kigd: Granodiorita Presa Duarte; Kica: Cuarzomozonita La Angostura; Edd: Diquestrato Duarte; Ecd: Conglomerado Duarte.....	<b>95</b>
<b>Figura 5.4</b> Imagen de electrones retro-dispersados mostrando el zoneamiento de los anfíboles de las muestras de La Encarnación.....	<b>96</b>
<b>Figura 5.5</b> Variación de las condiciones P-T - profundidad de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. Mg-Hst: anfíboles de composición Magnesiohastingsita.....	<b>97</b>
<b>Figura 5.6</b> Variación del $\log fO_2$ con la temperatura para los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. NNO+2: buffer de níquel-óxido de níquel (+2); NNO: buffer de níquel-óxido de níquel; QFM: Buffer cuarzo-fayalita-magnetita.....	<b>98</b>
<b>Figura 5.7</b> Coeficientes de partición determinados experimentalmente para tierras raras en circón, titanita, hornblenda y plagioclasa. modificado de Loader et al., (2017) y referencias incluidas. ....	<b>99</b>
<b>Figura 5.8</b> Diagrama de variación de la anomalía de Eu versus el contenido de SiO <sub>2</sub> en circón para los intrusivos de La Encarnación-Quetzalapa, Nicolás Flores y San Nicolás. $Eu_N/Eu^*_N = Eu_N / (Sm_N \times Gd_N)^{1/2}$ . ....	<b>100</b>
<b>Figura 5.9</b> Variación de la relación $Tb_N/Yb_N$ versus la edad en circón para los intrusivos de La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás y Nicolás Flores. Los análisis se normalizaron a valores del condrita de Sun y McDonough (1989).....	<b>101</b>
<b>Figura 5.10</b> Diagrama ternario Sr-Ba-Rb (Tarney y Jones, 1994). Los campos para granitoides de alto Ba-Sr y bajo Ba-Sr se basan en los datos propuestos por Fowler y Henney (1996) y Fowler et al., (2001).....	<b>104</b>
<b>Figura 5.11</b> Variación de la relación Nb/Ta versus el contenido de sílice de los intrusivos de Nicolás Flores, San Nicolás, La Encarnación, Quetzalapa y el Granito Comanja.....	<b>106</b>
<b>Figura 5.12</b> a) Imagen al microscopio y perfil medido en microsonda de cristal de plagioclasa representativo del intrusivos Granito Comanja. B) perfil de variación del contenido de anortita de plagioclasa del intrusivo Granito Comanja. ....	<b>108</b>
<b>Figura 5.13</b> Distribución de los intrusivos de alto Ba-Sr en el centro de México. Se muestran los principales sistemas de fallas que limitan la Mesa Central: El Sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende (SFTSMA), el sistema de fallas del Bajío (SFB), el sistema de fallas San Luis Tepehuanes (SFSLT) y El Sector Transversal de Parras (STP) y la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). SMOr: Sierra Madre Oriental; SMOc: Sierra Madre Occidental. Figura modificada de Alaniz-Álvarez et al. (2002) Nieto-Samaniego et al, (2005); Ferrari et al. (2005); Ángeles-Moreno et al. (2017); Ángeles-Moreno, (2018); Fitz-Díaz et al. (2018); Ferrari et al. (2018) y la base cartográfica geológico-minera 1:250.000 del Servicio Geológico Mexicano. ....	<b>115</b>

## Resumen

El magmatismo del Eoceno distribuido en el centro de México representa la transición entre el magmatismo de arco Cretácico-Paleoceno, de composición intermedia, emplazado hacia el oeste de México, y el volcanismo silíceo a bimodal del Oligoceno-Mioceno de la Sierra Madre Occidental. Este periodo de transición se caracteriza por la expansión del magmatismo hacia el este, donde se destacan intrusiones predominantemente porfíricas en la Sierra Madre Occidental, plutones aislados en la Mesa Central (MC) distribuidos a lo largo de estructuras tectónicas mayores y cuerpos intrusivos dispersos entre la MC y la Sierra Madre Oriental (SMOr). En la actualidad, los estudios petrogenéticos de las rocas intrusivas del Eoceno en el centro de México son escasos. En este trabajo se presentan datos geocronológicos, petrológicos y geoquímicos para los intrusivos de la Sierra de Los Mármoles (SM), Hidalgo, en la SMOr y el Granito Comanja (GC) en la MC.

Nuevas edades isotópicas de U-Pb en circón obtenidas para rocas intrusivas de la SM, y las previamente reportadas para el GC permitieron reconocer dos eventos durante el Eoceno. El primer evento entre  $51.22 \pm 0.80$  y  $55.1 \pm 0.63$  Ma que corresponde a las rocas del área de La Encarnación-Quetzalapa en la SM y el Granito Comanja, ubicándolas en el Ypresiano. El segundo evento de  $41.95 \pm 0.52$  Ma, localizado en el área de San Nicolás en la SM, ubica las rocas durante el Luteciano. Adicionalmente, se identificó un evento de magmatismo intrusivo del Oligoceno temprano ( $29.90 \pm 0.49$  Ma) en el área de Nicolás Flores al sureste de la SM.

Una aproximación a los procesos de emplazamiento se obtuvo a través del uso de geotermobarómetros. A partir del análisis de Al en hornblenda se calculó el rango de presión y temperatura, obteniendo para los intrusivos del Eoceno temprano de la SM dos rangos de presión y temperatura: 1) 93 - 243 MPa y 725 – 813 °C y 2) 434 - 546 MPa y 899 – 932 °C, mientras que para el GC la presión y temperatura estimada está en el rango de 189 - 287 MPa y 761 – 820 °C.

Geoquímicamente, las rocas emplazadas en los distintos eventos del Eoceno son calcalcalinas (magnesianas) de alto potasio, con variaciones composicionales entre rocas predominantemente intermedias en la SM a félsicas en el GC. Los cuerpos intrusivos del Eoceno temprano se agrupan en: 1) granitoides de alto Ba-Sr de La Encarnación-

Quetzalapa en la SMO y 2) granitoides de bajo Ba-Sr del Granito Comanja en la Sierra de Guanajuato (SG).

Los granitoides de alto Ba-Sr se caracterizan por su composición intermedia, de carácter metaluminoso, alto contenido de Ba, Sr y bajo Rb, ligeras anomalías positivas de Eu, fraccionamiento de titanita, empobrecimiento en elementos de las tierras raras pesadas y una evolución en condiciones oxidantes. Por otra parte, los granitoides de bajo Ba-Sr se componen de rocas silíceas, ligeramente hiperaluminosas, con anomalías negativas de Eu, bajo contenido de Ba, Sr y alto Rb, patrones relativamente planos en elementos de las tierras raras en las rocas más evolucionadas y evidencias de evolución en condiciones menos oxidantes que las rocas de alto Ba-Sr.

Las diferencias geoquímicas observadas en los plutones del Eoceno temprano permiten relacionarlos con distintas fuentes y con procesos de evolución magmática controlados por la fugacidad de oxígeno y el contenido de agua, con la participación del manto litosférico metasomatizado promovido por la ruptura de la placa subducida en la generación de granitoides de alto Ba-Sr, y la intervención de fuentes corticales para la formación del GC.

**Palabras clave:** Granitoides de alto Ba-Sr, Magmatismo eocénico, geoquímica de roca total, química mineral, geotermobarometría, geocronología U-Pb.

## Abstract

Eocene magmatism distributed across central Mexico represents the transition between the Cretaceous-Paleocene arc magmatism of intermediate composition, emplaced in western Mexico, and the Oligocene-Miocene silicic to bimodal volcanism of the Sierra Madre Occidental. Magmatism related to this transitional period represents the expansion of magmatism towards the east, and is represented by dominantly porphyric intrusions in the Sierra Madre Occidental, isolated plutons in the Mesa Central (MC), with outcrops along major tectonic structures, and scattered intrusive bodies within the Sierra Madre Oriental (SMOr) to the east of the MC. The petrogenesis of these Eocene intrusive bodies has been scarcely addressed to date. Here, we report geochronological, petrological and geochemical data for plutons from the Sierra de los Marmoles (SM) in the SMOr and the Comanja Granite (GC) in the MC.

New U-Pb geochronological data provided for zircons of the SM intrusive rocks, and previously reported geochronological data for the GC allowed identifying two magmatic events during the Eocene. The first magmatic event occurred between  $51.22 \pm 0.80$  y  $55.1 \pm 0.63$  Ma (early Eocene, Ypresian) in the area of La Encarnacion - Quetzalapa in the SM and the Comanja Granite. For the second magmatic event an age of  $41.95 \pm 0.52$  Ma (middle Eocene, Lutetian) was obtained for intrusive rocks of the San Nicolas area in the SM. Additionally, another intrusive magmatic event of early Oligocene age ( $29.90 \pm 0.49$  Ma) was identified in the Nicolas Flores area to the southeast of the SM.

An approach to the emplacement processes was obtained by the use of geothermobarometers based on the Al content in hornblende. For the early Miocene SM intrusive rocks two *P-T* ranges were obtained 1) 93 - 243 MPa y 725 – 813 °C y 2) 434 - 546 MPa y 899 – 932 °C, whereas for the area of the GC the *P-T* calculated is 189 - 287 MPa y 761 – 820 °C.

Geochemically, the rocks emplaced during the different Eocene magmatic events are high-K calc-alkaline (magnesian), with some compositional variations between rocks of predominantly intermediate composition in the SM to felsic composition in the GC. The early Eocene intrusive bodies are arranged in 1) high Ba-Sr granitoids of the La Encarnacion – Quetzalapa in the SMOr, and 2) low Ba-Sr granitoids of the Comanja Granite in the Sierra de Guanajuato (SG).

The high Ba-Sr granitoids are characterized by their intermediate composition, metaluminous nature, high content of Ba, Sr, and low content of Rb, absent to slightly positive Eu anomalies, depletion of heavy rare earth elements and an evolution under oxidation conditions. Otherwise, the low Ba-Sr granitoids are composed by silicic rocks, slightly hyperaluminous, with negative Eu anomalies, low Ba and Sr content and high Rb content, relatively flat REE patterns in the more differentiated rocks and evidence of the evolution under oxidation conditions.

The geochemical differences in the plutons of the early Eocene allow to relate them with different sources and magmatic evolution processes controlled by oxygen fugacity and water content, with the influence of a metasomatized lithospheric mantle, initiated by the breakup of the subducted slab during the genesis of the high Ba-Sr granitoids, and the interaction with crustal sources for the formation of the GC.

**Key words:** High Ba-Sr granitoids, Eocene magmatism, whole rock geochemistry, mineral chemistry, geothermobarometry, U-Pb geochronology.



## 1 Introducción

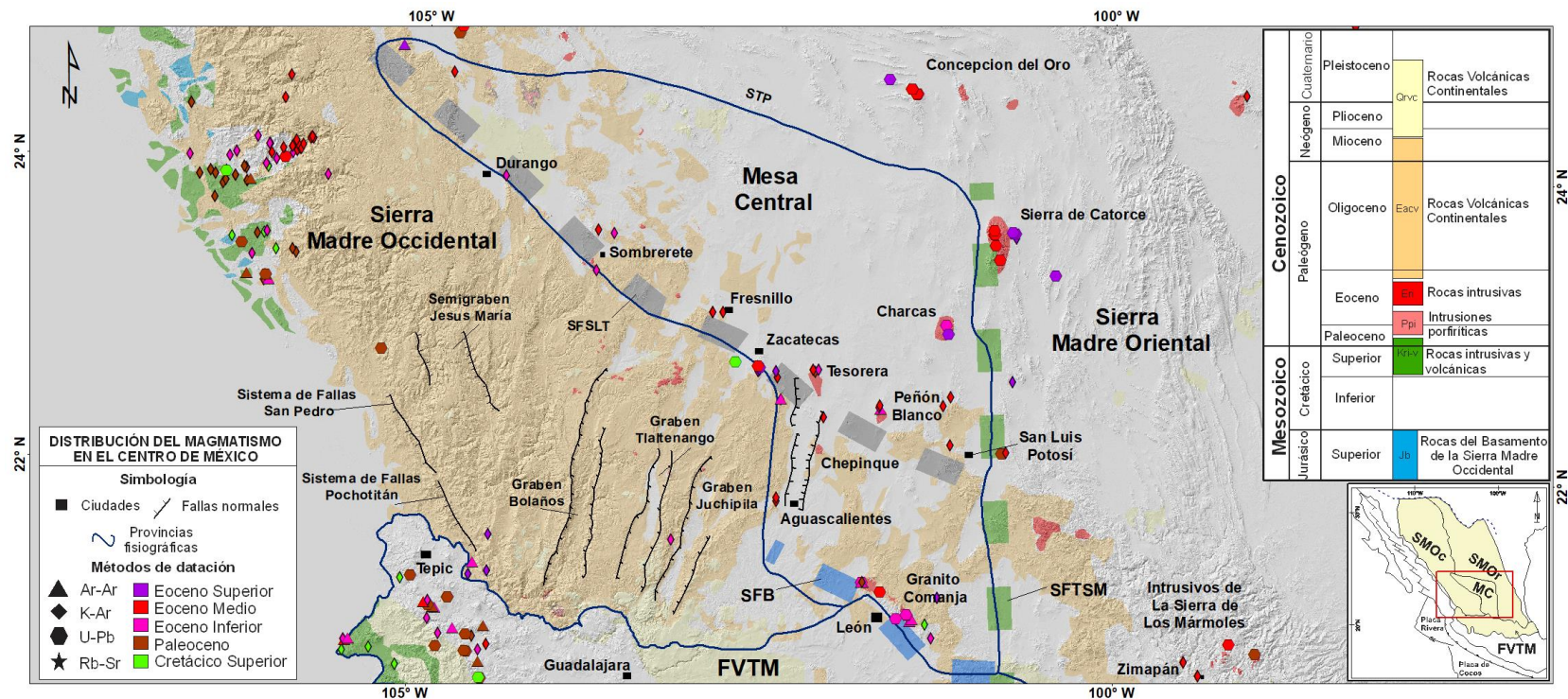
La actividad magmática del Eoceno temprano en el centro de México representa una etapa de transición entre el magmatismo del Cretácico tardío-Paleoceno y el vulcanismo silíceo a bimodal, que generó la gran provincia silícica volcánica de la Sierra Madre Occidental (SMOc) durante el Oligoceno-Mioceno.

Este periodo de transición es representado por intrusiones porfiríticas en la Sierra Madre Occidental, cuerpos intrusivos en la Mesa Central (MC), que afloran a lo largo de grandes estructuras tectónicas, y algunos intrusivos en la Sierra Madre Oriental (SMOr), donde su distribución es dispersa y difusa.

El registro magmático de la porción central de México (Fig. 1.1) puede agruparse en: 1) Magmatismo de arco del Cretácico tardío-Paleoceno (100 – 58 Ma) del denominado arco Laramide, representado por las rocas intrusivas de la cadena de batolitos peninsulares, los batolitos de Sonora, Sinaloa y Jalisco localizados en la margen occidental, así como escasas rocas intrusivas e intrusiones subvolcánicas reconocidas en los límites de la MC. Este periodo es dominado por rocas de composición intermedia (e.g., granodiorita), con algunas tonalitas y dioritas); 2) Magmatismo del Eoceno temprano a medio (55 - 38 Ma) representado principalmente por plutones aislados y escasas rocas volcánicas. Durante este periodo, el magmatismo se expandió hacia el este, llegando a abarcar todo lo ancho de la porción norte de México y cesando la actividad en Baja California; 3) Vulcanismo silíceo a bimodal (38 – 18 Ma), caracterizado por el incremento en el vulcanismo explosivo, que dio origen a la provincia volcánica de la SMOc (e.g., [Ferrari et al., 2017](#)). Esta variación en la localización, composición y estilo del magmatismo se ha intentado explicar mediante modelos de subducción plana, ruptura y retroceso de la placa.

Aunque la distribución del magmatismo del Eoceno temprano a medio ha sido definida por medio de fechamientos isotópicos y se cuenta con estudios estratigráficos y estructurales de áreas puntuales, son muy escasos los estudios geoquímicos y petrológicos que contribuyan a entender los procesos que dieron origen a este magmatismo y que expliquen su amplia distribución, atípica para un arco volcánico relacionado a subducción.

En la figura 1.1 se muestra la distribución de las edades reportadas para la región de la Mesa Central y zonas aledañas. En la literatura se reportan afloramientos de cuerpos intrusivos del Eoceno, cuya distribución está controlada por estructuras tectónicas (Fig. 1.1).



**Figura 1.1.** Distribución del magmatismo Cretácico-Paleógeno en el centro de México. Se muestran los principales sistemas de fallas que limitan la MC: El Sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende (SFTSMA), el sistema de fallas del Bajío (SFB), el sistema de fallas San Luis Tepehuanes (SFSLT) y El Sector Transversal de Parras (STP). Las edades se obtuvieron de la base de datos MexIDB. Figura basada en Alaniz-Álvarez et al. (2002) Nieto-Samaniego et al. (2005); Ferrari et al. (2005); Ángeles-Moreno et al. (2017); Ángeles-Moreno, (2018); Fitz-Díaz et al. (2018); Ferrari et al. (2018) y la base cartográfica geológico-minera 1:250.000 del Servicio Geológico Mexicano.

A lo largo del Sistema de Fallas San Luis-Tepehuanes se reconocen cuerpos en: Chepinque, Zac. de  $58.88 \pm 1.43$  Ma (K-Ar en roca total; [Franzetti, 2009](#)); Cerro de la Gloria en Sombrerete, Zac.  $46.2 \pm 1$  Ma (K-Ar en biotita, [Damon et al., 1983](#)) y el intrusivo Peñón Blanco en la sierra de Salinas, Zac. de  $50.94 \pm 0.47$  Ma (Ar-Ar en muscovita, [Aranda-Gómez et al., 2007](#)).

En el extremo sur de la MC, a lo largo de la Falla del Bajío, aflora el Granito Comanja, en la Sierra de Guanajuato, fechado entre  $49.5 \pm 0.8$  y  $52.6 \pm 0.5$  Ma (U-Pb en circón; [Botero-Santa, 2015](#); [Ángeles-Moreno et al., 2017](#); [Nieto-Samaniego et al., 2019](#)). Alineados con el Sistema de Fallas Taxco-San Miguel de Allende, en el borde E de la MC se reconocen El Temeroso stock en Charcas, San Luis Potosí con edades entre 50.5 y 45.6 Ma (U-Pb en circón; [Levresse et al., 2015](#)), y los intrusivos de la Sierra de Catorce con edades de 48.6 a 40.8 Ma (U-Pb en circón; [Mascuñano et al., 2013](#)).

En el extremo norte de la MC, la distribución de los intrusivos se puede asociar al Sector Transversal de Parras, por ejemplo, El Cerro de la Cruz, Nazas, Durango fechado en  $50.1 \pm 0.3$  Ma (U-Pb en circón; [Cuellar-Cárdenas et al., 2012](#)) y el cinturón de intrusivos de Concepción del Oro con edades entre 36.8 y 43.1 Ma (U-Pb en circón; [Sosa-Valdez et al., 2011](#)). Adicionalmente, para la Sierra Madre Oriental se reportan los intrusivos de La Encarnación, al NE de Zimapán, Hgo. de 51.7 a 47.8 Ma (K-Ar en roca total; [JICA, 1983](#)); intrusivos de San Nicolás, Hgo. de 42 Ma (U-Pb en circón; [Cuellar-Cárdenas et al., 2012](#)) y cuerpos de ca. 41 a 44 Ma de Zimapán, Hgo. (K-Ar roca total; [Vasallo et al., 2004](#)).

Algunos estudios realizados en cuerpos intrusivos del Eoceno de la Mesa Central (e.g., [Aranda-Gómez et al., 2007](#); [Botero-Santa, 2011](#); [Mascuñano et al., 2013](#)) indican que son comunes las texturas porfíricas relacionadas con un emplazamiento en niveles someros de la corteza. En estudios puntuales (e.g., [Quintero-Legorreta 1992](#); [Aranda-Gómez et al., 2007](#); [Botero-Santa, 2015](#); [Ángeles-Moreno et al., 2017](#)) los intrusivos han sido clasificados como calciocalinos, además reportan la presencia en algunos de ellos con altos contenidos de boro, que se evidencia por la presencia de turmalina y damburita.

En general, estas rocas han sido clasificadas como calciocalinas asociadas a un arco magmático continental ([Stein et al., 1994](#)), o relacionadas con ambientes post-orogénicos ([Botero-Santa, 2011](#); [Mascuñano et al., 2013](#)) y se ha sugerido un emplazamiento posterior al acortamiento Laramide ([Aranda-Gómez et al., 2007](#); [Ruiz-González, 2015](#); [Ángeles-Moreno et al., 2017](#)). [Mascuñano et al. \(2013\)](#) en un estudio de la Sierra de Catorce y en el

trabajo de revisión de [Ferrari et al. \(2018\)](#), reportan rocas intrusivas del Eoceno de composiciones sub-alcalinas, altas en potasio, a alcalinas potásicas. Los resultados presentan enriquecimiento en elementos litófilos de radio iónico grande (LILE) con respecto a los elementos de alto potencial iónico (HFSE), valores altos de Sr (hasta 3340 ppm) y Ba (hasta 1800 ppm) que se interpretan como resultado de la fusión parcial de bajo grado del manto litosférico previamente metasomatizado por procesos de subducción.

Para contribuir al entendimiento de este evento magmático se plantea el estudio de los intrusivos del Eoceno temprano de la porción sur de la Mesa Central (Granito Comanja) y la región sur-oriental de la Sierra Madre Oriental (intrusivos de la Sierra de los Mármoles) (Fig. 1.2); con el objetivo de caracterizar las variaciones espaciales y temporales en la composición del magmatismo, así como establecer las posibles variaciones en los procesos de generación y evolución de los magmas.

### 1.1 Localización del área de estudio

Para el desarrollo del presente proyecto se eligieron dos áreas ubicadas en la parte central de México, a latitud similar pero dentro de distintas provincias geológicas (Fig. 1.2):

1. Intrusivo Granito Comanja, localizado en la Sierra de Guanajuato, en el extremo sur de la provincia fisiográfica de la Mesa Central. La SG se ubica en la parte noroccidental del Estado de Guanajuato ( $21^{\circ}23'N, 101^{\circ}47'W$  a  $21^{\circ}4'N, 101^{\circ}24'W$ ), tiene forma alargada en dirección NW-SE, y sus dimensiones aproximadas son de 80 km de longitud y 30 km de ancho, las cotas más altas de 2800 msnm se encuentran hacia el norte, mientras las más bajas de 2000 msnm se encuentran en el occidente. El estudio detallado de este cuerpo intrusivo se llevó a cabo dentro de las regiones de Duarte y La Estancia en el sur-oriental y Comanja de Corona hacia el norte (Fig. 1.2).
2. Cuerpos intrusivos de la Sierra de los Mármoles, en la porción suroriental de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, en el Estado de Hidalgo. Aquí se estudiaron tres áreas; en la primera, denominada en este trabajo como La Encarnación, aflora una serie de cuerpos intrusivos alineados en dirección SSW-NNE, en una zona con extensión de 15 km de longitud y 8 km de ancho, y cotas que varían desde 2800 msnm en el centro hasta 1100 msnm en el oriente. El estudio

detallado para esta zona se realizó en las regiones de Puerto Vigas, Villa Juárez, La Encarnación y San Nicolás. Adicionalmente se estudiaron cuerpos aislados que afloran hacia el E-SE, en las áreas de Nicolás Flores y Quetzalapa. La zona estudiada se localiza entre 21°01'N ,99°14'W y 20°43'N, 98°53'W. (Fig. 1.2).

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Con base en estudios petrográficos, geocronológicos y de química de roca total y de fases minerales, establecer las variaciones espaciales y temporales en los procesos magmáticos que dieron origen a los intrusivos del Eoceno que afloran en la Sierra de Guanajuato y en la Sierra de los Mármoles en el Estado de Hidalgo, así como su relación con la tectónica regional.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar las características petrográficas mesoscópicas y microscópicas de los intrusivos.
- Obtener edades U/Pb de los intrusivos, con el fin de ubicarlos temporalmente.
- Determinar la composición química de las rocas mediante análisis de elementos mayores y traza.
- Determinar la composición de las fases minerales principales presentes en las rocas.
- Obtener datos de temperatura, presión y fugacidad de oxígeno de cristalización de las rocas a partir de química mineral.
- Determinar los procesos que participaron en la generación de las rocas intrusivas.

### 1.3 Hipótesis

El magmatismo del Eoceno medio representa el inicio del desacoplamiento entre la placa Farallón y la litósfera continental. Se plantea que el desacoplamiento pudo ser producto de roll-back o ruptura de la placa subducida. Por su localización, las condiciones y el modo de emplazamiento, las rocas intrusivas del Eoceno representan un marcador importante para entender la evolución del magmatismo en la porción central de México.



**Figura 1.2.** Mapa de localización del área de estudio en el centro de México. Incluye la Sierra Madre Occidental (SMOc), la Mesa Central (MC), la Sierra Madre Oriental (SMOr) y la Faja Volcánica Transmexicana. Figura basada en la cartografía topográfica 1:50.000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

## 2 Marco geológico

El centro de México se caracteriza por el registro de eventos magmáticos que se distribuyen a lo ancho del país, dentro de estos eventos se destaca la actividad magmática continental del Cretácico Superior al Mioceno. Esta actividad puede dividirse en dos periodos principales en lo que respecta al volumen de los magmas emplazados. El primer periodo fue contemporáneo al acortamiento relacionado con el orógeno Mexicano (100-60 Ma), y se concentra en un cinturón batolítico a lo largo del margen pacífico. El segundo periodo es representado por un intenso volcanismo silícico a bimodal (38- 18 Ma), que generó la provincia de la Sierra Madre Occidental. Entre estos dos periodos tuvo lugar un magmatismo difuso y disperso a través de 600 km en el interior de México (Ferrari et al., 2018), (Fig. 1.1) que aún es poco entendido. A continuación, se abordarán cada uno de los periodos antes mencionados.

### 2.1 Evolución magmática del Cretácico al Oligoceno en el centro de México

El evento magmático del Cretácico Superior (100-60 Ma) registrado en las rocas del occidente de México se compone por los batolitos de Sonora, Sinaloa, el Bloque Jalisco y su cobertura volcánica (Ferrari et al., 2018 y referencias incluidas). Estas rocas son de composición intermedia que varían desde diorita y cuarzodiorita a granito alcalino (Roldan-Quintana, 1991; Valencia-Moreno et al., 2001). Valencia-Moreno et al. (2001) reconoce en el noroeste de México variaciones geoquímicas e isotópicas que permiten dividir las rocas en tres grupos (norte, central y sur), las rocas expuestas en la región norte y centro se caracterizan por ser altamente fraccionadas, y tener patrones enriquecidos en elementos de tierras raras ligeras, con anomalías negativas de europio (Eu) pronunciadas. En contraste, las rocas de la región sur presentan un bajo enriquecimiento total en elementos de tierras raras, con pendientes más planas y sin anomalías de Eu. Las evidencias de deformación encontradas (deformación sintectónica), apuntan a una deformación contractiva en la región occidental, y demuestran que esta fue progresiva, y ocurrió después de los ca. 105 Ma. (Cuéllar-Cárdenas et al., 2012). La intensidad de la actividad magmática ha variado ligeramente y se han reconocido picos entre 93-92, 81-80 y 64-63 Ma, con una disminución entre 51-38 Ma.

De 100 a 60 Ma, el foco del magmatismo se mantuvo estacionario, sin cambios en el oeste. Sin embargo, a partir de los ca. 60 Ma la actividad magmática migró progresivamente hacia el continente. Entre 50 y 40 Ma el magmatismo en el centro de México se extendió por aproximadamente 600 km en dirección W-E y se mantuvo por 20 Ma, este periodo está representado por plutones dispersos, aislados y en menor cantidad por rocas volcánicas.

Durante el Oligoceno y Mioceno temprano se emplazaron rocas que componen el Supergrupo Volcánico Superior (SVS) de la Sierra Madre Occidental, este magmatismo se asocia con extensión que antecede a la finalización de la subducción ([Ferrari et al. 2013](#)). Las rocas del SVS se emplazaron de forma discordante sobre las rocas del CVI ([McDowell y Keizer 1977](#); [Ferrari et al., 2005](#)), y están compuestas por una potente secuencia de depósitos de flujos piroclásticos, tobas de caída y lavas de composición dominante silícica y con lavas máficas en volumen subordinado ([McDowell y Clabaugh, 1979](#); [Ferrari et al., 2005](#)).

Posteriormente al pulso ignimbrítico del Oligoceno-Mioceno, el magmatismo se vuelve más heterogéneo y disperso en la Sierra Madre Occidental, con la característica de ser de composición más intermedia y con una tendencia a migrar progresivamente hacia el oeste ([Ferrari et al., 2018](#)).

## 2.2 Sierra de los Mármoles

La información previa disponible sobre los cuerpos intrusivos de la Sierra de los Mármoles es muy escasa y está prácticamente restringida a los reportes de un estudio realizado por JICA-CRM (1983), enfocado a los yacimientos minerales de la zona, y a un fechamiento isotópico reportado por [Cuéllar-Cárdenas et al. \(2012\)](#). Los intrusivos de la Sierra de los Mármoles (Fig. 2.1) se emplazaron en rocas del cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental. La SMO se compone principalmente de unidades sedimentarias marinas calcáreas, evaporíticas y clásticas, con edades desde el Triásico al Cretácico. La mayoría de las rocas deformadas forman parte de una cobertura carbonatada del Jurásico-Cretácico, que tiene como característica especial los cambios laterales de facies asociados con diferentes elementos paleogeográficos. Durante la fase de deformación por acortamiento, en la región de la Sierra de los Mármoles, que forma parte de un elemento paleogeográfico denominado cuenca de Zimapán, las secuencias carbonatadas fueron



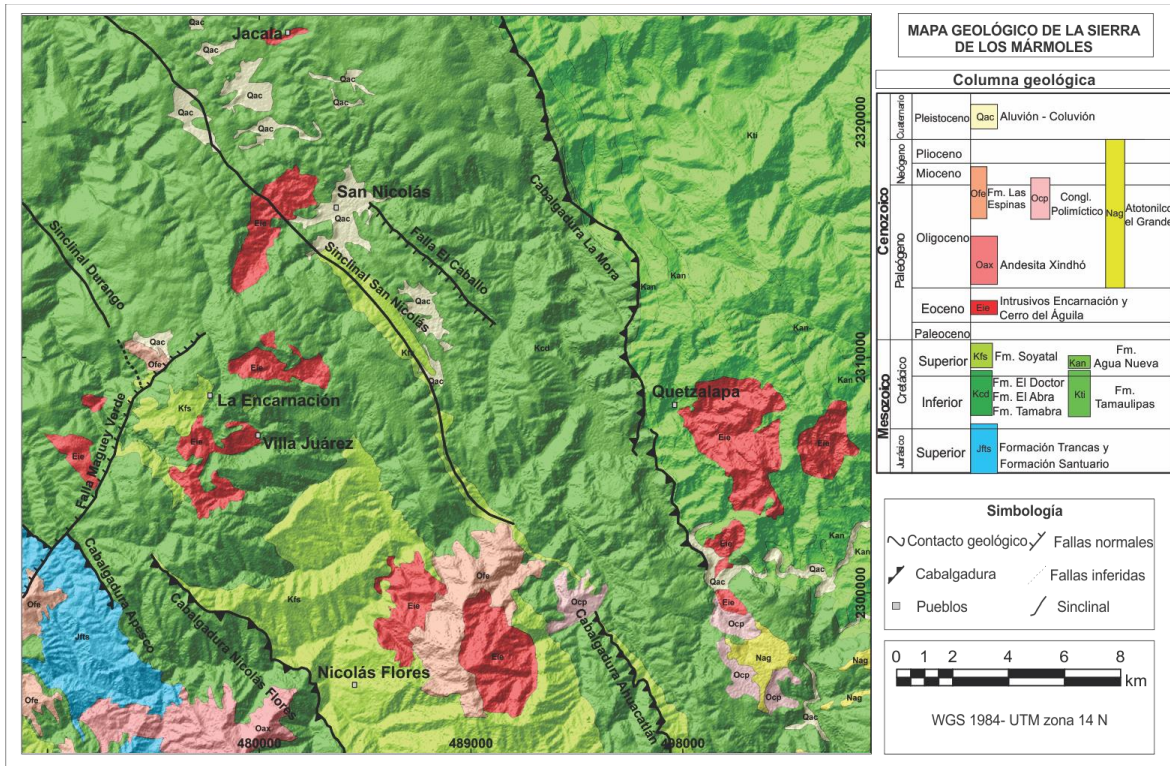
incorporadas en cabalgaduras imbricadas agrupadas en tres eventos mayores de deformación (Fitz-Díaz et al., 2012; Fitz-Díaz et al., 2014). Cuéllar-Cárdenas et al. (2012) reportaron que la deformación en esta región progresó de oeste a este entre 62 y 58 Ma, mientras que Fitz-Díaz et al. (2014) reportaron una edad de 83.5 Ma para la estructura más antigua en una zona hacia el oeste, que incluye a la cuenca de Zimapán, y 43.5 para la deformación más joven hacia el este en la zona de la cuenca Tampico-Misantla.

Los intrusivos de la Sierra de los Mármoles se emplazaron en rocas sedimentarias pertenecientes a la Fm. Trancas del Jurásico Superior, las formaciones El Abra, Tamabra y Tamaulipas del Cretácico Inferior y la Fm. Soyatal del Cretácico Superior (Fig. 2.1). Estos cuerpos intrusivos no presentan deformación por lo que han sido considerados como post-tectónicos (Cuéllar-Cárdenas et al., 2012; Fitz-Díaz et al. 2018) y sus edades han contribuido a acotar la edad de la deformación en la SMOr.

En el informe JICA-CRM (1983) reportan para el sector comprendido entre Zimapán y Jacala rocas intrusivas dioríticas datadas entre 51.7 y 40.5 Ma (K-Ar en roca total), distribuidas a manera de stock alineados en dirección NNE-SSW. Así como la presencia de cuerpos dispersos de granito a cuarzomonzonita, granodiorita y cuarzodiorita. En esta misma región, en el sector minero de Encino Prieto, Hidalgo, localizado al oeste de San Nicolás (Fig. 2.1), se encuentran secuencias de rocas sedimentarias, calizas y lutitas, deformadas frágilmente, que son cortadas por una granodiorita no deformada fechada en  $42.4^{+0.6}/_{-0.9}$  Ma (U-Pb, circón) (Cuéllar-Cárdenas et al., 2012).

El emplazamiento de los cuerpos dio lugar a un metamorfismo de contacto que generó los extensos depósitos de mármol del distrito minero de Zimapán, de los cuales se deriva el nombre de la Sierra de Los Mármoles, así como endo y exoskarns con mineralización de Fe-Cu-(Pb-Zn-Ag-Au) (JICA-CRM, 1983).

Hacia el sur de la zona de estudio, afloran secuencias volcánicas del Oligoceno-Mioceno que se extienden desde la cubierta sedimentaria. Según Reyes-Orozco (2012), la secuencia se compone de 1) una secuencia de ignimbritas y tobas riolíticas, coronada por lavas riolíticas, y asociada con lacolitos, sills y lavas de composición andesítica-basáltica a dacítica, para la cual reporta edades U-Pb y Ar-Ar entre ~33 y 28 Ma; 2) mesas subhorizontales formadas por flujos de basalto de olivino fechadas por Suter et al. (1995) en  $7.1 \pm 0.5$  Ma y  $7.7 \pm 0.5$  Ma (Ar-Ar, roca total).



**Figura 2.1.** Mapa geológico de la región de La Sierra de Los Mármoles. Modificado de Segerstrom, 1961; JICA, (1983); Fitz-Díaz et al. (2012) y Fitz-Díaz et al. (2018).

### 2.3 Mesa Central

En la provincia fisiográfica de la Mesa Central (Fig. 1.2), la progresión oeste a este de la deformación asociada a la Orogenia Laramide se representa por la discordancia Cretácico Superior-Paleoceno en la parte occidental y la discordancia Maastrichtiano-Paleoceno en la parte oriental, estas discordancias se asocian con el hiatus sedimentario que ocurrió durante la fase orogénica laramídica (Nieto-Samaniego et al., 2005; Cuéllar-Cárdenas et al., 2012). Esta fase orogénica es posterior a las estructuras de acortamiento generadas por la acreción de conjuntos volcanosedimentarios considerados parte del terreno Guerrero (Martini et al., 2016), generando que las estructuras formadas previamente fueran expuestas por exhumación (Cuéllar-Cárdenas et al., 2012).

En la Mesa Central afloran cuerpos volcánicos, subvolcánicos e intrusivos, la mayoría de edad mesozoica y cenozoica (Nieto-Samaniego et al., 2005; Tristán-González et al., 2015). Algunas edades de cristalización y enfriamiento reportadas se encuentran entre 74 a 60 Ma

y corresponden a rocas ígneas intrusivas que cortan estructuras de acortamiento generadas por la orogenia Laramídica (Cuéllar-Cárdenas et al., 2012; Tristán-González et al., 2015). Hacia el margen norte se reporta un intrusivo con edad de 76.9 Ma (U-Pb en circón) en el pico de Teyra, Zac. que presentan evidencias de deformación sintectónica y se relaciona con la orogenia Sevier (Ramírez-Peña, Chávez-Cabello, 2017), en cercanías a Concepción del Oro, Zac., se reporta un intrusivo con edad ca. 72 Ma que no presenta evidencias de deformación interna. Gran parte de los intrusivos de la Mesa Central se han documentado como intrusivos con edades del Paleógeno, que se encuentran limitando bordes de fosas tectónicas.

Las rocas magmáticas del Eoceno medio son rocas volcánicas de composiciones máficas en su mayoría, pero también se reportan rocas de composición félsica. Estas rocas se localizan en Guanajuato, Aguascalientes, Zacatecas, Fresnillo, San Luis Potosí (Nieto-Samaniego et al., 1996), Sombrerete-Colorada (Albinson, 1988), Durango (Swanson et al., 1978), Nazas, y se extienden fuera de la Mesa Central hacia el norte (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991) y hacia el sur (Morán-Zenteno, et al., 2000).

El magmatismo del Oligoceno constituye el conjunto litológico más distintivo de la Mesa Central (Nieto-Samaniego et al., 2005). Este es un evento volcánico voluminoso de composición andesítica a riolítica, estas rocas se encuentran sobreyaciendo unidades del Mesozoico. En la región de San Luis Potosí, la cobertura volcánica del Oligoceno se agrupa en dos secuencias principalmente por su composición química. (Orozco-Esquivel et al 2002). La secuencia inferior se emplazó antes de la formación del graben Villa de Reyes y tiene composiciones que varían desde andesita a riolita. La secuencia superior se encuentra cercana a estructuras mayores y su composición es riolítica, con excepción de algunos afloramientos de lavas basálticas localizados en el graben Bledos. Según Orozco-Esquivel et al., (2002), las características petrográficas de las dos secuencias son similares. Químicamente la secuencia inferior es similar a las rocas riolíticas altas en K de la Sierra Madre Occidental, con características de magmas derivados del manto que evolucionaron a partir de cristalización fraccionada; la secuencia superior está compuesta por rocas riolíticas altas en sílice, peraluminosas, con un enriquecimiento alto en flúor, esta secuencia se considera originada a partir de procesos de fusión parcial de rocas corticales, con escaso aporte de magmas del manto, en relación con procesos extensionales con tasas altas de deformación.

Las rocas volcánicas del Mioceno se encuentran discordantes sobre el conjunto volcánico del Oligoceno, o intercaladas con sedimentos y se encuentran dispersas en la Mesa Central y su composición es principalmente máfica (Nieto-Samaniego et al., 2005).

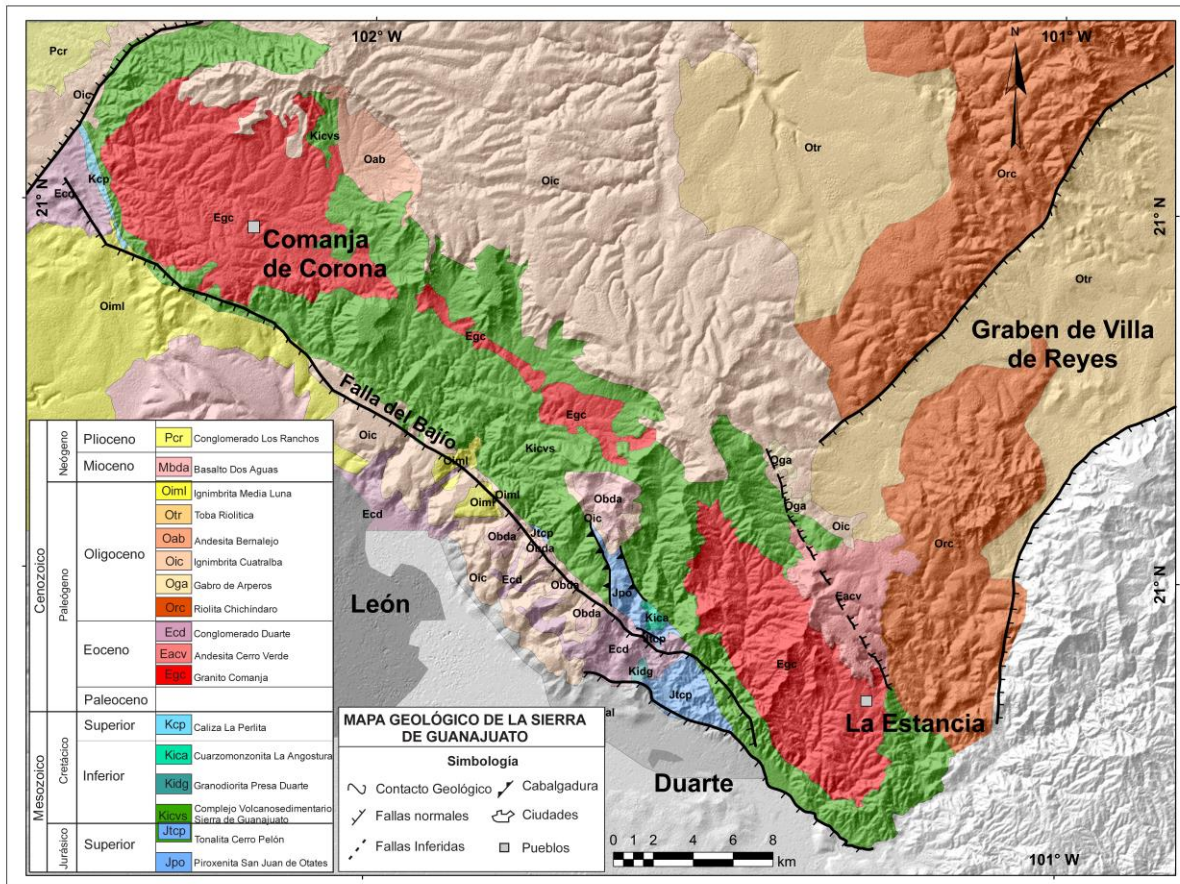
El registro de rocas volcánicas del Pleistoceno y Holoceno esta mejor expresado en la parte sur de la Mesa Central, se relaciona con la evolución de la Faja Volcánica Transmexicana (Alaniz-Álvarez et al., 2001) y afloran en pequeños conjuntos de aparatos volcánicos. En San Luis Potosí y otras partes de la Mesa Central se ha reportado volcanismo de tipo intraplaca con composiciones químicas de manto primitivo y de edad Plioceno-Pleistoceno (Aranda-Gómez et al., 2005).

### 2.3.1 Sierra de Guanajuato

La Sierra de Guanajuato está constituida por una pila tectónica compleja de cabalgaduras compuesta por diversas sucesiones litoestratigráficas (Ortiz-Hernández et al., 1992; Martini et al., 2012), reconocidas geoquímicamente como dos ensambles pre-tectónicos (Lapierre et al., 1992; Ortiz-Hernández et al., 1992), un nivel estructural superior compuesto por un complejo intrusivo del Jurásico tardío al Cretácico temprano (gabros, dioritas y tonalitas cortados por diques basálticos y doleríticos) y una sucesión eruptiva cogenética (basaltos, hialoclastitas intercaladas con brechas volcánicas, chert con radiolarios, arcosas, grauvaca arcósica y algunas tobas rio-dacíticas en la parte superior). Estas rocas se encuentran cabalgando sobre la formación Arperos compuesta por basaltos almohadillados y hialoclastita, cubierto concordantemente por 700 m de areniscas volcánicas, lutita, chert con radiolarios, conglomerados y calizas micríticas; y la formación La Esperanza que se compone de rocas metavolcanoclásticas polideformadas y limolitas. (Echegoyén-Sánchez 1975; Ortiz-Hernández et al., 2003). Estas dos formaciones constituyen la cuenca de Arperos desarrollada durante el Jurásico tardío - Cretácico temprano (Martini et al., 2011), donde fueron plegadas y parcialmente metamorfoseadas bajo condiciones de esquistos verdes de bajo grado. Sobreyaciendo discordantemente sobre esta secuencia se encuentra la formación La Perlita que está constituida por calizas neríticas del Albiano. (Chiodi et al., 1988; Quintero-Legorreta, 1992). La secuencia de rocas del Mesozoico de la Sierra de Guanajuato fue intruida por el batolito Granito Comanja y cortadas por fallas normales con orientación NW-SE y NE-SW (Ortiz-Hernández et al., 1992, Fig. 2.2).

### 2.3.2 Granito Comanja

En la Sierra de Guanajuato se encuentra el Granito Comanja (GC), un plutón que intruye a la secuencia de rocas marinas Mesozoicas y desarrolla un halo de metamorfismo local que subyace a la cobertura volcánica Cenozoica (Ángeles-Moreno et al., 2017). Definido como un cuerpo granítico de dimensiones batolíticas con megacristales de ortoclasa (Echegoyén et al., 1975; Martínez-Reyes 1992; Botero, 2011; Ángeles-Moreno et al., 2017), de 45 km de longitud y de 2 a 7 km de ancho, que se extiende desde Comanja de Corona hacia el SE en dirección de la Estancia de Comanjilla (Fig. 2.2) (Echegoyén et al., 1975; Quintero-Legorreta 1992). La composición del GC varía de granito de biotita a granodiorita con cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita como minerales principales y circón, apatito y minerales opacos como fases accesorias (Echegoyén et al., 1975; Yta y Chiodi, 1987; Martínez-Reyes, 1992; Quintero-Legorreta, 1992; Botero-Santa, 2011; Ruiz-González, 2015; Ángeles-Moreno et al., 2017). En la zona central se reportan algunos diques, cuya cantidad aumenta hacia los bordes. Estos diques son agrupados de acuerdo con su composición mineralógica en: 1. diques pegmatíticos; 2. diques aplíticos leucocráticos; 3. diques de feldespato potásico rico en K; 4. diques de granodiorita verde (Ruiz-González, 2015; Ángeles-Moreno et al., 2017). Ángeles-Moreno et al. (2017) reportan la presencia de vetas de turmalina con estructuras cataclásticas, así como fallas adyacentes a estas vetas. La presencia de las vetas de turmalina se restringe al GC y los contactos metamórficos con las rocas del Mesozoico, estas se asocian a tres fases de deformación (D1: coexistente con la última intrusión, bajo un régimen de acortamiento-transpresional; D2: fallamiento normal; D3: fase extensional).



**Figura 2.2.** Mapa Geológico de la Sierra de Guanajuato. Modificado de Martínez-Reyes, (1992); Botero-Santa et al. (2012); Ruiz-González, (2015) Ángeles-Moreno et al. (2017); Ángeles-Moreno, (2018) y cartas geológico-mineras (F14-C42, F14-C31 y F14-C32) del Servicio Geológico Mexicano (SGM).

Químicamente para el GC se han reportado variaciones composicionales que van desde granito alcalino a granito rico en cuarzo (Yta y Chiodi, 1987); composiciones calco-alcalinas (Quintero-Legorreta, 1992), ligeramente hiperaluminosas y similares a los granitos de arcos volcánicos calco-alcalinos, con concentraciones bajas de Y (20 a 31 ppm) y Nb (10 a 13 ppm), enriquecimiento en elementos de tierras raras y anomalías negativas de Eu (Stein et al., 1994).

Las edades de cristalización reportadas para el GC varían entre  $49.5 \pm 0.8$  Ma y  $52.6 \pm 0.5$  Ma (U-Pb en circón, Botero-Santa, 2011; Ángeles-Moreno et al., 2017; Nieto-Samaniego et al., 2019). Edades de enfriamiento de  $52.11 \pm 0.27$  Ma (Ar-Ar en biotita) y  $52.62 \pm 0.73$  Ma (Ar-Ar en feldespato potásico) fueron reportadas por Botero-Santa et al. (2015).

### 3 Materiales y métodos

La metodología para el desarrollo de este proyecto se divide en seis partes, las cuales se describirán a continuación.

#### 3.1 Revisión de información bibliográfica

Se realizó una recopilación de la información antecedente acerca de la evolución magmática en el centro de México, así mismo una búsqueda acerca de la Mesa Central, Sierra de Guanajuato, Sierra Madre Oriental, Cuenca de Zimpán fue hecha en artículos, libros, reportes técnicos, mapas geológicos y topográficos. Inicialmente fueron usadas las cartas geológicas 1:250.000 del SGM F13-1, F13-2, F13-3, F13-5, F13-6, F13-8, F13-9, F13-10, F13-11, F13-12, F14-1, F14-2, F14-4, F14-5, F14-7, F14-8 F14-10, F14-11, G13-7, G13-8, G13-9, G13-10, G13-11, G13-12, G14-7, G14-8, G14-10, G14-11, para determinar la distribución de los cuerpos intrusivos asignados al Eoceno. Posterior a esto se determinaron los intrusivos a estudiar en este proyecto y se usaron las cartas geológicas 1:50.000 (F14-C31, F14-C32, F14-C41, F14-C42, F14-C59, F14-D51), con la finalidad de ampliar la información obtenida.

#### 3.2 Geología de campo

A partir de las cartas geológicas, cartas topográficas 1:50.000, imágenes satelitales y cartografía previa (cartas geológico–mineras del Servicio Geológico Mexicano, carta geológica de [Martínez-Reyes, 1992](#), [Nieto Samaniego et al., 2005](#); [Botero, 2011](#); [González-Ruiz, 2015](#); [Ángeles-Moreno et al., 2017](#) y reportes del Consejo de Recursos Minerales en colaboración con *Japan International Cooperation Agency* JICA de 1983), se realizó la planificación de las excursiones a campo.

El trabajo en campo consistió en recorridos por los sitios determinados en la fase de reconocimiento empleando imágenes satelitales. Debido a las condiciones del terreno, altas pendientes y espesa vegetación, los lugares seleccionados para el muestreo dependieron de las vías, caminos y arroyos existentes; allí se levantaron estaciones de campo y, se

recolectaron muestras sin alteración para los análisis petrográficos, químicos y de geocronología. Todas las estaciones se posicionaron y controlaron mediante GPS.

### 3.3 Láminas delgadas y petrografía

La preparación de las láminas delgadas de las rocas seleccionadas se llevó a cabo en el Taller de Laminación del Centro de Geociencias de la UNAM. El procedimiento para la preparación se describe a continuación:

- Corte de las muestras en bloques de 40x22x8 mm
- Esmerilado de la muestra hasta obtener una superficie completamente plana, para esto se emplearon abrasivos de 180, 320 y 400. Posterior a esto y sobre un vidrio se esmerilaron las muestras nuevamente con abrasivo de 600.
- Esmerilado del vidrio donde posteriormente se pegará el bloque de muestra.
- Pegar la muestra con resina epóxica al portaobjetos anteriormente esmerilado, dejar secar por 8 horas.
- Corte delgado (0.5 – 2 mm) de las muestras pegadas al portaobjetos.
- Desbastado mecánico hasta obtener un grosor de 50  $\mu\text{m}$ .
- Desbastado manual empleando abrasivos de 400, 600, y 1000, hasta obtener un grosor de 30  $\mu\text{m}$ .
- Pulir las láminas hasta obtener el acabado requerido.

La descripción petrográfica se realizó en dos fases: primero se realizó una descripción de las muestras en afloramiento, posterior a esta en la segunda fase se hizo una descripción microscópica. Se analizaron 25 láminas delgadas, en las que se determinaron las composiciones modales mediante conteo de 500 puntos (Anexo 1-1), adicionalmente para el intrusivo Granito Comanja se realizaron cortes de muestras de 8 x 4.5 cm. Los análisis microscópicos se realizaron en el Laboratorio de Fluidos Corticales del Centro de Geociencias de la UNAM, empleando un microscopio petrográfico Olympus BX51. Las abreviaturas para los minerales se hicieron según [Whitney y Evans \(2010\)](#).



### 3.4 Fechamiento U/Pb en circón

Se analizaron cuatro muestras del área de Zimapán (ZP-05, ZP-06, ZP-09, ZP-12), todas ellas correspondientes a los cuerpos intrusivos que afloran en la zona. Los resultados analíticos se muestran en las tablas 3-1 a 3-7 de los anexos. Las muestras fueron trituradas y tamizadas en malla 40 en los laboratorios de molienda y separación mineral del Centro de Geociencias de la UNAM. La fracción de muestra obtenida al pasar la malla 40 se concentró mediante batea; estos concentrados se analizaron bajo lupa binocular. Los circones se separaron manualmente con el uso de pinzas desmagnetizadas y se montaron en una probeta de plástico con resina epóxica. Después de 8 horas, tiempo en el que se endurece la resina, se procede a exponer los circones mediante pulido con lijas pasando de abrasivos más gruesos a finos (800 a 3000). Los circones se estudiaron por medio de imágenes de catodoluminiscencia para reconocer su estructura interna. Para el fechamiento de las muestras se seleccionaron un total de 40 puntos, 35 de ellos en bordes de crecimiento magmático y cinco en núcleos.

Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI) del Centro de Geociencias de la UNAM, equipado con un láser de la marca Resonetics, modelo Resolution 50, que opera a una longitud de onda de 193 nm y que está enlazado a un sistema óptico de lentes con profundidad de foco de 50 a 200  $\mu\text{m}$ . Este láser además está unido a un espectrómetro de masas y plasma acoplado (ICP-MS) Thermo iCap Qc de tipo Cuadrupolo (Solarí et al., 2009). El equipo cuenta con una celda de ablación Laurin Technic presurizada con gas helio que permite alcanzar las condiciones ideales para el proceso de ablación.

El tamaño del haz utilizado para los análisis fue de 23  $\mu\text{m}$  y la profundidad alcanzada es de 20 a 25  $\mu\text{m}$ . Cada análisis tuvo 25 s de fondo de señal monitoreada, seguido por 30 s de señal con el láser a una frecuencia de 5 Hz y una densidad de energía de 8  $\text{J}/\text{cm}^2$ , al finalizar 25 s son empleados para el reposicionamiento de la platina y la limpieza.

La secuencia de análisis de las muestras comienza con dos puntos de control en el vidrio NIST 610, cinco en el circón estándar 91500 (Wiedenberck et al., 1995; Goolaerts et al., 2004) y tres en el estándar secundario plešovice (Sláma et al., 2008). Después se analizan los circones de edad desconocida en intervalos de diez circones de edad desconocida, dos del estándar 91500 y uno del Plešovice. Además, cada treinta circones se realiza un análisis

extra en el vidrio NIST 610. Al terminar el análisis de los circones de edad desconocida, la secuencia finaliza con una medición del estándar Plešovice, dos del 91500 y uno del vidrio NIST 610.

La geocronología de U/Pb es uno de los métodos más usados en la actualidad, que permite determinar edades de cristalización en circones, basándose en el decaimiento radioactivo de uranio (U) y torio (Th) a plomo (Pb) de forma natural (tabla 3.1) (Dickin, 2018).

Serie de decaimiento		Tiempo de vida media $t_{1/2}$ años $\times 10^9$	Constante de decaimiento $\lambda$ , año <sup>-1</sup>
$^{238}\text{U}$	$\longrightarrow$ $^{206}\text{Pb}$	4.47	$1.55125 \times 10^{-10}$
$^{235}\text{U}$	$\longrightarrow$ $^{207}\text{Pb}$	0.703	$9.8544 \times 10^{-10}$
$^{232}\text{Th}$	$\longrightarrow$ $^{208}\text{Pb}$	14.01	$0.49475 \times 10^{-10}$

La acumulación de isotopos radiogénicos de Pb ( $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ) por decaimiento radioactivo se rige por las ecuaciones derivadas de la ley de radioactividad (ecuaciones 1 - 4) (Faure y Mensing, 2005). Estas ecuaciones son usadas para construir diagramas de concordia de U-Pb que tienen como principio un sistema cerrado para la movilidad de uranio y plomo. Sin embargo, los sistemas perfectamente cerrados son escasos en la naturaleza, por esta razón las ecuaciones 2 a 4 fueron simplificadas para el caso de minerales ricos en uranio que idealmente no integran Pb en su estructura al momento de la cristalización (e.g. circón). Removiendo el término del plomo inicial, se consiguió la construcción de la curva de concordia (Wetherill, 1956), en la cual se emplea el decaimiento simultaneo y acumulación de dos pares isotópicos  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  y  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  (Dickin, 2018).

$$D = D_0 + N(e^{\lambda_1 t} - 1) \quad (1)$$

$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_i + \frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}}(e^{\lambda_1 t} - 1) \quad (2)$$

$$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_i + \frac{^{235}\text{U}}{^{204}\text{Pb}}(e^{\lambda_2 t} - 1) \quad (3)$$

$$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \left(\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_i + \frac{^{232}\text{Th}}{^{204}\text{Pb}}(e^{\lambda_3 t} - 1) \quad (4)$$

$$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}} = (e^{\lambda_{238} t} - 1) \quad (5)$$

$$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}} = (e^{\lambda_{235} t} - 1) \quad (6)$$

El circón es uno de los minerales más versátiles en la geocronología, incorporando durante su formación cantidades significativas de uranio (en algunos casos mayor a 5000 ppm) y bajas cantidades de plomo dentro de su estructura cristalina; adicionalmente tiene la capacidad de preservar las características químicas a través del tiempo y los procesos geológicos (Cherniak y Watson, 2003). En conclusión, el método de fechamiento de U-Pb en circones es un método robusto, ampliamente usado que permite inferir la edad de cristalización de los magmas.

Para análisis y procesamiento de los datos obtenidos en el Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI), se utilizó la versión en línea del programa IsoplotR (Vermeesch, 2018). La representación gráfica de los datos y el cálculo de la edad se realizó en el diagrama de Tera y Wasserburg (1972), usando el modelo de discordia 1 (model-1) (Vermeesch, 2018). Seguido a esto se realizó una selección de los datos, que estadísticamente fueran representativos y así obtener una edad más adecuada. Adicionalmente, se determinó la concentración de elementos traza en los mismos puntos que se analizaron para fechamiento.

### 3.5 Geoquímica de elementos mayores y traza

Las muestras que se seleccionaron para análisis de elementos mayores se analizaron en el Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, del Instituto de Geología, UNAM, siguiendo los procedimientos propuestos por Lozano y Bernal, (2005). Las muestras se analizaron por fluorescencia de rayos X (XRF) en discos de  $\text{LiBO}_2/\text{LiB}_4\text{O}_7$  empleando un espectrómetro secuencial Rigaku, modelo Primus II, equipado con tubo de Rh de 400 watts.

Los elementos trazas se midieron por espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (Inductively Coupled Plasma Spectrometry, ICP-MS), usando el equipo Thermo iCap Qc del Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI) del Centro de Geociencias (CGEO), UNAM. Los análisis se realizaron sobre muestras pulverizadas siguiendo los procedimientos descritos en (Mori et al., 2007; Mori et al., 2009).

### 3.5.1 Preparación de muestras

La selección de las muestras para análisis químicos se hizo teniendo en cuenta el grado de alteración. Este grado de alteración se determinó a partir de las muestras de mano y las características presentes en las láminas delgadas. En total se seleccionaron 18 muestras para análisis de elementos mayores y trazas. El proceso de triturado y pulverizado (tabla 3.2) se llevó a cabo en el Laboratorio de Molienda y Pulverizado del CGEO, UNAM.

Etapa	Descripción del proceso
1	<b>Descostrado y fragmentación:</b> En esta etapa del proceso se eliminan los fragmentos que presenta alteración, además, las muestras se reducen a fragmentos que se puedan manipular fácilmente.
2	<b>Proceso de Triturado:</b> Los fragmentos de roca seleccionados anteriormente son triturados empleando una prensa hidráulica.
3	<b>Tamizado:</b> Las muestras trituradas se hacen pasar por una serie de tamices con diferentes tamaños (mallas 4, 8, 40). Cada una de las fracciones se separa y concentra.
4	<b>Lavado y secado:</b> Las muestras seleccionadas para análisis de geoquímica son las que pasan la malla 4, pero que no pasan la malla 8. Estas muestras son lavadas con agua de osmosis inversa (3 veces), pasando por ultrasonido entre cada lavado. Finalmente se lavan con agua desionizada de 18 MΩ de resistividad y se dejan secar completamente en el horno sin sobrepasar los 60 °C.
5	<b>Separación:</b> Las muestras lavadas pasan por dos procesos de selección. 1- Se eliminan los fragmentos que presentan alteración empleando una lupa de mano. 2- Empleando lupa binocular se termina el proceso de selección, eliminando las muestras con alteración.
6	<b>Pulverización:</b> Las muestras seleccionadas en el paso anterior son pulverizadas usando un shatterbox y un plato de alúmina SPEX. Este proceso consta de varios pasos. 1- Descontaminación del área (laboratorio, shatterbox, plato de alúmina, instrumental y personal). 2- Pre contaminación del plato con una fracción de la muestra a pulverizar y desechar. 3- Pulverización de la muestra.  Entre cada muestra se repite el procedimiento.

### 3.5.2 Digestión y análisis de elementos traza

Para el análisis de los elementos trazas es necesario realizar la digestión de las muestras. Esto con el objetivo de disolver completamente todas las fases minerales que tengan las rocas. La preparación de las muestras para los análisis de elementos trazas se llevó a cabo en el Laboratorio Ultra-limpio del Centro de Geociencias, UNAM. El proceso de preparación y digestión de las muestras se realizó según la metodología propuesta en [Mori et al. \(2009\)](#) y se describe en la tabla 3.3.

Etapa	Descripción del proceso
1	Pesar cada una de las muestras en la micro-balanza el rango de peso para las muestras debe estar entre 0.04950-0.5050 y añadir 1 ml de HF concentrado y 0.5 ml de HNO <sub>3</sub> 7 – 8N y dejarlo por una noche a 100 °C.
2	Una vez estén secas las muestras, añadir 1 ml de HF concentrado y 0.5 ml de HNO <sub>3</sub> 7 – 8N y trasladar a bombas de presión (1.5 ml). Posteriormente, agregar 4 ml de HF concentrado y 3 ml de HNO <sub>3</sub> 7 – 8N; y dejar los recipientes en el horno a una temperatura de 190 °C por 100 horas.
3	Al séptimo día, una vez los recipientes hayan enfriado y las muestras estén secas, añadir 1.5 ml de HCL 6N; y volver a poner en las bombas, agregar 5 ml de HCL 6N y dejar la bomba en el horno por 24 horas a 140 °C.
4	Una vez las bombas hayan enfriado y se haya evaporado el ácido de las muestras, agregar 16 gotas de HNO <sub>3</sub> concentrado y dejar evaporar. añadir 16 gots de HNO <sub>3</sub> 8N y deje durante una noche a 100 °C.
5	Al siguiente día, una vez estén secas las muestras adicionar 2 ml de agua desionizada y 2 ml de HNO <sub>3</sub> 8N; dejar durante una noche a 100 °C.
6	Finalmente, se debe hacer la dilución, para esto se agrega un estándar interno que contiene 10 ppb de Ge, 5 ppb de In, y Tb y 5 ppb de Bi; la proporción correcta para la dilución es 1:2000 para esto se agrega el estándar hasta completar 125 mL.

### 3.6 Microsonda Electrónica (EPMA)

Los análisis de microsonda electrónica se realizaron en la Unidad de Micro-análisis del Instituto de Geofísica de la UNAM, campus Morelia. Se empleó una microsonda marca JEOL modelo JXA-8230. El método empleado fue espectrometría de dispersión de longitud de onda de rayos-X (WDS), las condiciones de medición del haz son de 15 kV y 10nA. Para los anfíboles el haz empleado fue de 5 µm, mientras que, para los feldespatos, óxidos de Fe-Ti y titanitas fue de 1 µm. Para la calibración se usaron distintos estándares minerales dependiendo de la fase a analizar y los elementos de interés. Para los análisis de microsonda fue necesario hacer láminas delgadas doblemente pulidas, las cuales se hicieron en el Taller de Laminación del Centro de Geociencias, UNAM. El recubrimiento de las muestras se hizo con carbono y se llevó a cabo en el Instituto de Geofísica de la UNAM, campus Morelia. Los resultados analíticos se presentan en las tablas 2-1 a 2-12 de los anexos.

## 4 Resultados

### 4.1 Descripciones de campo

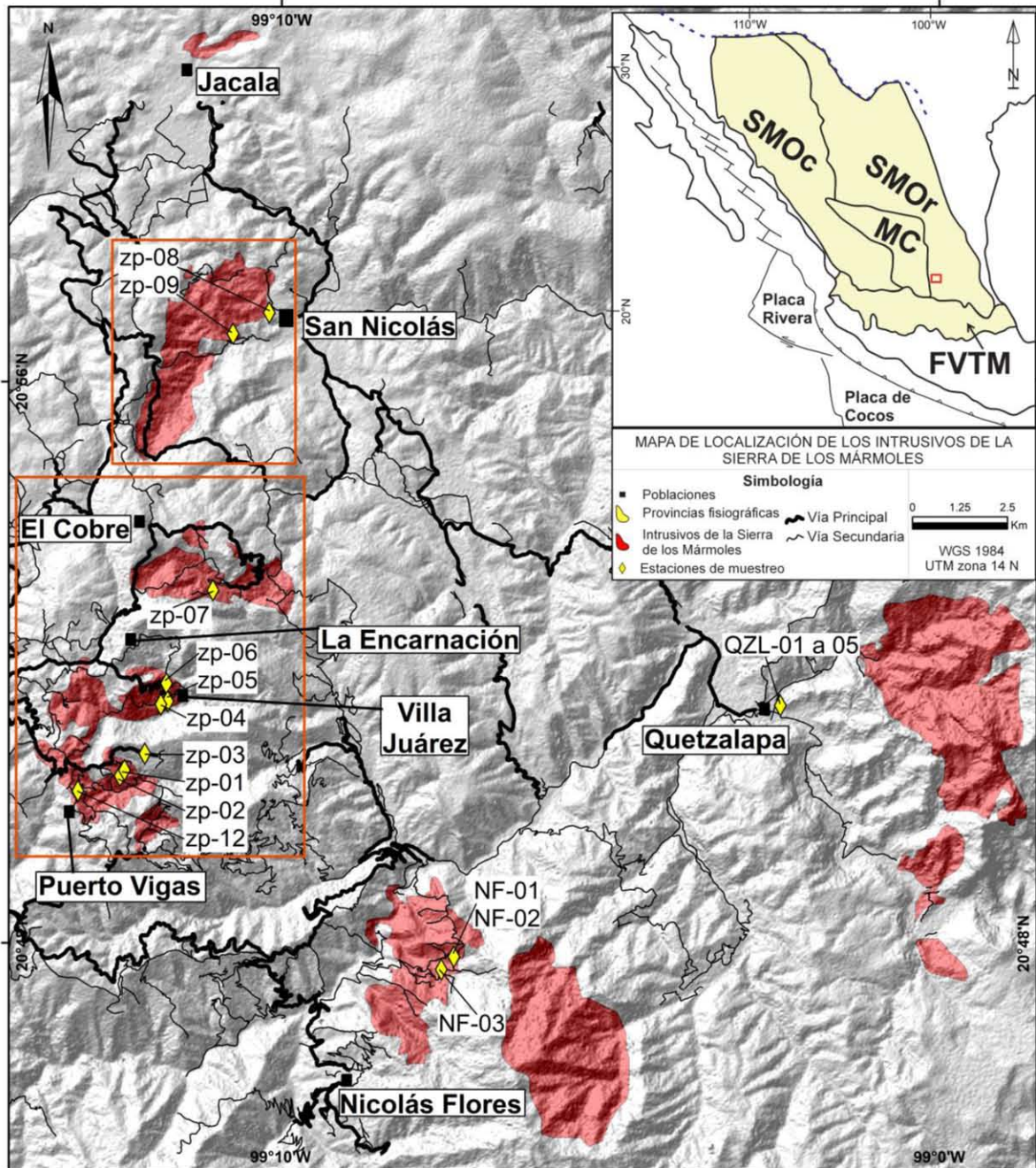
Durante la fase de campo se recolectaron 36 muestras (tabla 1-1 de anexos), distribuidas de la siguiente manera: 21 muestras correspondientes a los intrusivos de la Sierra de los Mármoles, intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa (estado de Hidalgo) (Fig. 4.1), y 15 muestras del Granito Comanja localizado en la Sierra de Guanajuato (Fig. 4.5). A continuación, se describen las características de las muestras colectadas y sus relaciones en campo.

#### 4.1.1 Intrusivos de la Sierra de los Mármoles

Los intrusivos de la Sierra de los Mármoles (SM), son una serie de cuerpos discontinuos (stock) expuestos con dirección NNE-SSW. El área en que afloran estos cuerpos tiene una longitud de 21 km desde Puerto de Vigas en el sur, hasta Jacala en el norte, y ~11 km de ancho (Fig. 4.1). Los cuerpos plutónicos se encuentran intruyendo a rocas sedimentarias de las formaciones El Abra, Tamabra y Soyatal, sobre las que se generan procesos metamórficos de metasomatismo en sus contactos, teniendo como resultado la formación de mármol y rocas de tipo skarn. Para este estudio se hicieron observaciones y colecta de muestras en los cuerpos que afloran en las inmediaciones de los poblados de Puerto Vigas, Villa Juárez, Encarnación, El Cobre, San Nicolás, al NE y el oeste de San Nicolás, al NE de Nicolás Flores y en cercanías a Quetzalapa (Fig. 4.1). Se visitaron también los cuerpos que afloran al norte de Jacala (Fig. 4.1) y al oeste de la falla Maguey Verde (Fig. 2.1), pero se excluyeron del estudio debido al intenso intemperismo que presentan.

Las rocas se componen principalmente de una masa relativamente homogénea que varía de diorita a monzodiorita y tonalita, de color gris a gris oscuro, con tamaño de cristales que varían de fino (1-0.1 mm) a medio (1-5 mm) en dirección sur-norte. Las variaciones en composición se presentan localmente y corresponden con el aumento en fases minerales máficas. Además, se destacan la presencia de diques aplíticos encontrados en zonas de mayor elevación (2500 msnm) hacia la zona sur, y enclaves concentrados en la zona norte

(1200 msnm). Adicionalmente, se reportan dos cuerpos intrusivos, ubicados hacia el sureste de la SM (Intrusivo de Nicolás Flores y Quetzalapa). A continuación, se describirán los aspectos particulares de cada zona.



**Figura 4.1** Mapa de localización de intrusivos y muestras de La Sierra de Los Mármoles. SMOc: Sierra Madre Occidental, MC: Mesa Central, SMOR: Sierra Madre Oriental, FVTM: Faja Volcánica Transmexicana.

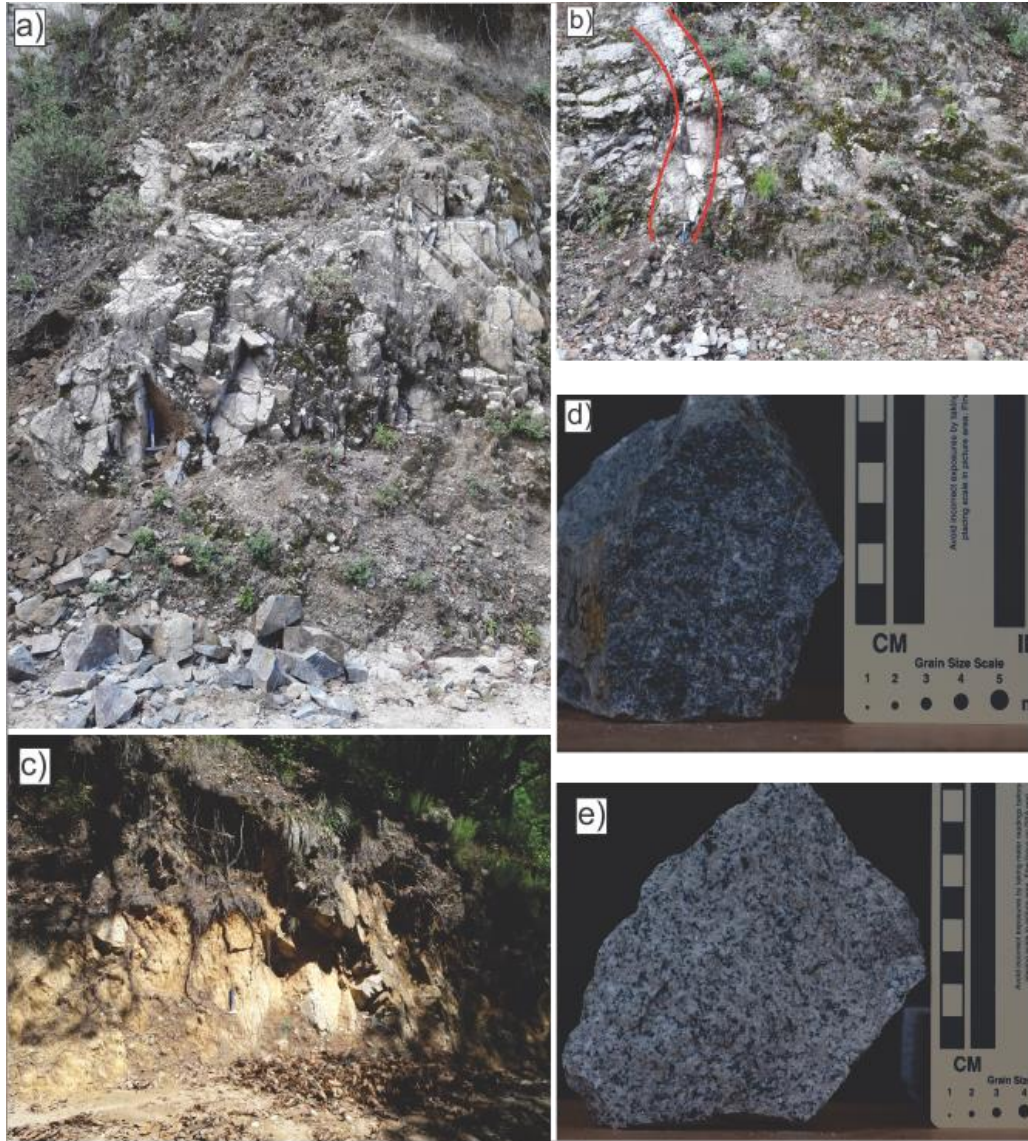
#### 4.1.1.1 Zona La Encarnación

La zona de La Encarnación comprende las estaciones aledañas a los poblados de Puerto Vigas, Villa Juárez, La Encarnación, y El Cobre. La morfología del terreno es escarpada, donde predomina la vegetación boscosa y los valles moderadamente profundos. Las estaciones se ubican en elevaciones que varían de 2600 a 1900 msnm. Los afloramientos se ubican en cortes de carretera y arroyos ya que en la zona predomina la cobertura vegetal. Las rocas se encuentran parcialmente alteradas (Fig. 4.2a-c), y en esta zona es más desarrollado el metamorfismo de contacto. Corresponden a rocas intermedias con estructura isotrópica, holocristalinas, mesocráticas, faneríticas con cristales de tamaño medio (~2-3 mm), la textura es inequigranular unimodal e hipidiomórfica. Mineralógicamente se componen de plagioclasa >> hornblenda > biotita > cuarzo, con aumento en los tamaños de cristales hacia la zona de La Encarnación. En algunos afloramientos se observaron nidos de biotita y autolitos, así como bloques de roca sedimentaria. Además, son intruidas por diques aplíticos leucocráticos de 0.57 m de espesor (Fig. 4.2b), con tamaño de cristales de ~1 mm, compuestos por feldespatos alcalinos > plagioclasa, cuarzo y restos de hornblendas oxidadas producto de alteración. (Fig. 4.2c-d). En esta zona se colectaron ocho muestras: zp-01, zp-02, zp-03, zp-04, zp-05, zp-06, zp-07, zp-12 (Fig. 4.1).

#### 4.1.1.2 Zona San Nicolás

Hacia la zona norte del área de estudio los afloramientos se ubican al oeste del poblado de San Nicolás (Fig. 4.1), donde las pendientes son suaves con alturas de ~1700 a 1100 msnm. Las zonas muestreadas corresponden a la parte baja del flanco oriental de la Sierra de los Mármoles, ubicadas a ~1150 msnm. Los afloramientos se ubican hacia el NE y SE de San Nicolás, se encuentran moderadamente alterados y fracturados debido a la acción de fallas que cortan la zona. Hacia el SE (Fig. 4.3a), las muestras se colectaron a lo largo de un arroyo que recorre de oeste a este el flanco oriental, allí las rocas se encuentran como grandes bloques producto de la erosión o constituyen el lecho del arroyo.





**Figura 4.2** Afloramientos y muestras de mano de los intrusivos de La Encarnación en la zona de Puerto Vigas. a y b) afloramiento fracturado, intruido por diques aplíticos. c) afloramiento alterado producto de meteorización y desarrollo de suelo. d y e) Muestras de mano del intrusivo de La Encarnación donde se observa el grado de cristalinidad (holocristalinas), y el índice de color (rocas mesocráticas).

Las rocas en estos afloramientos presentan composiciones intermedias, son holocristalinas, mesocráticas con textura equigranular, de tamaño fino (~1 mm), cortadas por diques aplíticos (Fig. 4.3c). Además, se observaron numerosos enclaves microgranulares máficos con formas elipsoidales, en contacto neto con la roca, con tamaños que varían de 2 cm a 83 cm, la relación entre sus ejes es de 1:1 hasta 2:1.

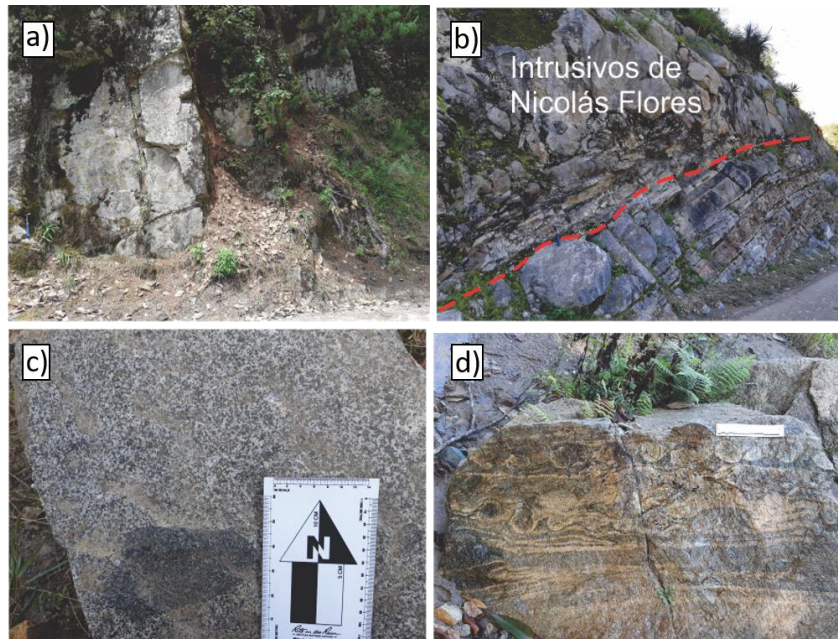
Mineralógicamente los enclaves se caracterizan por la presencia de plagioclasa subédrica (Fig. 4.3d-e). Se colectaron tres muestras del cuerpo de San Nicolás zp-08, zp-09 y zp-13 (Fig. 4.1).



**Figura 4.3** Apariencia de los afloramientos en el sector de San Nicolás. a) afloramiento afectado por falla con orientación N34E/54SE. b) Muestra de mano del intrusivo de San Nicolás donde se observa la disminución en el tamaño de cristales (~1mm). c) intrusión de un dique aplítico en las rocas de San Nicolás. d, e y f) enclaves microgranulares máficos elipsoidales no deformados.

#### 4.1.1.3 Intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa

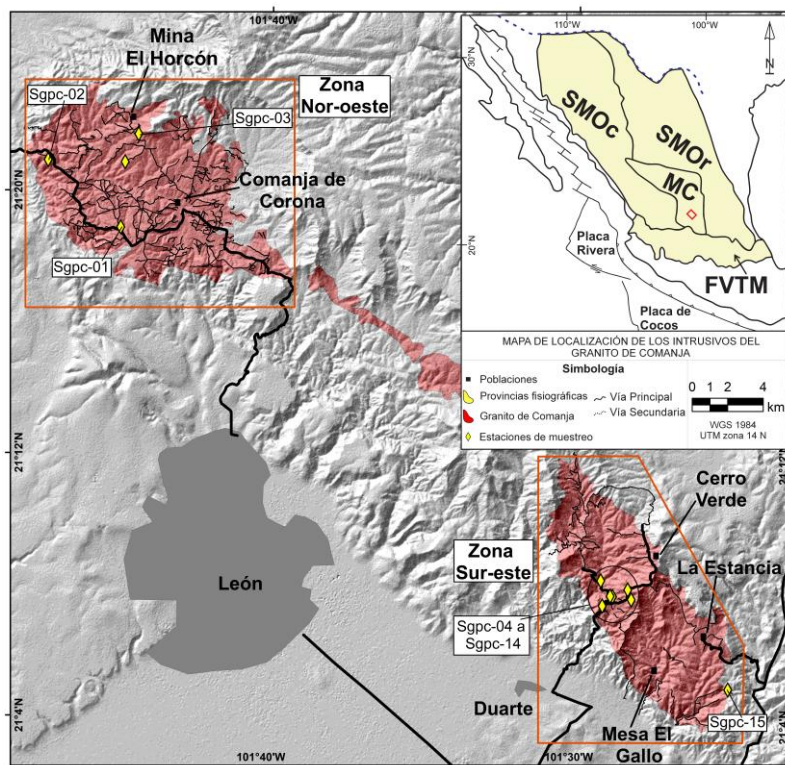
Aflorando al sureste de la SM se localizan los intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa (Fig. 4.1). Al igual que en las otras zonas de la SM la vegetación es abundante, por lo que el recorrido se realizó sobre cortes de carretera y arroyos. Los afloramientos se encuentran parcialmente alterados (Fig. 4.4a-c). Las rocas son de composición intermedia, holocristalinas, mesocráticas con textura inequigranular de tamaño fino a medio (0.5 – 1mm). En Nicolás Flores el recorrido se realizó sobre la vía que conduce a Agua Limpia, allí se observó el contacto inferior del intrusivo sobre estratos de caliza (Fig. 4.4b), así como estructuras de bandeamiento, en parte deformadas (Fig. 4.4d). La deformación es similar a la observada en sedimentos no litificados, y ha sido relacionada con inestabilidades en acumulaciones de cristales cerca del piso de un reservorio magmático (e.g. [Jerram et al., 2018](#)). En Quetzalapa las muestras se tomaron en el arroyo que drena el Cerro del Águila y se clasifican como sienitas, además, se reporta la presencia de lamprófidos y hornblenditas.



**Figura 4.4** Afloramientos del intrusivo de Nicolás Flores. a) Apariencia del afloramiento en las zonas más elevadas, donde forman grandes bloques de roca. b) afloramiento en zonas de menor elevación, donde se puede observar el contacto neto con unidades sedimentarias (calizas). c) enclaves microgranulares poco deformados. d) Bloque del intrusivo de Nicolás Flores, con presencia de bandeamiento y estructuras de deformación tipo sigma ( $\sigma$ ).

#### 4.1.2 Granito Comanja

El Granito Comanja (GC), es un cuerpo granítico parcialmente continuo, con dimensiones batolíticas, que se expone a lo largo de la Sierra de Guanajuato (SG) con dirección NW-SE, con dos afloramientos mayores en los extremos noroeste y sureste (Fig. 4.5). Su longitud es de ~50 km, y tiene una anchura de entre ~2 y ~10 km. El GC se encuentra intruyendo la secuencia de rocas mesozoicas de la SG, donde genera un halo de metamorfismo local (Ángeles-Moreno et al., 2017). Los afloramientos fueron observados en las inmediaciones de los poblados de Comanja de Corona al noroeste; en la porción sureste los afloramientos se observaron principalmente a lo largo de los caminos que cruzan la sierra y que comunican Duarte con Cerro Verde, La Estancia con Comanjilla y La Estancia con la carretera estatal 77 (Fig. 4.5). A nivel de afloramiento, la composición del Granito Comanja es relativamente homogénea, donde se destacan ligeras variaciones texturales y composicionales. Dentro del GC se observan diques aplíticos y enclaves máficos distribuidos en todo el granito y que se relacionan genéticamente con él. A continuación, se realizará una descripción de los aspectos encontrados en el campo.



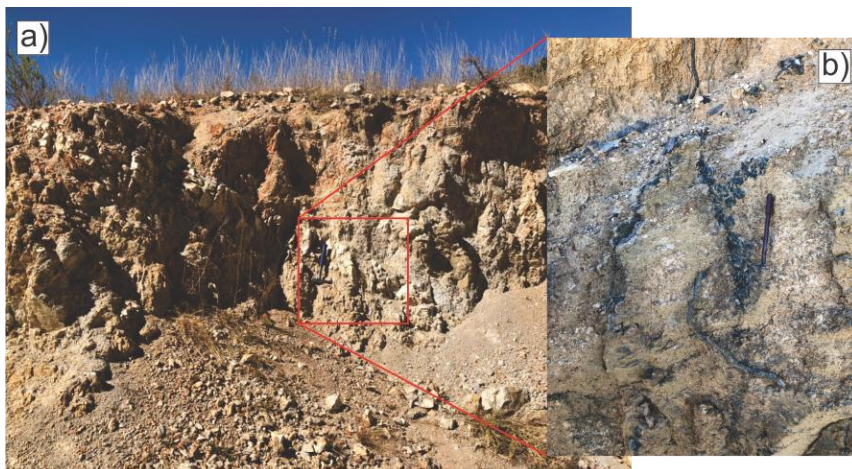
**Figura 4.5** Mapa de localización de las muestras del Granito Comanja. SMOC: Sierra Madre Occidental, MC: Mesa Central, SMOR: Sierra Madre Oriental, FVTM: Faja Volcánica Transmexicana.

#### 4.1.2.1 Zona Noroeste

El Granito Comanja aflora a partir de ~2000 msnm en cercanías del poblado de Comanja de Corona; se extiende por ~11 km sobre la vía que comunica con Lagos de Moreno en sentido norte y ~5 km en dirección al este hacia la mina El Horcón; el terreno se caracteriza por pendientes suavizadas. Los afloramientos de esta zona son escasos, pequeños y se encuentran generalmente alterados (Fig. 4.6a y 4.7a). Las rocas se caracterizan por tener composiciones graníticas, holocristalinas, leucocráticas, faneríticas, de tamaño de cristales medio (~4 mm), con textura inequigranular bimodal (porfirítica), donde se destacan los cristales de feldespato potásico de ~4 cm. Además, en esta zona se encontraron dos grupos de cuerpos tabulares: 1) diques aplíticos, con espesores de ~35 cm y dirección 253/80 (Fig. 4.6b) y 2) vetas con turmalina de ~2 cm, que cortan el cuerpo granítico con dirección 62/26 (Fig.4.7b). En esta zona se colectaron tres muestras: sgpc-01, agpc-02 y sgpc-03 (Fig. 4.5).



**Figura 4.6** Afloramiento del Granito Comanja en la zona noroeste, sobre el camino que va rumbo a Lagos de Moreno. Se puede observar el grado de alteración y diques aplíticos.



**Figura 4.7** Afloramiento del Granito Comanja alterado, cortado por vetas de turmalina de ~2 cm

#### 4.1.2.2 Zona Sureste

En la parte sureste de la Sierra de Guanajuato el GC aflora a altitudes por debajo de los ~2200 msnm y se extiende por ~16 km en dirección NW-SE y ~10 km de SW-NE (Fig. 4.5). La morfología del terreno se caracteriza por valles medianamente profundos. En la parte central del cuerpo sobre el camino de Duarte a Cerro Verde se encuentran extensos afloramientos del granito donde se colectaron muestras.

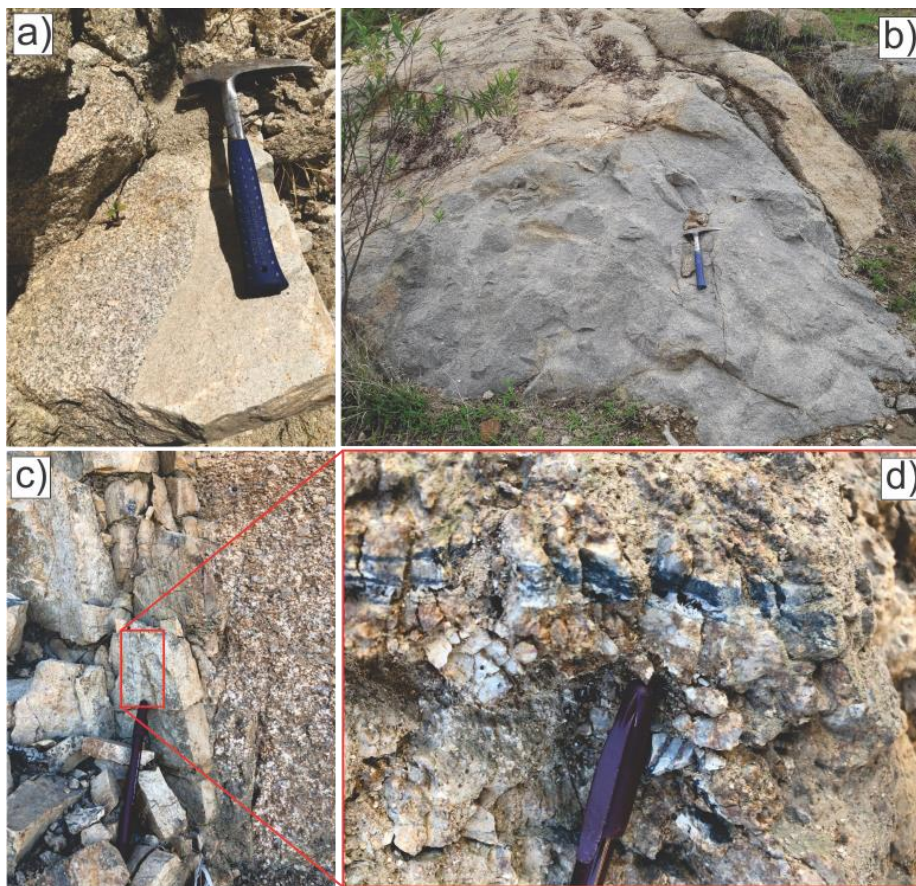
Los afloramientos se encuentran ligeramente alterados en los cortes de carretera (Fig. 4.8a), a muy alteradas en las canteras. Las rocas son de composición granítica y presentan estructura isotrópica. Texturalmente estas rocas se caracterizan por ser leucocráticas, holocristalinas, faneríticas con tamaño de cristales que varía de medio a grueso. La textura predominante es inequigranular bimodal (porfirítica) y puede ser observada en todo el cuerpo intrusivo. Se caracteriza por megacristales de feldespato potásico, con tamaños que varían entre 2 y 4 cm distribuidos de manera homogénea. La abundancia de estos megacristales es mayor en las partes centrales del cuerpo intrusivo (Fig. 4.8b), disminuyendo hacia los bordes.

Al igual que en la zona norte se encontraron cuerpos tabulares que cortan al GC, estos se agruparon en: 1) diques aplíticos leucocráticos, de grano fino, faneríticos con dirección 145/75; 2) diques de composición tonalítica con megacristales de cuarzo, plagioclasa y en menor proporción feldespato alcalino y 3) diques de feldespato alcalino con presencia de turmalina en el núcleo (Fig. 4.9a-d).



**Figura 4.8** Apariencia de los afloramientos de la zona sureste. a) Rocas con formas redondeadas producto de la meteorización. b) cristales de feldespato potásico de ~4 cm.

Además, se observaron inclusiones de probables cúmulos cristalinos con un porcentaje de ~20% de megacristales de feldespato, con dimensiones de ~60 cm de largo por 32 cm de ancho (Fig. 4.10a), enclaves microgranulares máficos, elipsoidales, de diversos tamaños dentro de los que se destacan los de menor tamaño de ~3 por 4 cm y los de mayor tamaño de 9.2 por 5.7 cm, en contacto neto con la roca, los cuales se clasifican como enclaves granodioríticos con presencia de plagioclasas subédrica (Fig. 4.10b) y estructuras diapíricas de ~27 cm compuestas por megacristales de feldespato, con un frente *schlieren* simple, y presencia de cavidades miarolíticas (Fig. 4.10c). En esta zona se colectaron 13 muestras: sgpc-04 a sgpc-15 (Fig. 4.5)



**Figura 4.9** Ejemplos de los diques que cortan al Granito Comanja. a) dique aplítico en contacto con las rocas del cuerpo principal del Granito Comanja. b) Dique de composición granodiorítica que corta de ~1.5 m de ancho. c y d) dique de compuesto por feldespato potásico con vetas de turmalina.



**Figura 4.10** a) Acumulaciones de feldespato potásico de ~60 cm. b) Enclaves microgranulares máficos con formas elipsoidales, poco deformados. c) Estructuras diapíricas con núcleo de feldespato potásico, con cavidades miarolíticas y frentes *schlieren* simple.

## 4.2 Petrografía y Química mineral

Las descripciones de los diferentes tipos de rocas se realizaron mediante la integración de las observaciones hechas en campo y el análisis de 33 láminas delgadas convencionales (ver metodología). La composición de cada una de estas láminas se determinó mediante el conteo de 500 puntos (anexo 1-1). Adicionalmente se seleccionaron 4 muestras (Tabla 4.1) para análisis por microsonda electrónica, con el objetivo de caracterizar químicamente y clasificar las fases minerales presentes. Como resultado, se describirán las propiedades ópticas y químicas de los minerales que componen las rocas del GC y la SM.

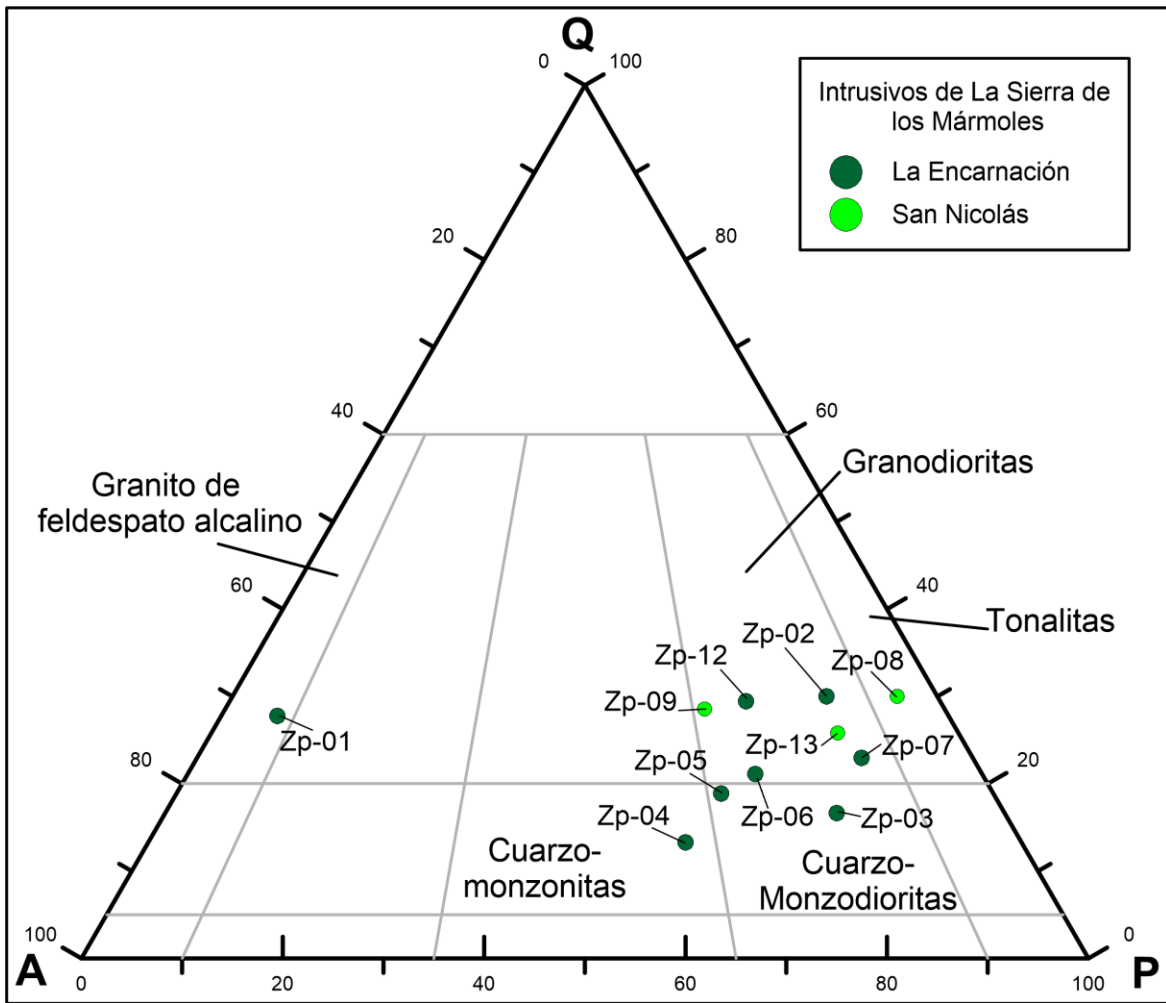
Tabla 4.1 Muestras seleccionadas para análisis de química mineral			
Muestra	Tipo de roca	Ubicación	
Zp-02	Monzodiorita	Intrusivos de la Sierra de los Mármoles	(La Encarnación)
Zp-07	Monzodiorita		(La Encarnación)
Zp-08	Diorita		(San Nicolás)
Sgpc-02	Granodiorita	Granito de Comanja	Zona Noroeste

La ubicación de las estaciones puede ser consultada en las figuras 4.1 y 4.5



#### 4.2.1 Intrusivos de la Sierra de los Mármoles

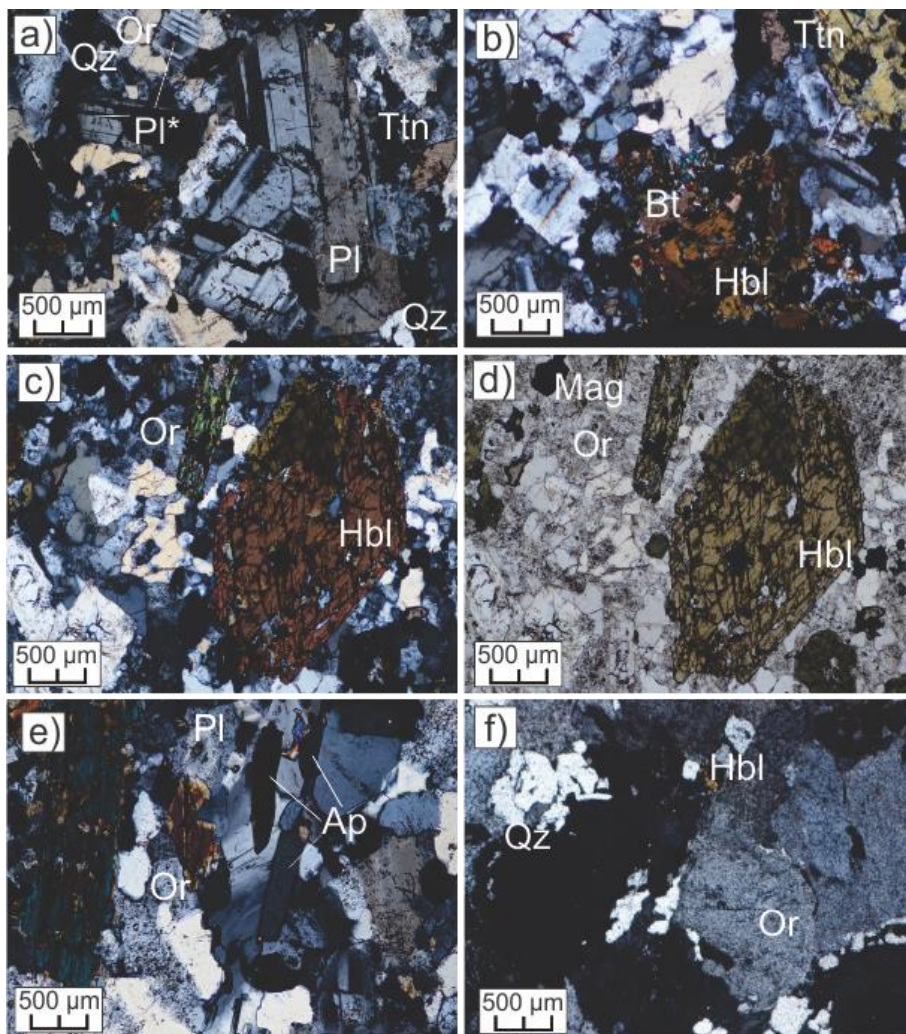
Las rocas en la Sierra de los Mármoles se clasifican como granodioritas, cuarzo-monzodioritas y tonalitas (Fig. 4.11). Están compuestas por plagioclasa >> cuarzo + ortoclasa, > hornblenda + biotita y como fases minerales accesorias titanitas, circón, apatito, magnetita e ilmenita. Dentro de estas se presentan variaciones mineralógicas y composicionales, por lo cual la descripción se hará siguiendo las zonas establecidas anteriormente.



**Figura 4.11** Diagrama QAP para las rocas de los Intrusivos de La Encarnación y San Nicolás.

#### 4.2.1.1 Zona La Encarnación

Las rocas de esta zona se clasifican como cuarzomonzodioritas, cuarzomonzonitas y granodioritas (Fig. 4.11), compuestas por plagioclasa (60 -70 %), cuarzo (15-25 %), y ortoclasa (15-20 %); el contenido de hornblenda varía de 3% en el sector de Puerto Vigas hasta 15% en el sector de Villa Juárez hacia el norte (Fig. 4.1), Además, se determinaron como fases accesorias titanita, biotita, ortopiroxeno, circón, apatito, magnetita e ilmenita. Las rocas son holocristalinas, inequigranulares unimodales, los cristales son subédricos y aumentan su tamaño de sur a norte (0.1-1.5 mm) (Fig. 4.12).

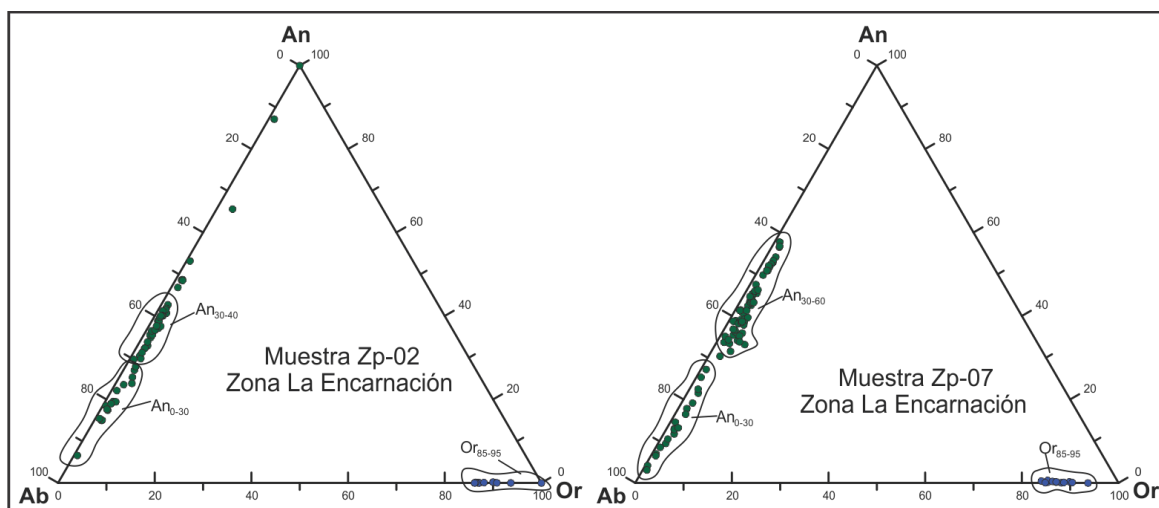


**Figura 4.12** Fotomicrografías de las muestras correspondiente a los intrusivos de La Encarnación. a y b) textura y composición principal de las granodioritas de La Encarnación donde se destacan los zoneamientos en plagioclasa. c y d) Cristal euédrico de hornblenda característico de las rocas estudiadas. e) Cristales de apatito de ~1 mm y cristales de ortoclasa de ~0.5 mm que se encuentran rellenando espacios intercristalinos. f) composición mineralógica de diques aplíticos.

La plagioclasa se presenta como cristales subédricos a euédricos. Con base en el tamaño y las relaciones con otros minerales se determinaron dos generaciones de plagioclasa. La primera generación corresponde a cristales de 1 a 1.5 mm, fracturados, con zonación oscilatoria simple (zoneamientos concordantes) y compleja (núcleos en parches), textura tamiz (Fig. 4.12a-b), e inclusiones de biotita y cuarzo. La segunda generación se caracteriza por presentarse como cristales de menor tamaño, con bordes redondeados y zoneados que varían de 0.5 mm a 0.7 mm, estos cristales se encuentran rellenando espacios intercristalinos junto con cuarzo y feldespato alcalino (Fig. 4.12a).

La composición química de los cristales de plagioclasa es variable dentro de una misma muestra (Fig. 4.13). Así mismo, existen diferencias entre las diversas muestras de la zona. Las composiciones varían entre  $An_{30-60}$  con algunos valores entre  $An_{63-100}$  para los cristales de mayor tamaño y  $An_{0-30}$  para los de menor tamaño.

El feldespato potásico junto con el cuarzo, se presentan en una proporción que no supera el 15% en las muestras de esta zona. Los cristales de feldespato forman una fase mineral equigranular de 0.5 mm, anédricos, con texturas de exsolución (pertitas), que rellenan espacios intercristalinos junto con las plagioclasas de menor tamaño. La composición química calculada para esta fase corresponde con  $Or_{84-94}$  (Fig. 4.13).

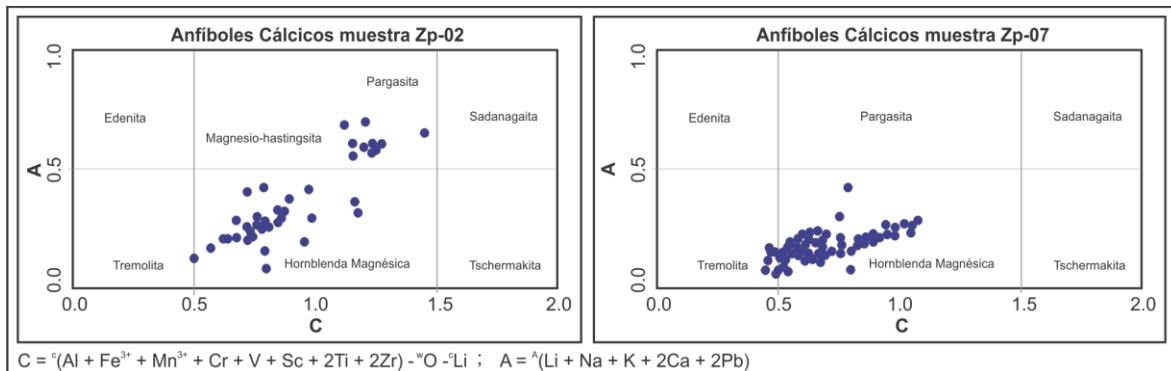


**Figura 4.13** Clasificación composicional de los feldespatos encontrados en las muestras de La Encarnación.

Los anfíboles se presentan como cristales subédricos a euédricos, con zoneamientos, alteración a clinopiroxeno (augita), sin texturas de disequilibrio, formando en algunos casos

aglomerados (*clots*) junto con ortopiroxenos, biotitas, titanitas y minerales opacos (Fig. 4.12b). Según la composición química se determinaron dos generaciones de anfíboles. La primera generación de cristales varía de tamaño muy fino a fino (0.1 a 1 mm). La segunda generación tiene tamaños de 2 mm, se encuentra en contacto con plagioclasa y en algunos casos hay presencia de texturas poquilíticas con inclusiones de cuarzo, plagioclasa y minerales opacos.

De acuerdo con el esquema de clasificación de Hawthorne et al. (2012), los anfíboles analizados químicamente para esta zona son anfíboles cálcicos, siendo la hornblenda magnésica la composición predominante en la zona (Fig. 4.14), aunque se observaron variaciones que van hacia la tremolita y pargasita. Estos presentan un contenido de Si entre 5.6 – 8.5 átomos por unidad de fórmula (*apfu*), los contenidos de sodio en el sitio A y aluminio ( $Al^{IV}$ ) son de 0.041 – 0.568 y 0.43 – 2.13 *apfu* respectivamente, la relación de magnesio ( $X_{Mg}=Mg/Fe^{2+}+Mg$ ) está entre 0.57 – 0.92. Adicionalmente, en una muestra (zp-02) se identificó magnesiohastingsita que no se diferencia en la figura 4.14 debido a que su clasificación depende del contenido de  $Al^{VI}$  ( $Al^{VI} < Fe^{3+}$  se clasifica como magnesiohastingsita).

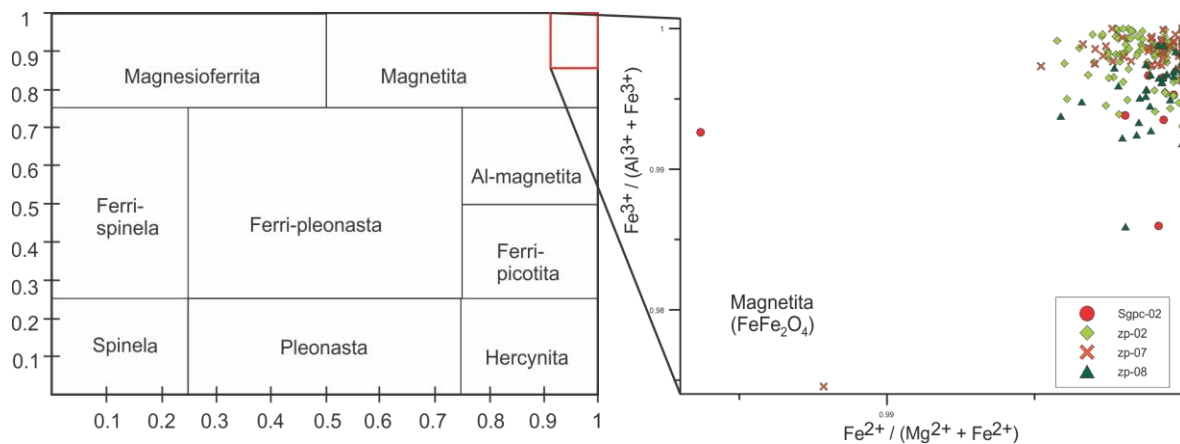


**Figura 4.14** Clasificación química de los anfíboles correspondientes a las muestras zp-02 y zp-07 de los intrusivos de La Encarnación.

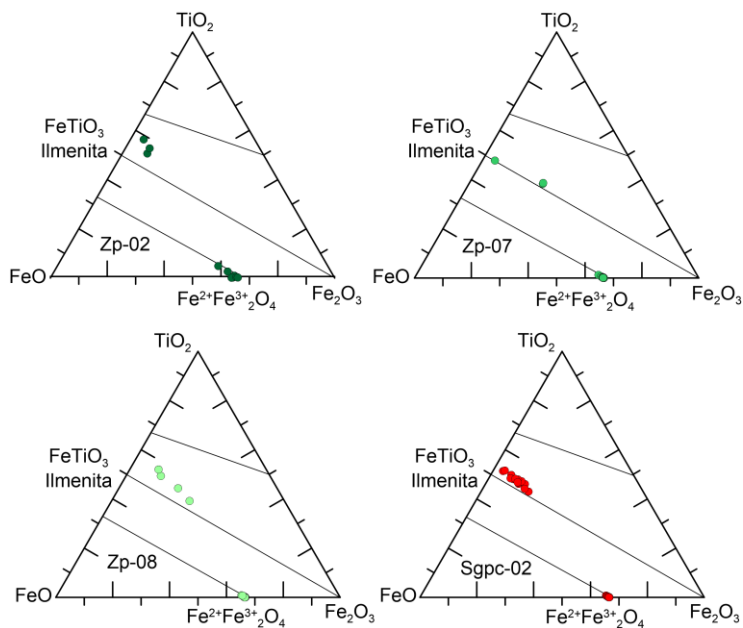
Como minerales accesorios se encuentran minerales opacos, biotita, titanita, ortopiroxenos, apatito, y circón. En particular, la titanita observada en las muestras se presenta como cristales bien definidos con hábito euédrico, su tamaño varía desde 0.3 y 0.5 mm en su eje mayor, su abundancia es de ~4 % y se encuentra en asociación con minerales opacos en contacto neto.

A partir de los análisis con microsonda electrónica, entre los minerales opacos se identificaron minerales del grupo de la espinela (magnetita) e ilmenita. La composición química calculada para los minerales del grupo de la espinela se hizo siguiendo la nomenclatura propuesta por Bosi et al. (2019). La clasificación corresponde con el grupo de las oxo-espinelas con fórmula  $(A^{2+}B^{3+}X)$ . Dentro de este grupo se clasifican como magnetita casi pura (Fig. 4.15, 4.16), representando ~3% de la composición mineral de las muestras. El cálculo de la fórmula mineral de ilmenita se hizo con base en tres oxígenos y dos cationes, obteniendo como resultado ilmenitas en solución sólida con hematita (hasta 30%) y con fórmula  $Fe^{2+}_{0.67-0.95} Mn_{0.06-0.26} Fe^{3+}_{0.094-0.30} Ti_{0.84-0.96} O_3$ . (Fig. 4.16). Los apatitos y circones se presentan de forma aislada, en donde el apatito es la fase mineral de mayor tamaño (0.5 mm) (Fig. 4.12e).

Dentro de esta zona se encontraron diques aplíticos cortando las rocas cuarzo-mozodioríticas, los cuales se clasifican como granito de feldespato alcalino en la Fig. 4.11. Estos diques se componen de feldespato alcalino, cuarzo y plagioclasa como minerales esenciales con tamaños de cristal fino, además, presentan titanita, biotita y restos de hornblenda como fases minerales accesorias (Fig. 4.12f).



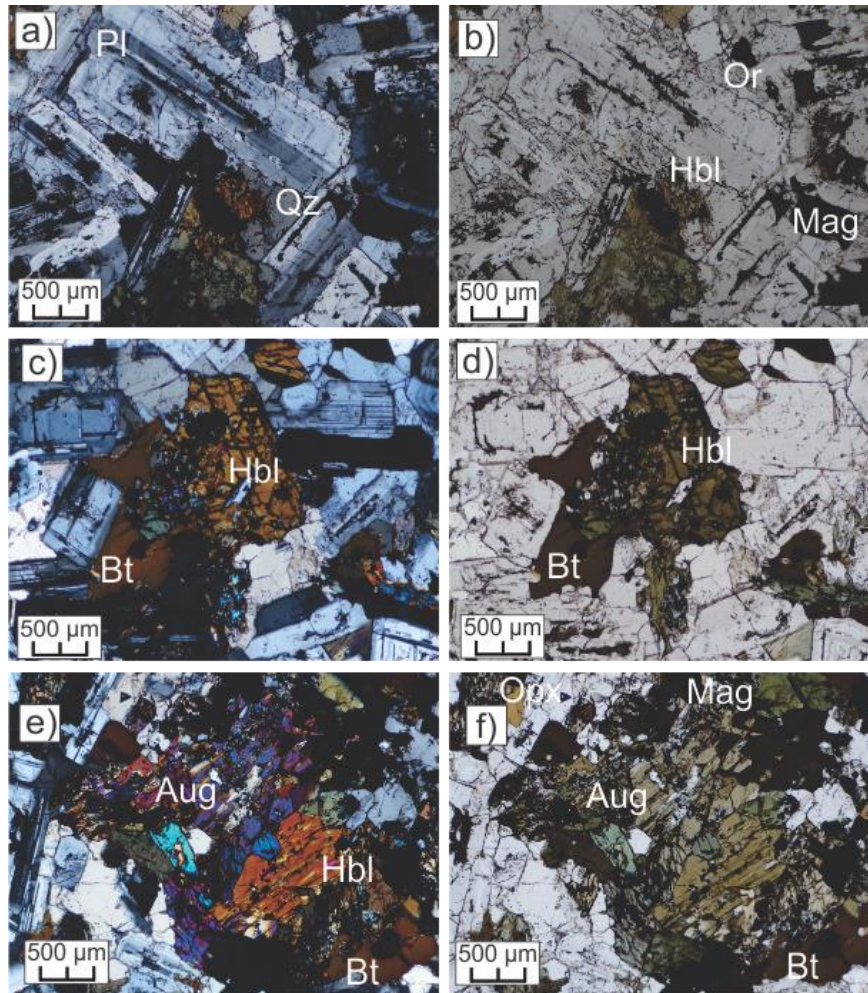
**Figura 4.15** Clasificación química de las espinelas para las muestras de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. Figura modificada de Bosi et al. (2019). El cálculo de  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$  se hizo por el método de balance de cargas.



**Figura 4.16** Clasificación química de minerales opacos de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja

#### 4.2.1.2 Zona San Nicolás

Las rocas de esta zona se clasifican como granodioritas y tonalitas de biotita (Fig.4.11), compuestas por plagioclasa (50 – 60%), biotita (15 - 20%), cuarzo (20 – 25%) y ortoclasa (5 – 10%). Las fases minerales accesorias para las rocas de esta zona son hornblenda, ortopiroxeno, minerales opacos, apatito y circón. Las rocas son holocristalinas, equigranulares y los tamaños de cristales varían entre muy fino a fino (0.1 – 1 mm), siendo subédricos a euédricos (Fig. 4.17). Las características mineralógicas para esta zona varían con respecto a las anteriores y se describirán a continuación.



**Figura 4.17** Microfotografías del intrusivo de San Nicolás. a y b) imágenes en nicoles cruzados y paralelos de la textura y composición principal de las rocas donde se destacan los zoneamientos en plagioclasa. c y d) Cristales de biotita y hornblenda de ~ 1.5 mm. e y d) cúmulos cristalinos de biotita, hornblenda y augita característicos de esta zona.

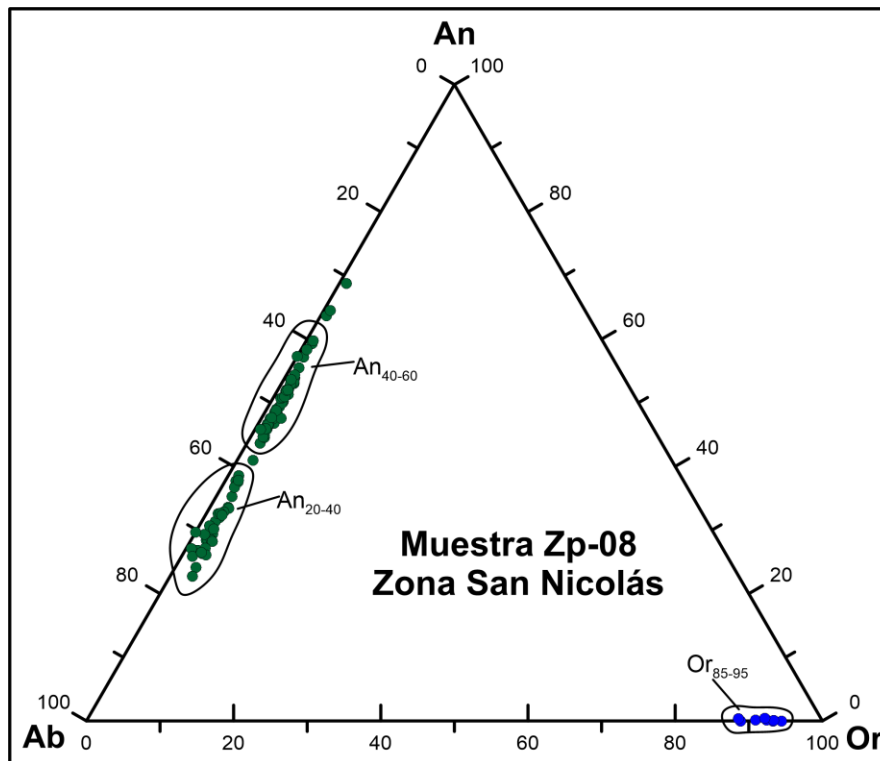
Los cristales de plagioclasa para esta zona son euédricos, equigranulares de 1 mm, con textura tamiz y núcleos en parches. Las zonaciones oscilatorias simples son comunes; estos cristales se encuentran en contacto con biotita, cuarzo y hornblenda (Fig. 4.17a-d).

La composición química de los cristales de plagioclasa es variable dentro de una misma muestra. A partir de los análisis químicos se determinaron dos grupos de plagioclasas. El primero presenta composiciones que varían entre  $An_{20-40}$ , mientras para el segundo grupo la composición se encuentra entre  $An_{40-60}$  con algunos valores entre  $An_{60-80}$  (Fig. 4.18). A

diferencia del área de La Encarnación, los cristales de plagioclasa más evolucionados de esta zona no llegan a ser de composiciones albiticas

Los cristales de biotita en la zona norte son considerados como una fase principal y su proporción es de entre 15% y 20%. Se presentan como cristales de tamaño fino (1mm), subédricos a euédricos, ligeramente alterados (cloritizados), formando *clots* junto con hornblendas, ortopiroxenos y minerales opacos (Fig. 4.17c-f).

Los cristales de feldespato potásico y cuarzo representan fases que no superan el 10% en las muestras de la zona de San Nicolás norte, son anédricos, su tamaño es fino (~0.3 mm) y se encuentran rellenando espacios intercristalinos (Fig. 4.17a-b). La composición química de los feldespatos calculada es de  $Or_{89-95}$  (Fig. 4.18).

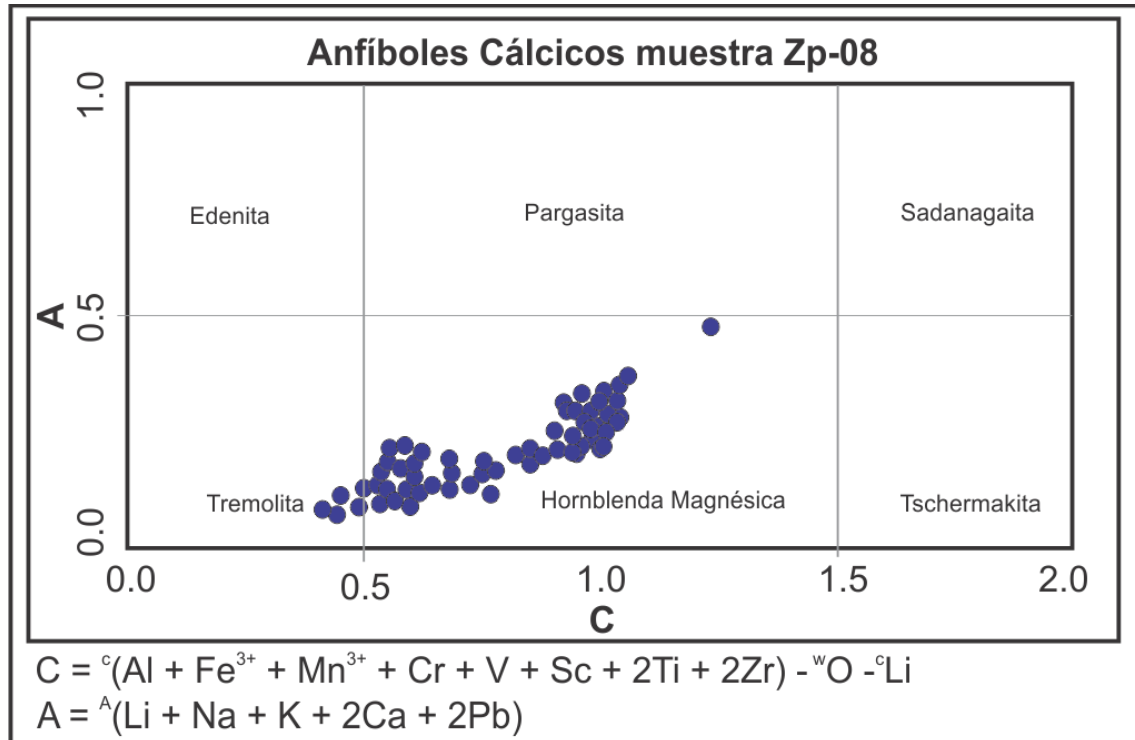


**Figura 4.18** Clasificación composicional de feldespatos para los intrusivos de San Nicolás.

Los anfíboles se presentan como cristales subédricos a euédricos, de tamaño fino (~1 mm), con textura poquilítica y alteración a augita. Estos forman parte de aglomerados junto con biotita, ortopiroxenos, y minerales opacos, representando fases de cristalización temprana (Fig. 4.17e-f)



Los anfíboles analizados químicamente para esta zona se clasifican como anfíboles cálcicos, allí, las composiciones variaciones desde tremolita a hornblenda magnésica. Siendo la hornblenda magnésica la composición predominante en la zona (Fig. 4.19). El contenido de Si para los anfíboles de esta zona varía entre 5.7 – 10.6 apfu, el contenido de sodio en el sitio A y aluminio (Al<sup>IV</sup>) se encuentra entre 0.041 – 0.303 y 0.71 – 2.24 apfu respectivamente, la relación de magnesio ( $X_{Mg}=Mg/Fe^{2+}+Mg$ ) está entre 0.52 – 0.84.



**Figura 4.19** Clasificación química de anfíboles cálcicos correspondientes a los intrusivos de San Nicolás.

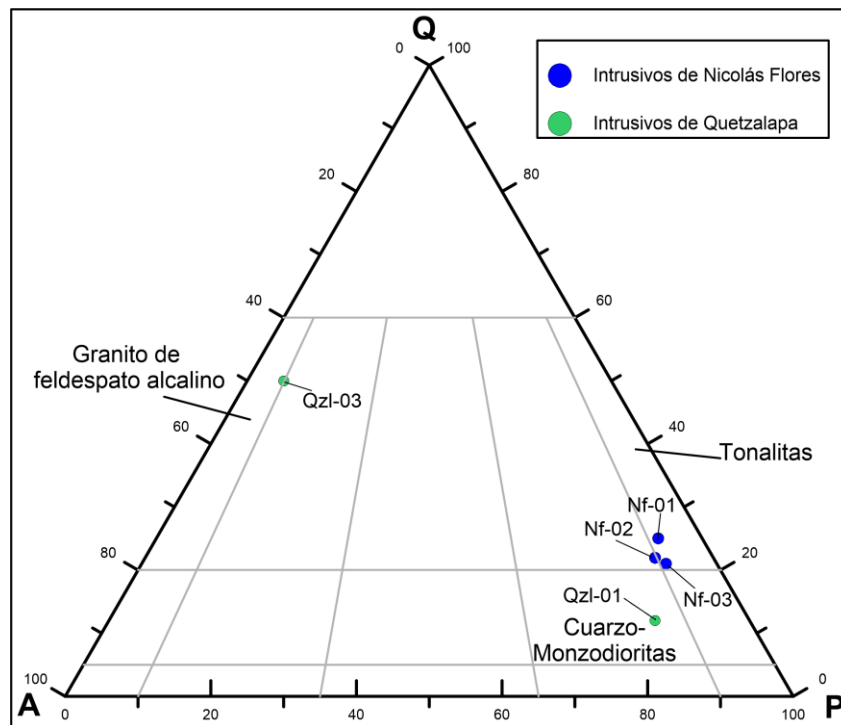
Como minerales accesorios se encuentran magnetita, ilmenita, ortopiroxeno, apatito, y circón. Petrográficamente estas muestras se caracterizan por la desaparición de titanitas. Los minerales opacos representan entre el 2.4 y 3.2 % de la roca.

Los minerales del grupo de la espinela corresponden al grupo de las oxo-espinelas y dentro de este se clasifican como magnetita casi pura (Fig. 4.15, Fig. 4.16), representando ~3% de la composición mineral de las muestras. Para las ilmenitas de esta zona se calculó la

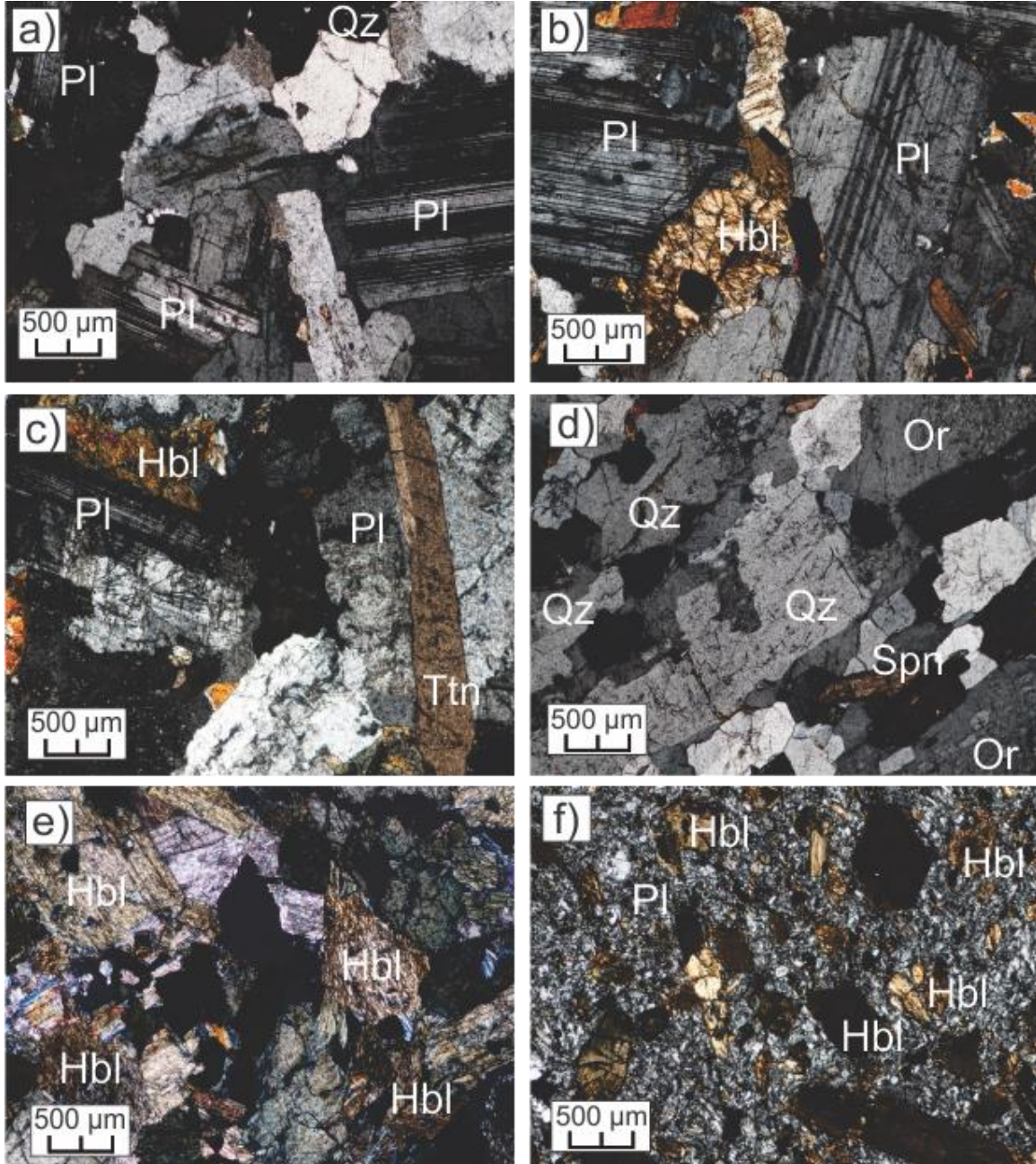
$Fe^{2+}_{0.80-0.87} Mn_{0.01-0.13} Fe^{3+}_{0.03-0.18} Ti_{0.91-0.98} O_3$ , que indica una menor solución sólida con hematita en comparación con las rocas de La Encarnación (hasta 18%) (Fig. 4.16). Los apatitos y circones se presentan de forma aislada.

#### 4.2.1.3 Intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa

Las rocas de Nicolás Flores son tonalitas (Fig. 4.20) compuestas por plagioclasa (50 – 60%) ortoclasa (15 - 20%), cuarzo (20 – 25%) y hornblenda (10 - 12 %). Las fases minerales accesorias para las rocas de esta zona son biotita, ortopiroxeno, minerales opacos, apatito y circón. Las rocas son holocristalinas, equigranulares, los tamaños de cristales varían entre muy fino a fino (0.1 – 1 mm), son subédricos a euédricos (Fig. 4.21). Por otra parte, dos muestras estudiadas del área de Quetzalapa se clasifican como cuarzo-monzodioritas y granitos de feldespato alcalino (Fig. 4.20), además, como se reportó en el capítulo de descripciones de campo se encontraron lamprófidos y hornblenditas (Fig. 4.21e-f). Para estas muestras no se cuenta con análisis minerales para establecer una clasificación mineral más precisa.



**Figura 4.20** Diagrama QAP para las muestras de los intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa.



**Figura 4.21** Microfotografías de los intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa. a y b) imágenes en nicoles cruzados de las tonalitas de Nicolás Flores donde se destacan plagioclasas macladas y cristales de hornblenda. c y d) Cristales de plagioclasa, titanita y hornblenda de los intrusivos de Quetzalapa. e) roca compuesta principalmente por cristales de hornblenda de ~1.7 mm (hornblendita) y d) Roca compuesta por una matriz de plagioclasa con cristales de hornblenda de mayor tamaño (lamprófidu).

#### 4.2.2 Granito Comanja

Las rocas del Granito Comanja (GC), se clasifican como granitos y granodioritas (Fig. 4.22). Mineralógicamente se componen de cuarzo (20-30%), plagioclasa (20-40%), feldespato alcalino (30-40%), y biotita (5-10%). Como minerales accesorios se presentan minerales opacos, hornblenda, apatito y circón. Las rocas son holocristalinas, inequigranulares porfídicas que varían de tamaño medio a muy grueso (1- >10 mm). Las muestras del GC se caracterizan por ser homogéneas en composición y variaciones texturales, por lo tanto, su descripción de hará en un solo grupo.

Las rocas del Granito Comanja presentan una textura porfirítica. La matriz de las rocas se compone de cuarzo, plagioclasa, biotita, hornblenda, apatito y circón formando una masa macrocristalina. Mientras el feldespato potásico se presenta como megacristales que puede llegar hasta 4 cm.

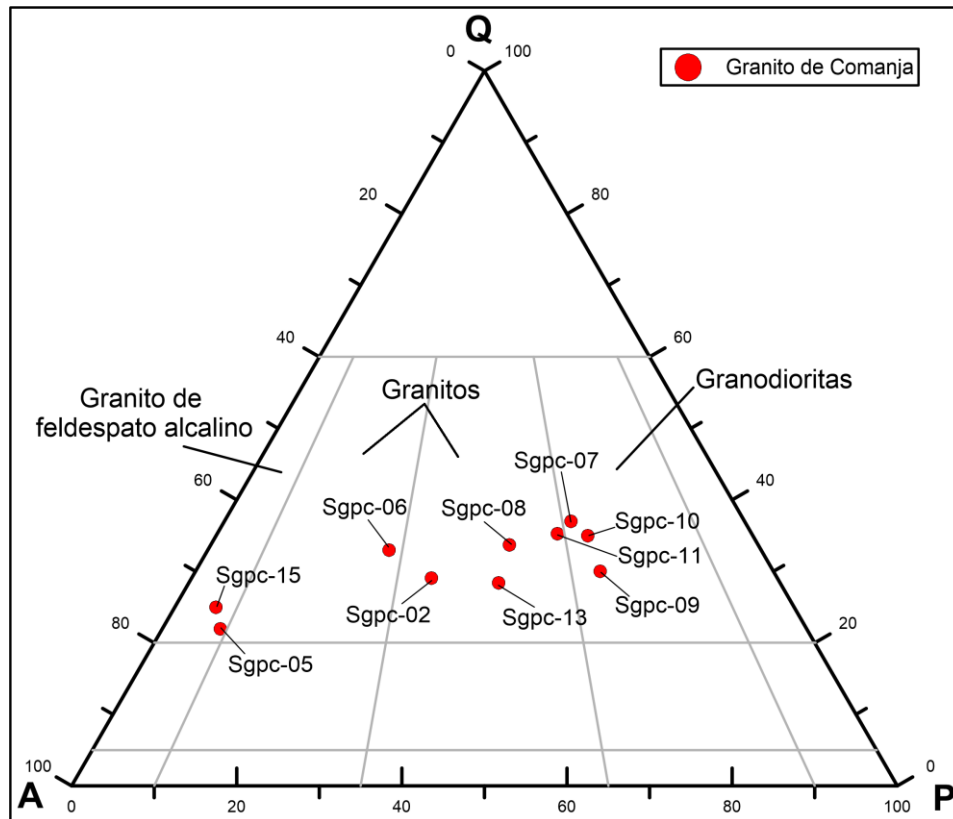
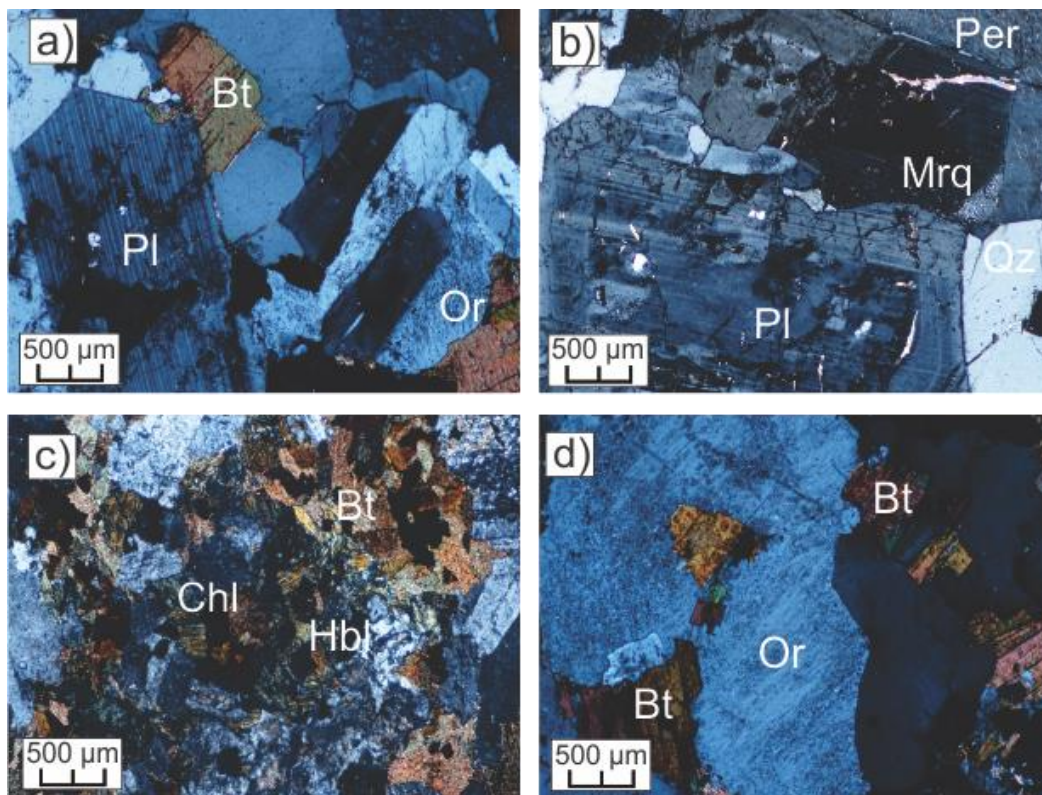


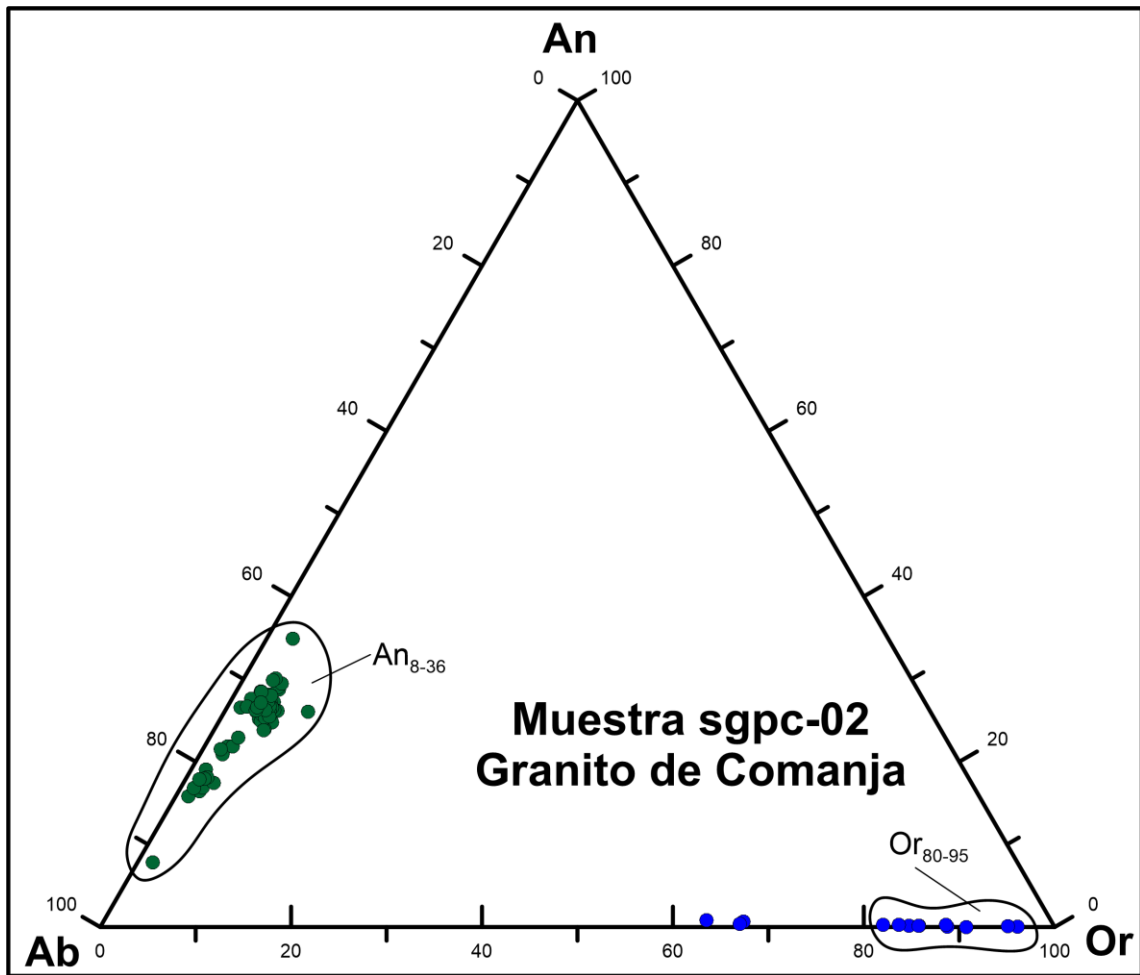
Figura 4.22 Diagrama QAP de las rocas que corresponde al Granito Comanja.

El análisis petrográfico permitió reconocer dos generaciones de plagioclasa. La primera generación corresponde a cristales de plagioclasa de tamaño medio (~3.75 mm), estos cristales presentan zonaciones oscilatorias simples, núcleos en parches y en ocasiones son esqueléticos, se observan inclusiones de cuarzo, biotita, circón y apatito. La segunda generación se caracteriza por cristales de tamaño fino (~0.25 mm), además, se encuentra en equilibrio con cuarzo rellenando espacios intercristalinos. Para ambos casos las texturas de reacción y reemplazamiento (mirmequitas y pertitas) entre cristales de plagioclasa y feldespato son frecuentes (Fig. 4.23a-b). La composición química de los cristales de plagioclasa es más homogénea y más albitica que la encontrada en los intrusivos de la Sierra de los Mármoles; corresponde con variaciones entre An<sub>8-36</sub> (Fig. 4.24)



**Figura 4.23** Microfotografías de las rocas del Granito Comanja. a) Composición mineralógica principal de las muestras del Granito Comanja (plagioclasa + feldespato + potásico + biotita). b) megacristales de plagioclasa zoneados, cuarzo con textura mirmequítica (Mrq) y feldespatos potásicos con textura pertítica (Per). c y d) *clots* de biotita, hornblenda característicos en las muestras del Granito Comanja.

Los cristales de feldespato alcalino son de composición  $Or_{82-96}$ , con algunos cristales con composición  $Or_{63-67}$  (Fig. 4.24). En lámina delgada se presentan como cristales de tamaño que varía desde fino a muy grueso (1mm - 4cm), subédricos a euédricos. Los cristales de mayor tamaño presentan inclusiones de cuarzo, biotita, plagioclasa, circón y hornblenda. Además, se encuentran en contacto con plagioclasas donde desarrollan texturas de exsolución (perfíticas) y reemplazamientos (Fig. 4.23b). Los cristales de menor tamaño se encuentran rellenando espacios intercristalinos.



**Figura 4.24** Clasificación composicional de las plagioclasas y feldespato de las muestras del Granito Comanja.

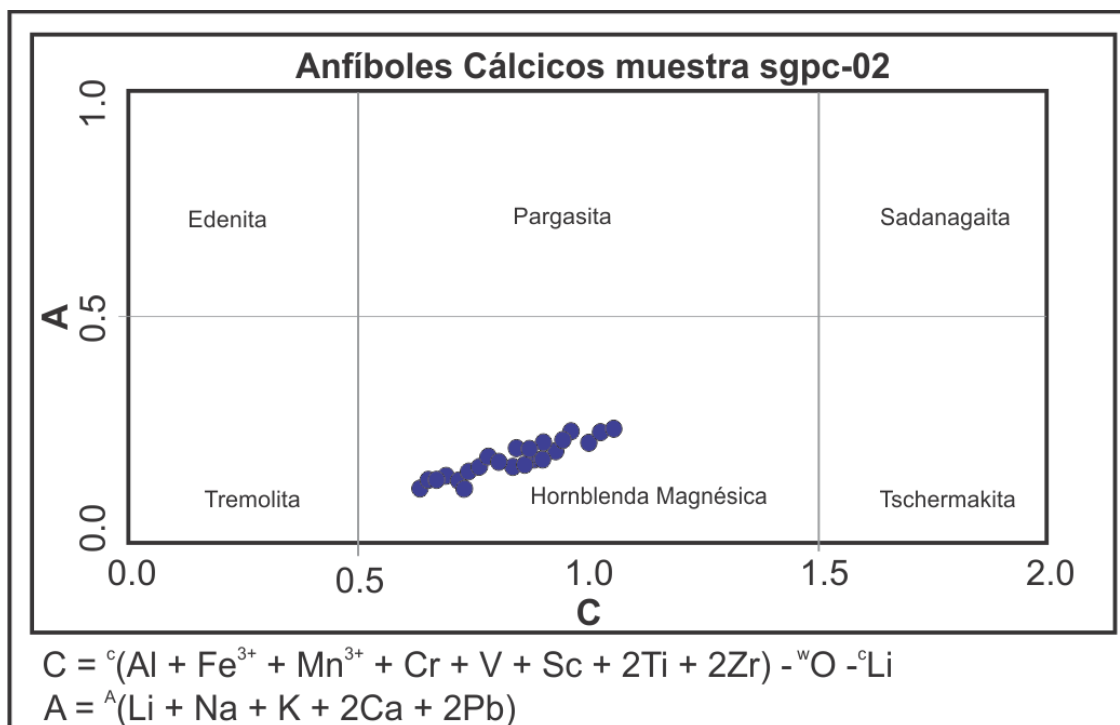
El cuarzo se presenta en proporciones que varían entre 25 y 35%, su tamaño también es variable, desde cristales de tamaño fino en la zona norte, a cristales de tamaño medio en la zona sur donde su proporción es mayor. La relación con otros minerales también cambia, pasando de formar parte de las fases que rellenan los espacios intercristalinos en la zona norte, a estar en contacto con las fases minerales de mayor tamaño en la zona sur (Fig. 4.23b).

La biotita generalmente se distribuye de forma aleatoria en las rocas del Granito de Comanja, formando *clots* junto con hornblenda y minerales opacos (Fig. 4.23a-d). En algunos cristales de biotita se puede observar la inclusión de minerales opacos, circón y alteración a clorita.

Como minerales accesorios se encuentran anfíboles, minerales opacos, apatito, y circón. Los minerales opacos se encuentran formando *clots* junto a la biotita y hornblenda, su proporción varía entre 0.4 y 2.5 % y en ocasiones se encuentran como inclusiones en biotita y feldespatos potásicos. Los anfíboles son euédricos su tamaño varía de 0.25 mm a 0.6mm y su proporción es de ~0.4%, al igual que los minerales opacos se encuentra formando *clots*.

Los anfíboles se clasificaron en el grupo de los anfíboles cálcicos, particularmente como hornblenda magnésica (Fig. 4.25). Estos presentan un contenido de Si entre 5.7 – 7.3 átomos por unidad de fórmula (apfu), los contenidos de sodio en el sitio A y aluminio (Al<sup>IV</sup>) son de 0.063 – 0.135 y 0.27 – 2.20 apfu respectivamente, la relación de magnesio ( $X_{Mg} = Mg / (Fe^{2+} + Mg)$ ) está entre 0.39 – 0.62.

Los minerales del grupo de la espinela representan ~1.6% de la composición mineral de las muestras, pertenecen al grupo de las oxo-espinelas y dentro de este se clasifican como magnetita (Fig. 4.15) con una proporción ligeramente mayor del componente ulvoespinela ( $Fe_2TiO_4$ ) en comparación con las muestras del estado de Hidalgo (Fig. 4.16). Los escasos análisis de ilmenitas muestran solución sólida muy limitada con hematita (<10%) y una fórmula  $Fe^{2+}_{0.70-0.76} Mn_{0.19-0.30} Fe^{3+}_{0.05-0.09} Ti_{0.95-0.97} O_3$ . Los apatitos y circones se presentan de forma aislada.



**Figura 4.25** Clasificación química de los anfíboles para la muestra del Granito Comanja.

**Tabla 4.2** Microanálisis representativos de los principales grupos minerales

Clave	Plagioclasa			Feldespato-K			Anfíbol			
	LE	SN	GC	LE	SN	GC	LE	LE	SN	
	Zp-02 B-21	Zp-08 B-89	Sgpc-02 B-132	Zp-02 B-36	Zp-08 B-111	Sgpc-02 B-133	Zp-02 Hbl-B3	Zp-02 Hbl-C8	Zp-08 Hbl-B116	
SiO <sub>2</sub>	62.47	61.29	62.62	65.32	65.18	65.17	SiO <sub>2</sub>	50.2	42.91	49.95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.11	25.33	23.65	19.07	18.98	19.01	TiO <sub>2</sub>	1.02	2.38	0.95
FeO	0.17	0.35	0.08	0.06	0.06	0.00	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.14	10.89	5.64
CaO	3.72	5.99	4.34	0.04	0.03	0.00	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.24	7.63	10.53
Na <sub>2</sub> O	9.56	7.42	8.30	1.15	0.84	1.05	FeO	6.42	8.87	5.48
K <sub>2</sub> O	0.28	0.28	0.40	15.82	15.73	15.60	MnO	0.40	0.46	0.56
BaO	0.04	0.05	0.00	0.24	0.33	0.06	MgO	15.6	12.09	15.02
SrO	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	CaO	11.8	11.44	11.61
Total	99.38	100.7	99.40	101.7	101.1	100.8	Na <sub>2</sub> O	0.99	1.61	0.68
							K <sub>2</sub> O	0.44	1.18	0.45
Si	2.79	2.70	2.78	2.97	2.98	2.98	F	0.62	0.12	0.12
Al	1.21	1.32	1.24	1.02	1.02	1.02	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.00
Fe <sup>3+</sup>	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	H <sub>2</sub> O	1.83	2.00	2.08
Ca	0.18	0.28	0.21	0.00	0.00	0.00	Total	102.5	101.5	103.08
Na	0.83	0.63	0.71	0.10	0.17	0.09				
K	0.02	0.02	0.02	0.92	0.92	0.91	Si	7.07	6.25	7.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	Ti	0.10	0.26	0.10
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Al <sup>IV</sup>	0.85	1.74	0.93
Total	5.03	4.97	4.97	5.03	5.00	5.01	Al <sup>VI</sup>	0.00	0.13	0.00
An	0.17	0.30	0.22	0.02	0.01	0.00	Fe <sup>3+</sup>	0.87	0.83	1.11
Ab	0.81	0.68	0.76	0.09	0.07	0.09	Fe <sup>2+</sup>	0.75	1.08	0.64
Or	0.02	0.02	0.02	0.89	0.92	0.91	Mn	0.04	0.05	0.06
							Mg	3.28	2.63	3.13
							Ca	1.78	1.78	1.74
							Na	0.27	0.45	0.18
							K	0.07	0.22	0.08
							OH	1.721	1.94	1.94
							Total	17.12	17.46	17.00
							XMg	0.81	0.70	0.83

Normalización de plagioclasas y feldespatos de acuerdo a 8 oxígenos y 5 cationes.  
 LE: La Encarnación; SN: San Nicolás; GC: Granito Comanja; B: análisis realizado en el borde del cristal; C: análisis realizado en el núcleo del cristal



Tabla 4.2 Microanálisis representativos de los principales grupos minerales (continuación)											
Clave	Anfibol			Magnetita			Ilmenita				
	SN	GC	GC	LE	SN	GC	LE	SN	GC		
	Zp-08 Hbl-C120	Sgpc-02 Hbl-B157	Sgpc-02 Hbl-C157	104	157	212	OC-37	157	212		
SiO <sub>2</sub>	49.20	46.46	46.21	SiO <sub>2</sub>	0.062	0.016	0.082	SiO <sub>2</sub>	0.00	0.017	0.072
TiO <sub>2</sub>	1.13	0.83	0.88	TiO <sub>2</sub>	0.108	0.062	1.001	TiO <sub>2</sub>	49.89	51.10	49.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.93	6.54	6.55	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.004	0.108	0.581	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.034	0.000	0.000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.35	11.65	11.91	FeO	91.98	91.53	88.75	FeO	41.03	41.31	33.16
FeO	7.58	12.76	12.61	MnO	0.161	0.112	0.058	MnO	7.550	6.282	13.86
MnO	0.58	0.80	1.00	MgO	0.011	0.000	0.014	MgO	0.139	0.099	0.000
MgO	12.76	9.16	9.01	CaO	0.00	0.000	0.005	CaO	0.00	0.000	0.03
CaO	10.78	10.61	10.47	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.051	0.039	0.209	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.008	0.051	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.85	1.10	1.16	Total	92.38	91.90	90.70	Total	98.6	98.89	97.13
K <sub>2</sub> O	0.54	0.60	0.66	Si	0.002	0.001	0.003	Si	0.000	0.001	0.003
F	0.00	0.14	0.45	Ti	0.003	0.002	0.030	Ti	1.293	1.314	1.309
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.04	0.00	Al	0.000	0.005	0.027	Al	0.001	0.000	0.000
H <sub>2</sub> O	2.13	1.98	1.82	Fe <sup>3+</sup>	1.987	1.989	1.901	Fe <sup>3+</sup>	0.000	0.00	0.000
Total	103.81	102.6	102.55	Fe <sup>2+</sup>	1.00	0.998	1.030	Fe <sup>2+</sup>	1.183	1.81	0.966
Si	6.93	6.81	6.79	Mn	0.005	0.004	0.002	Mn	0.220	0.182	0.409
Ti	0.12	0.09	0.09	Mg	0.001	0.000	0.001	Mg	0.007	0.005	0.000
Al <sup>IV</sup>	0.98	1.13	1.13	Ca	0.000	0.000	0.000	Ca	0.000	0.000	0.001
Al <sup>VI</sup>	0.00	0.00	0.00	Cr	0.002	0.001	0.007	Cr	0.000	0.001	0.000
Fe <sup>3+</sup>	1.31	1.28	1.31	Total	3.000	3.000	3.000	Total	3.000	3.000	3.000
Fe <sup>2+</sup>	0.89	1.56	1.55								
Mn	0.06	0.09	0.12								
Mg	2.68	2.00	1.97								
Ca	1.62	1.66	1.65								
Na	0.23	0.31	0.33								
K	0.09	0.11	0.12								
OH	2.00	1.935	1.79								
Total	16.95	17.09	17.10								
XMg	0.75	0.561	0.560								

Normalización de anfíboles considerando 24 oxígenos y 15-16 cationes.  
 $XMg = Mg / (Fe + Mg)$

Normalización de Magnetita e ilmenita considerando 4 oxígenos y 3 cationes

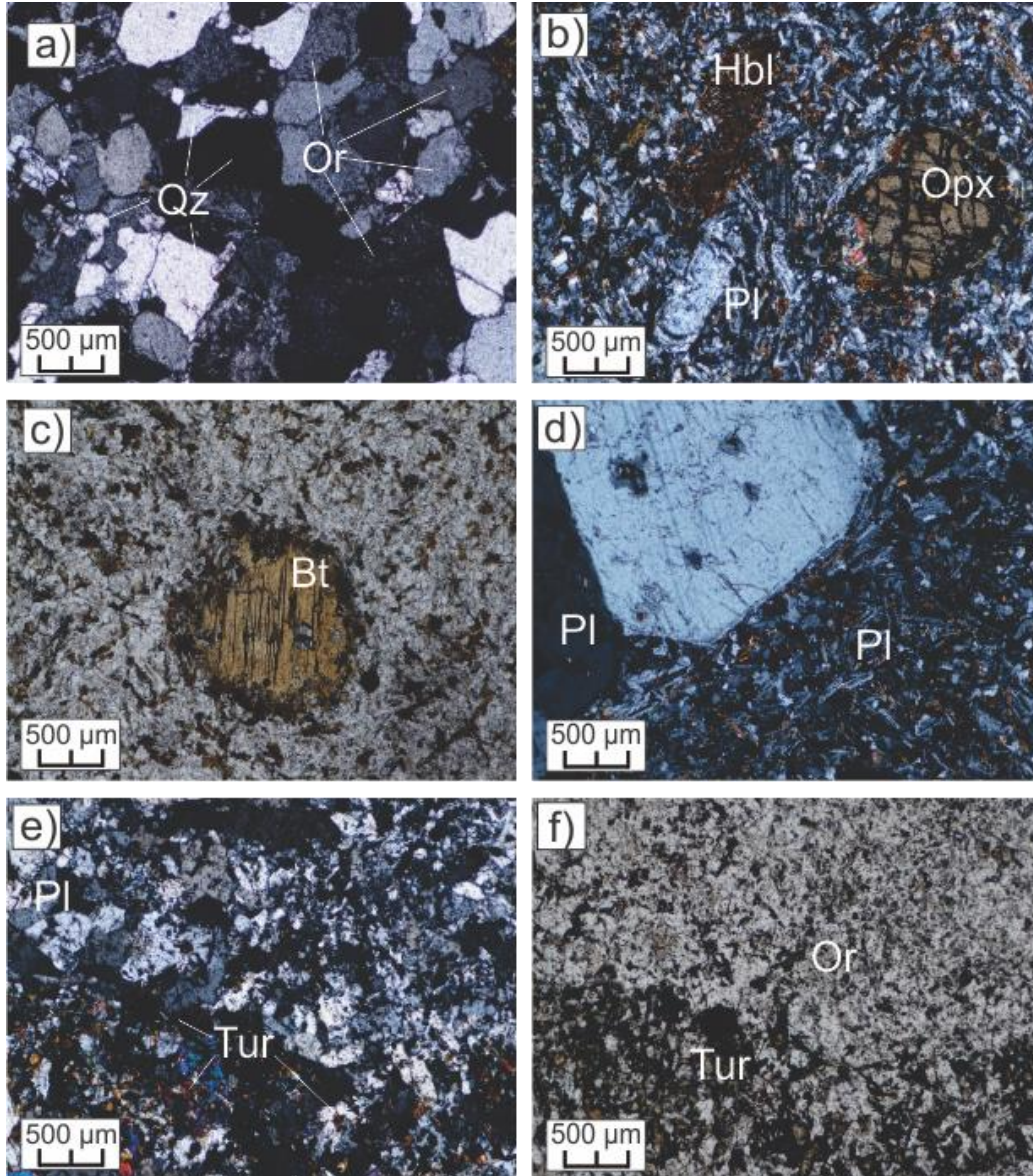
#### 4.2.2.1 Diques

Como se describió anteriormente se encontraron tres grupos de diques que cortan al Granito de Comanja. El primer grupo son los diques aplíticos que se clasifican como granitos de feldespato alcalino (Fig. 4.26a), estos diques son rocas holocristalinas, equigranulares de tamaño fino (1 mm); se componen de ortoclasa (50 %), cuarzo (35 %), plagioclasa (5 %) como minerales esenciales. La biotita, circón, y minerales opacos forman parte de las fases minerales accesorias y su proporción en conjunto es de (10 %).

El segundo grupo son los diques granodioríticos (sgpc-10) (Fig. 4.26b-d), se caracterizan por presentar una matriz microcristalina compuesta por plagioclasa >> cuarzo + feldespato alcalino + biotita + hornblenda. Además, presenta el desarrollo de megacristales de plagioclasa, hornblenda, ortopiroxeno y biotita. Dentro de estos megacristales se destacan los bordes de reacción presentes en ortopiroxenos y plagioclasas, y las texturas de reabsorción en piroxenos, biotitas y hornblendas.

El tercer grupo de diques está compuesto por rocas holocristalinas, de composición ácida, equigranulares, de tamaño fino (~1 mm), con feldespato alcalino, cuarzo, plagioclasa, y

turmalina hacia el núcleo; además, se encuentra hornblenda, apatito y circón como minerales accesorios (Fig.4.26e-f).



**Figura 4.26** Microfotografías de diques del Granito Comanja. a) Diques aplíticos compuestos por cuarzo y feldespato. b, c y d) diques de composición granodiorítica, con megacristales de hornblenda, biotita y plagioclasa. e y f) Diques de feldespato potásico y cuarzo con vetas de turmalina.

### 4.3 Geocronología

La ubicación temporal de los cuerpos intrusivos dentro del Eoceno es uno de los objetivos principales de este proyecto de tesis. Para esto se seleccionaron siete muestras correspondientes a los intrusivos de la Sierra de los Mármoles, que son representativas de los cuerpos de roca expuestos en toda la zona, y para las cuales se había reportado algunas edades por el método K-Ar (JICA, 1983) y solo una edad de  $42.4^{+0.6}/_{-0.9}$  Ma obtenida por el método U-Pb para los intrusivos de San Nicolás (Cuellar-Cárdenas et al., 2012). A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el presente proyecto.

#### 4.3.1 Intrusivos de la Sierra de los Mármoles

Como se describió anteriormente los intrusivos de La Sierra de los Mármoles son divididos según sus características petrográficas en dos zonas (La Encarnación y San Nicolás) (Fig. 4.27), de acuerdo con esto se seleccionaron muestras de cada una de estas zonas para determinar su edad (tabla 4.3). Además, se reportan edades para los intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa (Fig. 4.27). Debido a que los resultados de estas muestras son discordantes, la selección de los datos para el cálculo de la edad se hizo a partir de los datos que presentan un mejor ajuste a lo largo de una línea de discordia.

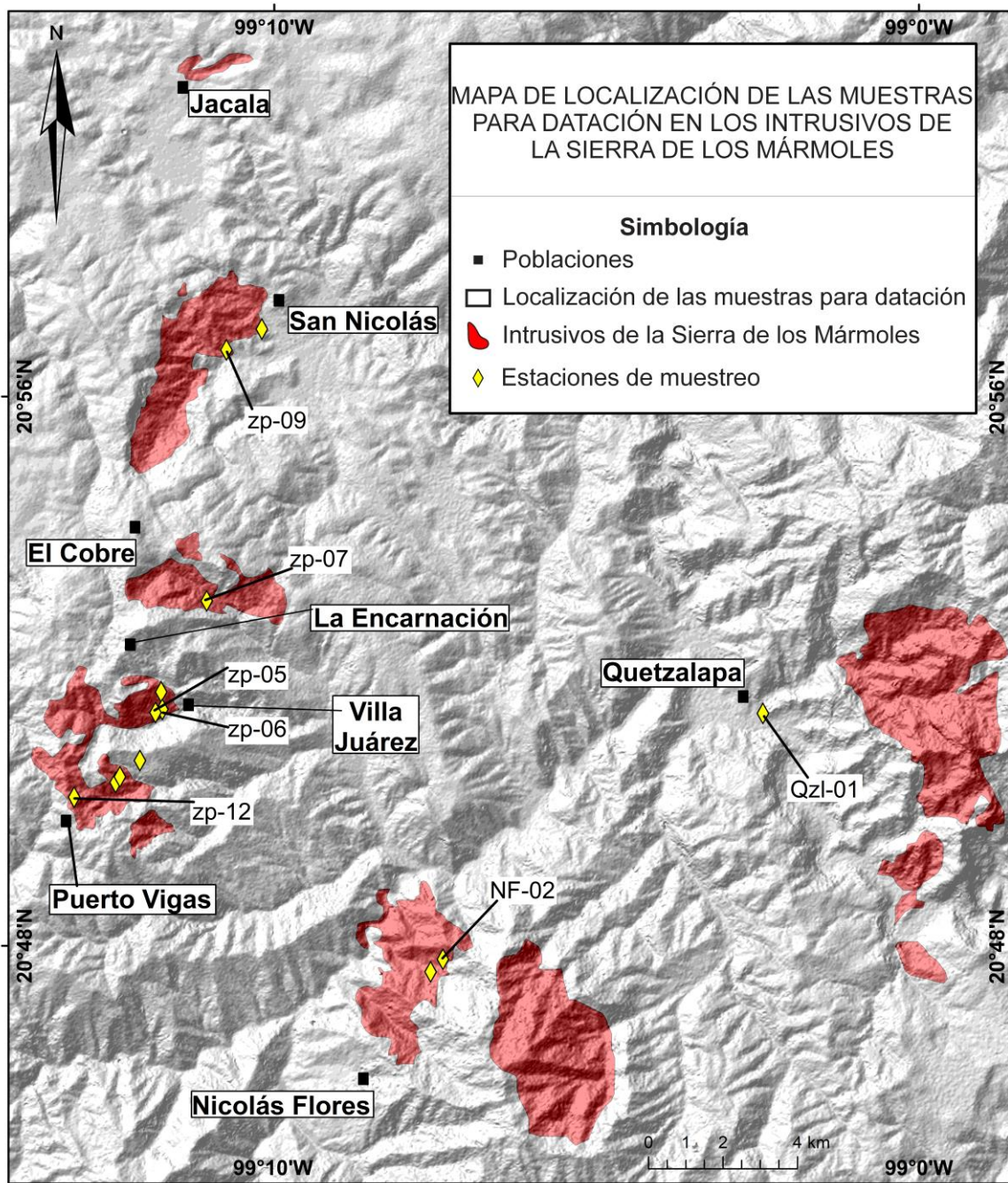
<b>Tabla 4.3</b> Muestras seleccionadas para datación U-Pb en circones		
Muestra	Tipo de roca	Edad
<b>Intrusivos de la Sierra de los Mármoles</b>		
La Encarnación		
Zp-12	Granodiorita	51.22 ± 0.80 Ma
Zp-05	Cuarzo-monzodiorita	52.57 ± 1.01 Ma
Zp-06	Granodiorita	51.77 ± 0.76 Ma
Zp-07	Granodiorita	54.18 ± 0.92 Ma
San Nicolás		
Zp-09	Granodiorita	41.95 ± 0.52 Ma
<b>Intrusivo de Nicolás Flores</b>		
NF-02	Tonalita	29.90 ± 0.49 Ma
<b>Intrusivo de Quetzalapa</b>		
Qzl-01	Cuarzo-monzodiorita	55.10 ± 0.63 Ma
La ubicación de las muestras puede ser consultada en el mapa de la Fig. 4.27. Las coordenadas se pueden ver en la tabla de anexos 1.1		

#### 4.3.1.1 Zona La Encarnación

En la zona de La Encarnación se seleccionaron las muestras zp-12, zp-05, zp-06 y zp-07 (Fig. 4.27) para su datación. A continuación, se presentan los resultados de cada una de estas muestras.

##### 4.3.1.1.1 Granodiorita (Zp-12)

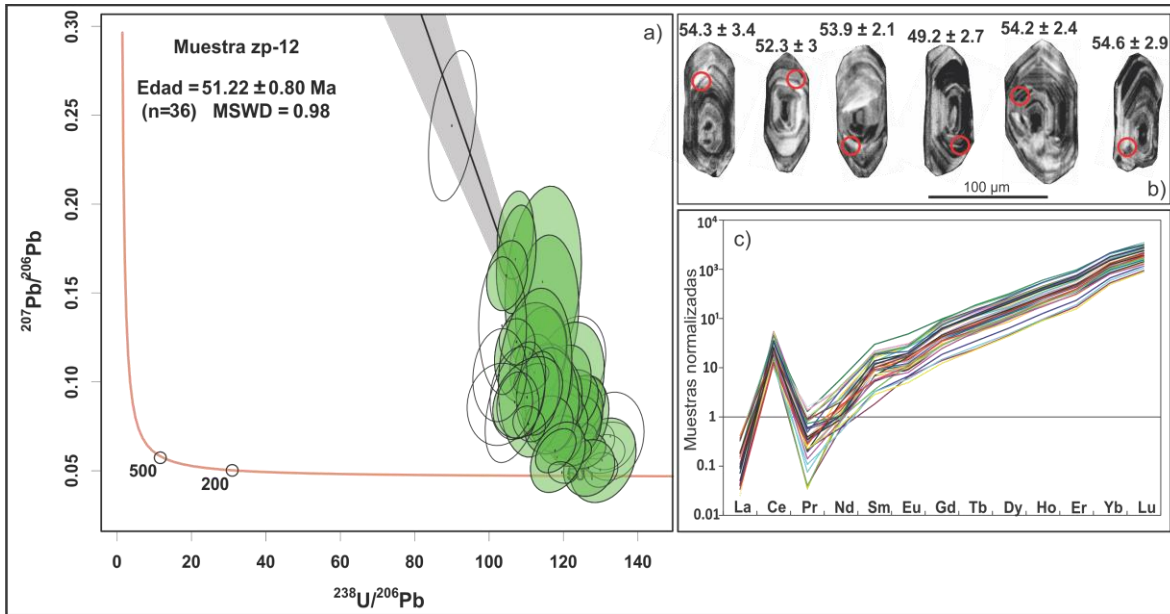
Los circones de esta muestra se caracterizan por tamaños entre 70 y 160 µm de longitud, son euédricos y su morfología es variable, aunque la relación largo-ancho (elongación) predominante es de 3. En las imágenes de catodoluminiscencia se puede observar zonación, evidenciando variaciones composicionales durante el crecimiento; no presentan fracturas ni alteración (Fig. 4.28b).



**Figura 4.27** Mapa de distribución de las muestras seleccionadas para fechamientos U-Pb.

Los análisis de esta muestra se realizaron en 54 cristales en los que las edades están en el rango de 48.40 a 71.10 Ma (tabla 3-5 de anexos), de los cuales 36 fueron seleccionados para el cálculo de la edad. Los valores seleccionados dan como resultado edades con un

rango de 49.2 – 59.9 Ma. Los datos son discordantes y se alinean a lo largo de una línea de discordia, de la cual el intercepto inferior da como resultado una edad de  $51.22 \pm 0.80$  Ma, con MSWD= 0.98 (Fig. 4.28a). Adicionalmente, los circones presentan enriquecimiento de HREE con respecto a los LREE, anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu (Fig. 4.28c).



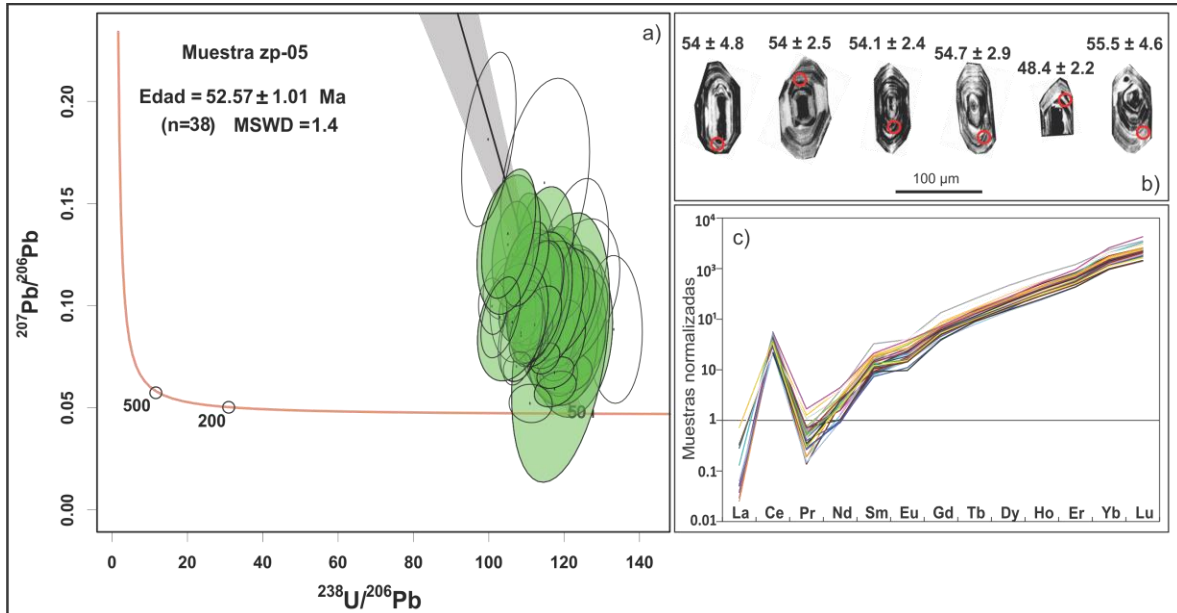
**Figura 4.28** Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-12 (La Encarnación). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. Elipses de color verde representan los datos seleccionados para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados y zoneamiento interno. Las edades mostradas son en millones de años (Ma). c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición del condrito de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu.

#### 4.3.1.1.2 Cuarzo-monzodiorita (Zp-05)

La cuarzo-monzodiorita contiene circones con longitudes entre 42 y 190  $\mu\text{m}$ , euédricos, con morfologías variables y con relación largo ancho predominante de 5. En imágenes de catodoluminiscencia se identifican zonaciones que muestran variaciones de composición durante el crecimiento (Fig. 4.29b).

Se analizaron en total 56 cristales cuyas edades varían entre 48.40 y 64.20 Ma (tabla 3-1 de anexos). A partir de estos datos se seleccionaron 38 para el cálculo de la edad, con edades que varían entre 52.4 - 61.2 Ma. Los resultados son discordantes y se distribuyen

a lo largo de una línea de discordia, de la cual el intercepto inferior da como resultado una edad de  $52.57 \pm 1.01$  Ma, con  $MSWD = 1.4$  (Fig. 4.29a). Así mismo, los circones analizados despliegan enriquecimiento en HREE con respecto a los LREE, anomalías positivas de Ce y anomalías negativas de Eu (Fig. 4.29c).

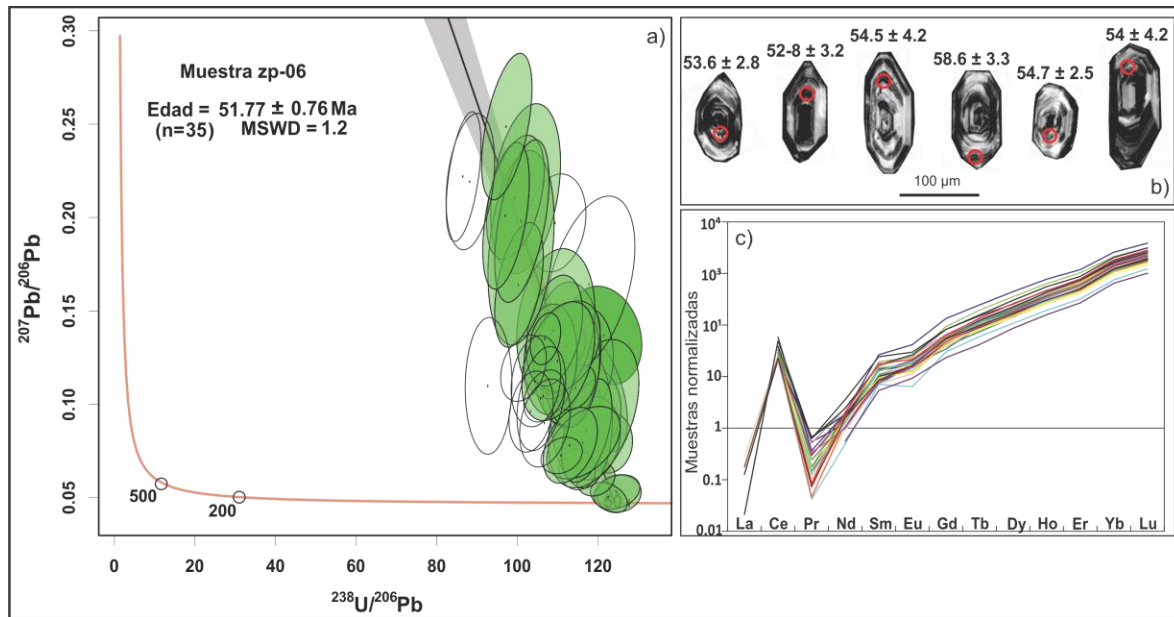


**Figura 4.29** Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-05 (La Encarnación). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. Elipses de color verde representan los datos seleccionados para el cálculo de la edad b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados y zoneamiento interno. Las edades mostradas son en millones de años Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición condítica de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu.

#### 4.3.1.1.3 Granodiorita (Zp-06)

Esta muestra se distingue por circones con longitudes entre 26 y 91  $\mu$ m, euédricos; con morfologías variables, pero con una relación largo-ancho de 2. En la catodoluminiscencia se observan zonaciones, evidenciando variaciones composicionales durante su crecimiento (Fig. 4.30b).

Se analizaron 55 cristales (tabla 3-2 de anexos), que arrojaron edades entre 390 y 51.3 Ma. De estos se seleccionaron 35 para el cálculo de la edad, con edades en el rango de 47.6 a 71.5 Ma. Los datos son discordantes y se alinean a lo largo de una línea de discordia, de la cual el intercepto inferior da como resultado una edad de  $51.77 \pm 0.76$  Ma, con MSWD= 1.2 (Fig. 4.30a). Se obtuvo, además una edad relativamente concordante (12.3%) de 236.1 Ma en el núcleo de un circón, interpretada como correspondiente a un circón heredado. En estos análisis se puede observar el enriquecimiento en HREE con respecto a los LREE, anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu (Fig. 4.30c).



**Figura 4.30** Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-06 (La Encarnación). a) Diagrama Tera-Wasserburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. las elipses de color verde representan los datos usados para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados y zoneamiento interno. Las edades mostradas son en millones de años (Ma). c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición del condrito de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu.

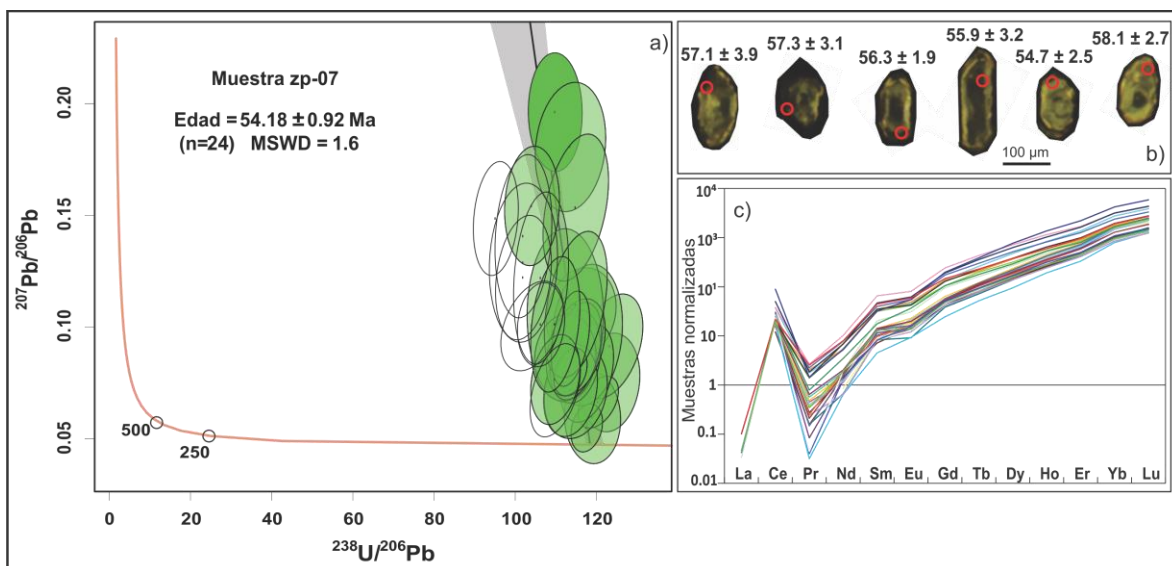
#### 4.3.1.1.4 Granodiorita (Zp-07)

Se analizaron en total 37 cristales con edades en un rango de 51.9 a 916 Ma (tabla 3-3 de anexos); de estos fueron seleccionados 24 para el cálculo de la edad, la que varía entre 51.9 y 61.5 Ma.



La muestra se caracteriza por circones entre 119 y 221  $\mu\text{m}$  de longitud, euédricos, con morfologías variables, pero con elongación de 2.5. En las imágenes de catodoluminiscencia se observan zonaciones que evidencian cambios en la composición durante el crecimiento del cristal (Fig. 4.31b)

Los resultados obtenidos son discordantes y se disponen a lo largo de una línea de discordia, de la cual el intercepto inferior da como resultado una edad de  $54.18 \pm 0.92$  Ma, con MSWD= 1.6 (Fig. 4.31a). Así mismo, se obtuvo una edad concordante de 916 Ma, que se interpreta como correspondiente a un circón heredado. Adicionalmente, se puede observar el enriquecimiento el HREE con respecto a los LREE, junto con anomalías positivas de Ce y una anomalía negativa de Eu (Fig. 4.31c).



**Figura 4.31** Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-07 (La Encarnación). a) Diagrama Tera-Wasserburg para las relaciones isotópicas de U-Pb, donde las elipses de color verde representan las edades empleadas en el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados y zoneamiento interno. Las edades mostradas son en millones de años Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición del condrito de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ligeras anomalías negativas de Eu.

#### 4.3.1.2 Zona San Nicolás

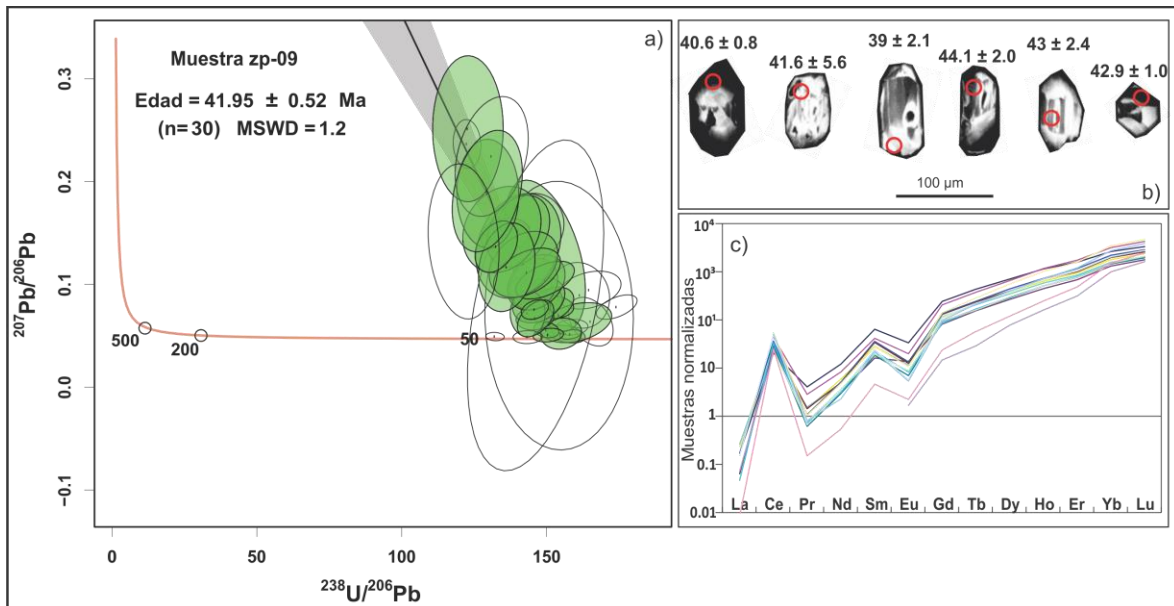
En la zona de San Nicolás se seleccionó la muestra zp-09 (Fig. 4.27) para su datación. A continuación, se presentan los resultados para esta muestra.

#### 4.3.1.2.1 Granodiorita (Zp-09)

Los circones de esta muestra se caracterizan por tamaños que varían entre 44 y 69  $\mu\text{m}$  de longitud, euédricos y su morfología es variable, aunque la relación largo-ancho predominante es de 1.5; en las imágenes de catodoluminiscencia se pueden observar la ausencia de zonaciones y la presencia de fracturas (Fig. 4.32b).

Los análisis se llevaron a cabo en 49 cristales con edades que van desde 36.9 a 64.9 Ma (tabla 3-4 de anexos) obteniéndose edades en un rango de 40.1 – 52.30 Ma, donde se destacan algunas edades concordantes entre 40.8 y 48.6 Ma. De esta muestra fueron seleccionados 30 para el cálculo de la edad; los valores seleccionados dan como resultado edades con un rango de 40.6 – 50.54 Ma.

Los datos son discordantes y se alinean a lo largo de una línea de discordia, de la cual el intercepto inferior da como resultado una edad de  $41.95 \pm 0.52$  Ma, con  $\text{MSWD} = 1.2$  (Fig. 4.32a). Además, se presenta enriquecimiento de los HREE con respecto a los LREE, anomalías positivas de Ce y anomalías negativas de Eu mayores que en las muestras anteriores (Fig. 4.32c).



**Figura 4.32** Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra zp-09 (San Nicolás). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb, las elipses de color verde muestran los datos seleccionados para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados. Las edades mostradas son en Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición condritica de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y anomalías negativas de Eu.

#### 4.3.1.3 Intrusivos de Nicolás Flores y Quetzalapa

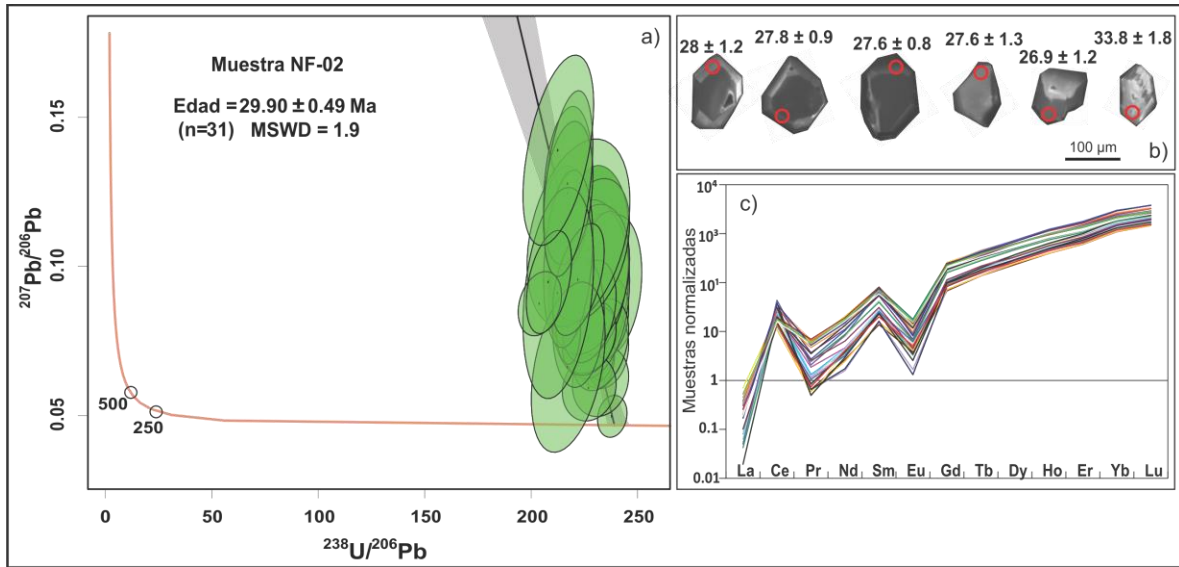
En la zona de Nicolás Flores se seleccionó la muestra NF-02, mientras que para la zona de Quetzalapa la datación se realizó en la muestra Qzl-01. Los resultados se presentan a continuación.

##### 4.3.1.3.1 Tonalita (NF-02)

Los análisis de esta muestra se realizaron con 36 cristales de edades que varían entre 29.9 y 36.6 Ma (tabla 3-6 de anexos), de los cuales fueron seleccionados 31 circones para el cálculo de la edad. Los valores seleccionados dieron como resultado edades con un rango de 26.9 – 31.70 Ma.

Estos circones se caracterizan por tamaños entre 96 y 168  $\mu\text{m}$  de longitud, ser euédricos, con relación largo-ancho es de 1.2. Su morfología es variable y distinta a las muestras anteriores, donde se destaca su forma redondeada, la presencia de una sola pirámide, núcleo de mayor tamaño, disminución en la zonación y la presencia de fracturas (Fig. 4.33b).

Los datos obtenidos son discordantes y se alinean en una línea de discordia donde el intercepto inferior da como resultado una edad de  $29.90 \pm 0.49$  Ma, con MSWD= 1.9 (Fig. 4.33a). También, se distingue el enriquecimiento en los HREE con respecto a los LREE, anomalías positivas de Ce y una marcada anomalía negativa de Eu (Fig. 4.33c).

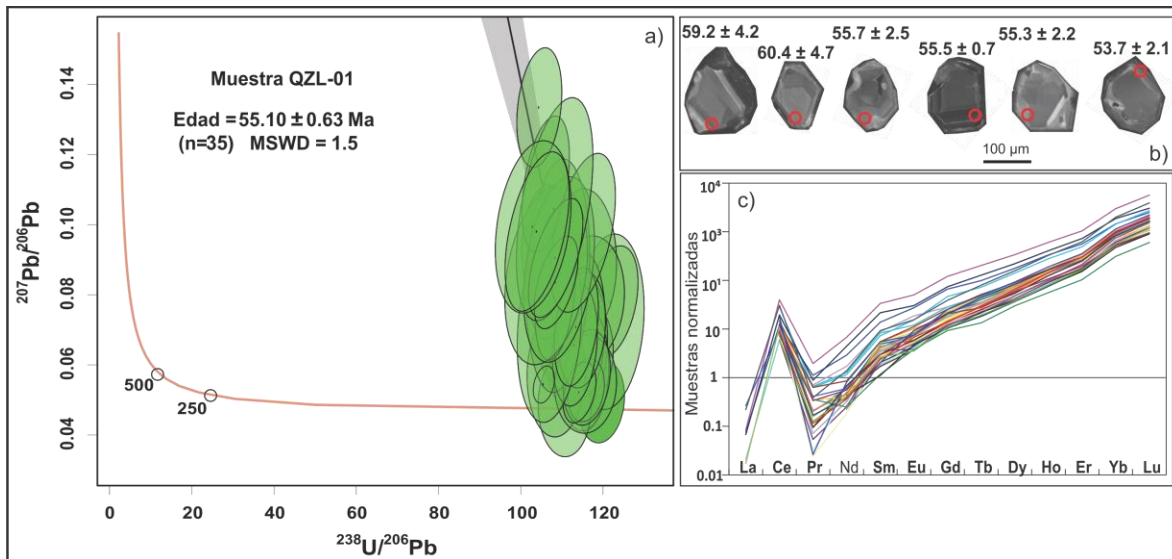


**Figura 4.33** Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra NF-02 (Nicolás Flores). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. las elipses de color verde representan los datos seleccionados para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia la ausencia de núcleos heredados. Las edades mostradas son en millones de años Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados en la composición del condrito de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y anomalías negativas de Eu.

#### 4.3.1.3.2 Cuarzo-monzodiorita (Qzl-01)

En esta muestra fueron analizados 37 cristales con longitudes entre 88 y 104  $\mu\text{m}$  de longitud, euédricos, con morfologías variables, pero con una relación largo-ancho de 1.2. En las imágenes de catodoluminiscencia se observan zonaciones que muestran variaciones composicionales durante su crecimiento (Fig. 4.34b).

Los circones seleccionados tienen edades entre 52.6 y 121 Ma (tabla 3-7 anexos), de los cuales fueron seleccionados al 35 para el cálculo de la edad; la cual varía entre 52.6 – 62.3 Ma. los resultados son discordantes y se alinean a lo largo de una línea de discordia, donde el intercepto inferior da como resultado una edad de  $55.10 \pm 0.63$  Ma, con  $\text{MSWD} = 1.5$  (Fig. 4.34a). Adicionalmente, se destaca el enriquecimiento de los HREE con respecto a los LREE, anomalías positivas de Ce y una ligera anomalía negativa en Eu (Fig. 4.34c).



**Figura 4.34** Resultados de los análisis de U-Pb en circón de la muestra Qzl-01 (Quetzalapa). a) Diagrama Tera-Wasseburg para las relaciones isotópicas de U-Pb. Las elipses de color verde representan las edades usadas para el cálculo de la edad. b) Imágenes de catodoluminiscencia donde se aprecia el zoneamiento interno y la ausencia de núcleos heredados. Las edades mostradas son en Ma. c) Diagramas de tierras raras REE normalizados con base en la composición condritica de Sun y McDonough (1989), donde se observan anomalías positivas de Ce y ausencia en anomalías negativas de Eu.

#### 4.3.2 Geoquímica de circones

Los circones son ampliamente usados en estudios geológicos, especialmente en la petrogénesis de rocas ígneas y metamórficas (Ballard et al., 2002). Esto debido a la afinidad por ciertos elementos trazas, que se sustituyen dentro de su estructura mineral (e.g. Ti, Ce, Eu) y a la resistencia al re-equilibrio difusivo a temperaturas elevadas (Loader et al., 2017). Uno de los aspectos más importantes en la química de circones es el proceso de distribución de los elementos de tierras raras (Ce y Eu) que es controlado por las condiciones *redox* de los magmas.

Dentro de los elementos de las tierras raras (REE) que usualmente son trivalentes se destacan el Ce y Eu que además de  $Ce^{3+}$  y  $Eu^{3+}$ , existen como  $Ce^{4+}$  y  $Eu^{2+}$ . El  $Ce^{4+}$  es más compatible en el circón que las tierras raras trivalentes ya que sustituye al  $Zr^{4+}$ , lo que resulta en anomalías positivas en diagramas normalizados de tierras raras. Por otra parte, el  $Eu^{3+}$  es más compatible dentro del circón que el  $Eu^{2+}$  lo que puede resultar en anomalías negativas de Eu (Loader et al., 2017). Burnham y Berry, (2012) y Trail et al. (2012) han

demostrado que la magnitud de las anomalías de Ce y Eu varía en función de las condiciones de fugacidad de oxígeno ( $fO_2$ ) del fundido y propusieron métodos para calcular la  $fO_2$  a partir de los contenidos de REE en circón, los cuales han recibido algunas críticas, esto debido a la cristalización simultánea de minerales que incorporan REE (e.g. titanita) en su estructura (Loader et al., 2017; Zou et al., 2019).

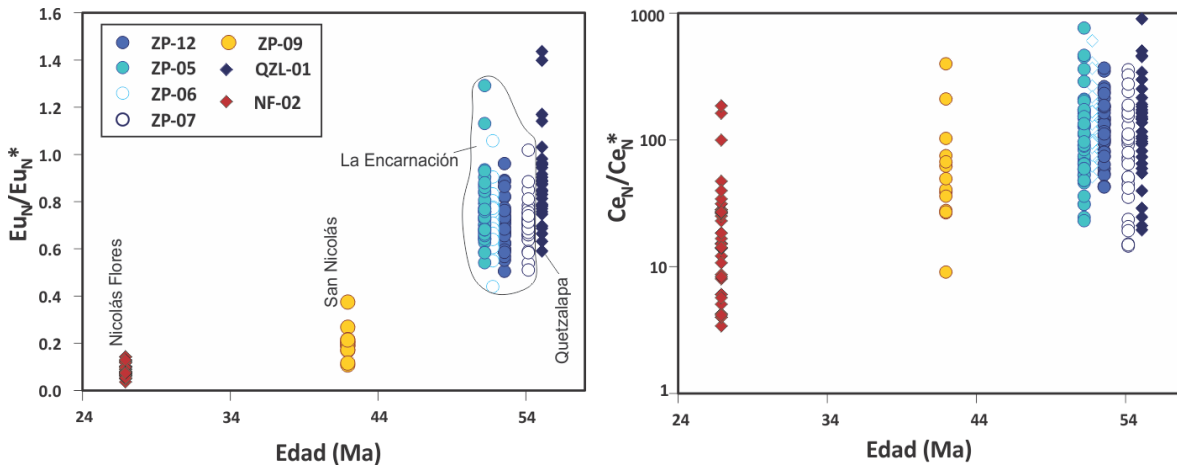
A partir de los datos obtenidos mediante LA-ICPMS (anexos 4-1 a 4-7), en este trabajo se calcularon las magnitudes de las anomalías de Ce y Eu para estimar de manera cualitativa condiciones redox en que cristalizaron los magmas de la Sierra de los Mármoles.

Las anomalías de Eu y Ce en circones en ocasiones son difíciles de interpretar debido a que la composición obtenida puede estar influenciada por la presencia de inclusiones de minerales que contienen REE, antecristales o xenocristales dentro del circón. Con el propósito de excluir estos factores los datos se filtraron; los parámetros usados fueron  $La < 0.1$  ppm y  $Pr < 1$  ppm (Zou et al., 2019),  $P < 1000$  ppm y valores relativamente constantes de  $^{206}Pb/^{238}Pb$  (Siegel et al., 2018). La relación Th/U para los circones seleccionados es de 0.43 – 0.66, relación que presenta dentro del rango de los circones ígneos (Rubatto, 2002). Estos parámetros se emplearon con el objetivo de identificar circones de origen magmático libres de inclusiones.

Los circones despliegan patrones de elementos de tierra raras (REE) con enriquecimientos en REE pesadas con respecto a las ligeras, así como anomalías positivas de Ce y negativas de Eu variables (Figs. 4.28 – 4.34).

En la figura 4.35 se muestra la variación de los valores de  $Eu_N/Eu^*_N$  con respecto a la edad, donde  $Eu^* = (Sm_N \times Gd_N)^{1/2}$  y el subíndice N indica que los valores están normalizados con respecto a la composición del condrito (McDonough y Sun, 1995). En el diagrama se puede observar como los circones correspondientes a las rocas de La Encarnación y Quetzalapa despliegan una anomalía negativa menos desarrollada e incluso en algunos casos llega a ser ligeramente positiva ( $Eu_N/Eu^*_N > 1$ ), mientras que en las rocas de los intrusivos de San Nicolás y Nicolás Flores presentan una marcada anomalía negativa.

Un comportamiento similar, aunque menos marcado, se observa en la anomalía positiva de Ce, que se representa por el parámetro  $Ce_N/Ce^*_N$  donde  $Ce^* = Ce_N/(Nd_N^2/Sm_N)$ . En este caso, la anomalía positiva de Ce tiende a ser mayor en las rocas de La Encarnación y ligeramente menor en San Nicolás, mientras que las anomalías menores corresponden a las rocas de Nicolás Flores



**Figura 4.35** Variación de las anomalías de Eu y Ce en circones contra la edad para los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás, Nicolás Flores y Quetzalapa. a) Variación de los valores de  $Eu_N/Eu^*_N$  en circones de las muestras de los intrusivos.  $Eu_N/Eu^*_N = Eu_N / (Sm_N \times Gd_N)^{1/2}$ . b) variación de los valores de  $Ce_N/Ce^*_N$  para circones de los intrusivos.  $Ce_N/Ce^*_N = Ce_N / (Nd_N^2/Sm_N)$ .

#### 4.4 Oxitermobarometría

La oxitermobarometría tiene como objetivo determinar las condiciones de presión, temperatura y fugacidad de oxígeno ( $fO_2$ ) de cristalización de los magmas, empleando la composición de fases minerales o de asociaciones minerales específicas, que se consideran en equilibrio químico. Idealmente se aplica a rocas que contienen asociaciones minerales con baja varianza, adecuados para la cuantificación detallada de las condiciones de  $P-T-f_{O_2}-f_{H_2O}$  durante el equilibrio final (Anderson, 1996; Anderson et al., 2008).

Con el propósito de estimar las condiciones de temperatura y presión alcanzadas durante la cristalización y emplazamiento de las rocas intrusivas se seleccionaron cuatro muestras para realizar análisis puntuales en minerales mediante microsonda electrónica: se seleccionaron dos muestras de los intrusivos de La Encarnación (p-02 y zp-07) y una

muestra del Granito Comanja (sgpc-02), y una muestra del intrusivo de San Nicolás (zp-08) (Fig. 4.1 y 4.5). Se obtuvieron análisis de plagioclasa, feldespato potásico, hornblenda, magnetita e ilmenita. Además, para los cálculos se utilizaron los análisis puntuales de elementos traza obtenidos en circones de cuatro muestras (zp-05, zp-06, zp-07 y zp-12) por LA-ICPMS.

De acuerdo con la paragénesis mineral encontrada en las rocas se aplicaron geotermómetros basados en la composición de anfíboles cálcicos (Ridolfi et al., 2010), dos feldespatos (Putirka, 2008) y Ti en circón (Ferry y Watson, 2007). Para el cálculo de las temperaturas con el geotermómetro de dos feldespatos se empleó la hoja de cálculo de Hora et al., (2013), que permite determinar los valores para todos los posibles pares minerales plagioclasa-feldespato alcalino analizados. Las condiciones para las que fueron calibrados los termobarómetros se presentan en la tabla 4.4.

<b>Tabla 4.4</b> Resumen de las calibraciones de termobarómetros usados en este estudio.	
Referencia	Calibración
	<b>Calibración Empírica</b>
<b>R2010 y RR2012</b> <b>Al en anfíbol</b>	Anfíboles cristalizados a partir de magmas calci-alcalinos y alcalinos en el manto o en la corteza, cercanos a temperaturas liquidus o solidus de magmas máficos a intermedios. #Al<0.21. temperaturas entre 800 y 1000 °C. Presión entre 130 y 2200 Mpa. $f_{O_2}$ de NNO desde -2.1 a +3.6. Contenido de agua entre ~2.8 y 12.2 % en peso. Contenido de SiO <sub>2</sub> entre ~ 52.6 y 78.1 % en peso.
	<b>Calibración Experimental</b>
<b>Mutch 2016</b> <b>Al en anfíbol</b>	Aplicado a rocas graníticas con ensamble mineral (Amp + Plg (An <sub>15-80</sub> )+ Bt + Qz + Fsp + Ilm/Ttn + Mag + Ap). Presiones entre 8 y 10 Kbar. Dependiente del contenido de Al <sub>total</sub> . Error de calibración del 16%.
	<b>Calibración Experimental</b>
<b>Putirka 2008</b> <b>Dos feldespatos</b>	Temperaturas menores a 1050 °C (T < 1050 °C). Error de calibración de ±23°C.
	<b>Calibración Experimental</b>
<b>FW2007</b> <b>Ti en circón</b>	Temperatura entre 580 y 1400 °C. Dependiente de la actividad de SiO <sub>2</sub> y TiO <sub>2</sub>
R2010: Ridolfi et al., (2010); RR2012: Ridolfi y Renzulli 2012; Barómetro Al en hornblenda (Mutch et al., 2016). Termómetro en anfíbol (Ridolfi y Renzulli, 2012). Termómetro Ti en circón (Ferry y Watson, 2007); Termómetro de dos feldespatos Putirka 2008 .	

Para el cálculo de la presión se usó el geobarómetro propuesto por Mutch et al., (2016) basado en el contenido de Al total en los anfíboles cálcicos. Se seleccionó este geobarómetro debido a que fue calibrado para un rango de presión (80 – 1000 MPa) que permite estimar la presión de cristalización de cuerpos ígneos emplazados en niveles más



someros, en comparación con otras calibraciones obtenidas para  $P > 130$  MPa (e.g. [Ridolfi et al., 2010](#); [Anderson y Smith, 1995](#)). El cálculo de la fugacidad de oxígeno se basó en la composición de los anfíboles cálcicos con la calibración de [Ridolfi et al., \(2010\)](#). Los resultados se presentan en la tabla 4.5.

**Tabla 4.5** Valores termobarométricos calculados para la Sierra de los Mármoles y Granito Comanja.

Estadística	Al en hornblenda (Barómetro; MPa)					Termómetro de Hbl (°C)					Ti en circón (ppm)					Ti en circón (Termómetro; °C)					Pl-Or (Termómetro; °C)					
	n	Min	Max	$\bar{X}$	D.S	n	Min	Max	$\bar{X}$	D.S	n	Min	Max	$\bar{X}$	D.S	n	Min	Max	$\bar{X}$	D.S	n	Min	Max	$\bar{X}$	D.S	
La Encarnación																										
<b>Zp-02</b>	20	105	243	167	40	20	725	809	809	23.6	—	—					234	435	706	575	61					
	7	434	546	468	39*	7	899	932	913	10.8*																
<b>Zp-05</b>	—					—					40	1.9	7.3	4.9	1.3	40	662	782	743	28	—					
<b>Zp-06</b>	—					—					37	2.2	8.2	4.6	1.4	37	674	794	733	42	—					
<b>Zp-07</b>	66	93	170	116	13.1	66	735	813	772	18.2	31	3.1	13.8	7.7	2.7	31	702	850	783	37	657	467	731	601	57	
<b>Zp-12</b>	—					—					43	2.2	13.3	4.9	2.3	43	666	846	751	43	—					
San Nicolás																										
<b>Zp-08</b>	40	108	233	173	35	40	725	828	785	24.9	—					—					84	747	917	838	43	
<b>Zp-09</b>	—					—					14	1.2	18.7	11.6	5.6	14	628	886	875	72	—					
Nicolás Flores																										
<b>NF-02</b>	—					—					32	6.1	25	16.4	5.4	32	764	923	875	42	—					
Quetzalapa																										
<b>Qzl-01</b>	—					—					34	1.7	11.7	5.2	2	34	653	832	827	37	—					
Granito Comanja																										
<b>Sgpc-02</b>	21	189	287	239	28.76	21	761	820	784	15.7	—					—					204	689	803	743	22	

D.S Desviación estándar; n número de datos; Min mínimo; Max máximo.  
 \* Resultados para magnesio-hastingsita de la muestra zp-02.  
 • Barómetro Al en hornblenda (Mutch et al., 2016). Termómetro anfíbol (Ridolfi et al., 2010). Termómetro Ti en circón (Ferry y Watson, 2007); Termómetro de dos feldespatos Putirka 2008.

#### 4.4.1 Sierra de Los Mármoles (La Encarnación)

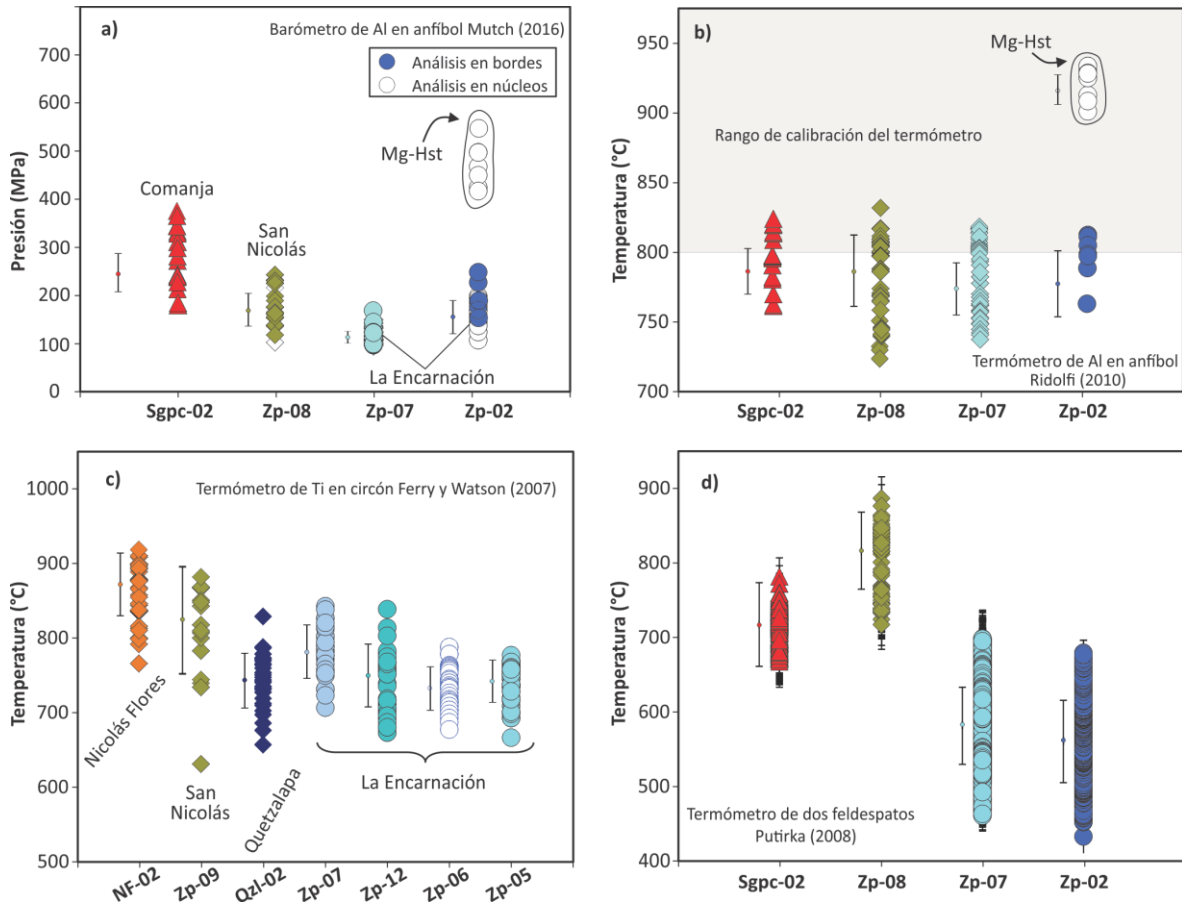
El cálculo de la presión en la muestra zp-02 se realizó empleando 27 análisis de anfíboles, obteniendo presiones en un rango de 105 a 243  $\pm$  40 MPa (n= 20) para hornblenda magnésica y presiones más altas para magnesiohastingsita (434 – 546  $\pm$  39 MPa; n= 7). Estas últimas corresponden a núcleos analizados dentro de los anfíboles zoneados. Para la muestra zp-07 se obtuvieron presiones en un rango más estrecho entre 93 y 170  $\pm$  13.1 MPa a partir de 66 análisis. En la figura 4.36a se incluyen los resultados obtenidos con análisis en bordes y núcleos de cristales y se observa que no hay diferencias significativas.

El rango de temperatura principal determinado empleando el geotermómetro de [Ridolfi et al., \(2010\)](#) para los mismos análisis de anfíbol de la muestra zp-02 fue de 725 a 809  $\pm$  23.6 °C para hornblenda magnésica. Para la magnesiohastingsita se obtuvieron temperaturas mayores en el rango de 899 a 932  $\pm$  10.8 °C. En la muestra Zp-07 se obtuvieron

temperaturas en un rango de 735 a 813 °C dentro del obtenido para la muestra Zp-02. En la figura 4.36b se grafican los valores de temperatura obtenidos para las muestras de este estudio, el campo sombreado representa la zona de calibración para el termómetro y los valores dentro de este se usarán para la discusión e interpretación.

Para el cálculo de la temperatura haciendo uso del termómetro de titanio en circón (Ferry y Watson, 2007) se asumió la actividad de titanio en 0.5 propuesta por Schiller y Finger, (2019) para granitos tipo I con ilmenita en su ensamble mineral. El contenido de Ti varía entre 2 y 14 ppm en los análisis depurados de circones de las muestras del área en La Encarnación. Los resultados para todas las muestras analizadas se presentan en la figura 4.36c. Las temperaturas obtenidas para la muestra zp-07 caen en el rango de  $702-850 \pm 37$  °C (n=31), similar al obtenido con el termómetro Ridolfi et al., (2010) para las hornblendas de la misma muestra. La coincidencia en las temperaturas obtenidas con dos geotermómetros basados en distintos equilibrios minerales y con análisis obtenidos con distintas técnicas permite confiar en la validez de estos resultados. De las otras tres muestras analizadas, la zp-12 cae en un rango similar ( $666-846 \pm 43$  °C; n=43), mientras que el rango de temperaturas obtenidas para las muestras zp-05 ( $662-782 \pm 28$  °C; n=40) y zp-06 ( $674-794 \pm 42$  °C; n=37) indica las temperaturas mínimas similares y temperaturas máximas menores.

Además, se obtuvieron temperaturas usando los pares minerales plagioclasa-feldespato potásico y aplicando el geotermómetro de Putirka (2008) a todos los posibles pares. Con este método se obtiene un gran número de datos de temperatura con rangos de variación muy amplios (Fig. 4.36d), que en parte se deben al zoneamiento de los cristales y también a pares minerales en desequilibrio. Sin embargo, los rangos para los distintos grupos de muestras se pueden diferenciar claramente (Fig. 4.36d). Para la muestra zp-02 se obtuvieron temperaturas entre  $435 - 706 \pm 61$  °C (n =234) y para la muestra zp-07 entre  $467 - 731 \pm 57$  °C (n=657).



**Figura 4.36** Variación de la presión y temperatura para los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. a) Valores de presión calculados siguiendo la calibración del barómetro de Mutch et al. (2016). b) Valores de temperatura obtenidos con el geotermómetro de Ridolfi et al. (2010). c) Temperaturas calculadas con el termómetro de Ti en circón de Ferry y Watson (2007). d) Temperaturas calculadas con el termómetro de dos feldespatos Putirka (2008).

El cálculo de la fugacidad de oxígeno ( $fO_2$ ) para las muestras de La Encarnación se determinó a partir de la ecuación (2) propuesta por Ridolfi et al. (2010) y es expresado como la diferencia respecto al buffer de níquel-óxido de níquel ( $\Delta NNO$ ) (Fig. 4.37). La muestra zp-02 presenta valores en dos grupos calculados a partir de hornblendas y magnesiohastingsita, el primero varía entre +1.42 a +2.56 (n=20), el segundo grupo varía entre +0.29 a +0.52, respectivamente. En la muestra zp-07 los valores están entre +2.1 y +2.7 (n=19), y corresponde a hornblendas de alta temperatura.

#### 4.4.2 Sierra de Los Mármoles (San Nicolás)

Para un total de 40 análisis de anfíbol de la muestra zp-08 se calculó la presión, obteniendo valores en un rango de 108 a  $233 \pm 35$  MPa. Así como temperaturas en un rango dominante entre 725 y  $828 \pm 24.9$  °C (n=40). El cálculo de la temperatura empleando el termómetro de Ti en circones se aplicó para la muestra zp-09, allí se seleccionaron 14 análisis con contenido de Ti de 1.2 ppm a 19 ppm. Los valores de temperatura obtenidos asumiendo la actividad del  $\text{TiO}_2$  en 0.5 varían entre 628 y  $886 \pm 72$  °C, similares a las temperaturas mayores obtenidas con el termómetro de hornblenda (Fig. 4.36c).

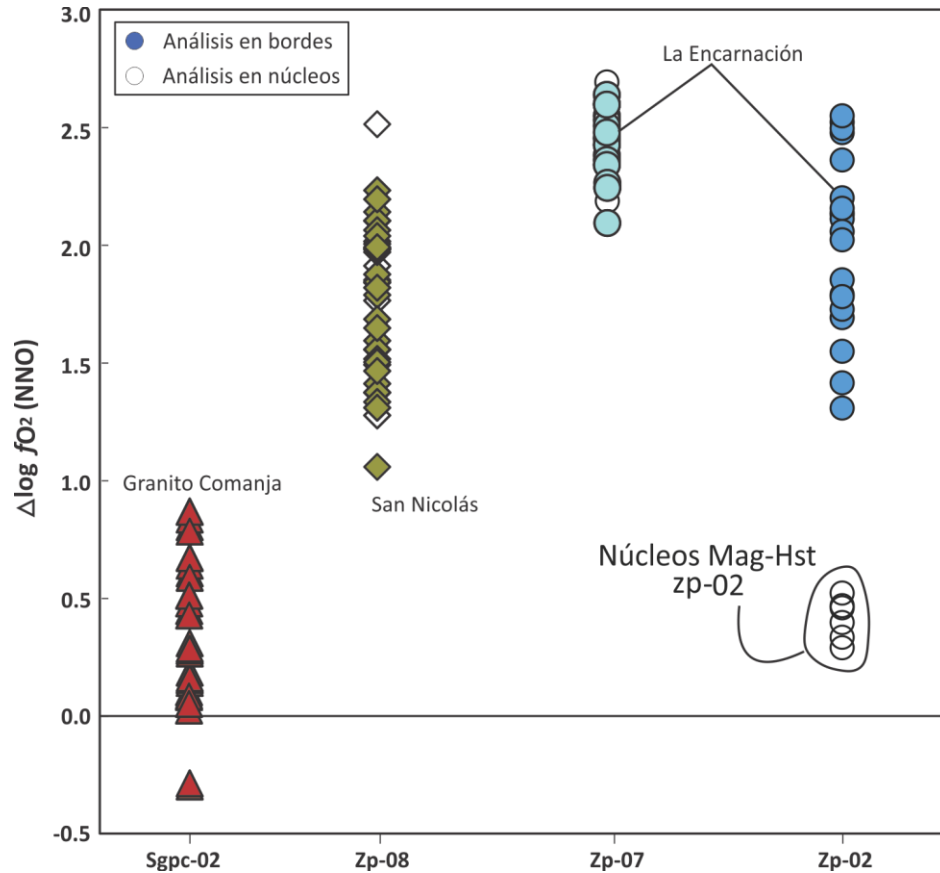
Con el termómetro de dos feldespatos se obtuvieron temperaturas entre 747 y 917 °C (n=84) que en parte son mayores que las obtenidas con el termómetro de hornblenda y son las más altas obtenidas con este termómetro entre todas las muestras analizadas (Fig. 4.36d). Además, La fugacidad de oxígeno obtenida se presenta en el rango de +1.0 a 2.5 (n=35). Similares a las obtenidas para las muestras de La Encarnación (Fig. 4.37).

#### 4.4.3 Quetzalapa (Eoceno temprano)

En la muestra Qzl-01 se realizaron análisis en circones a los cuales se le aplicó el geotermómetro de Ti en circón asumiendo la actividad de  $\text{TiO}_2$  en 0.5. El cálculo de la temperatura se realizó empleando 34 análisis, el contenido de Ti varía entre 1.7 ppm y 11.7 ppm, y las temperaturas obtenidas están en el rango de  $653\text{-}832 \pm 37$  °C. Los resultados se traslapan con los obtenidos para las muestras de La Encarnación (Fig. 4.36c).

#### 4.4.4 Nicolás Flores

El cálculo de la temperatura haciendo uso del termómetro de titanio en circón se realizó empleando 32 análisis. El contenido de Ti varía entre 6.1 y 25 ppm. Los resultados para la muestra analizada se muestran en la figura 4.36c. La temperatura cae en el rango de 764 – 886 °C asumiendo la actividad de  $\text{TiO}_2$  en 0.5 y representa el máximo valor de temperatura obtenido usando el termómetro de Ti en circón para las muestras analizadas. Cabe aclarar que esta muestra corresponde a la más joven fechada (cap. 4.3).



**Figura 4.37** Variación de la fugacidad de oxígeno obtenida a partir de las muestras de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. En la figura se muestra la variación del delta de la fugacidad de oxígeno respecto de buffer de níquel –óxido de níquel NNO.

#### 4.4.5 Granito Comanja

En el análisis petrográfico de las muestras del Granito Comanja (Fig. 4.5) se encontraron cristales de hornblenda, éstas se emplearon para determinar las condiciones barométricas. Se emplearon 21 análisis para el cálculo de la presión, y se obtuvieron las presiones más altas de todas las muestras estudiadas, los cuales representan las presiones máximas, con un rango entre 189 y  $287 \pm 28.7$  MPa, con dos valores que alcanzan 326 MPa y 337 MPa (Fig. 4.36a). Las temperaturas determinadas con el geobarómetro de hornblenda cubren un rango relativamente estrecho entre 761 y  $820 \pm 15.7$  °C (Fig. 4.36b). Al igual que en las zonas anteriores se hizo uso de termómetro de dos feldespatos. Los resultados cubren el rango de 689 a  $803 \pm 22$  °C (n=204) (Fig. 4.36d).

Además, la fugacidad de oxígeno obtenida se presenta en el rango de -0.29 a +0.83 (n=20). Estos resultados indican condiciones de cristalización más reductoras que las muestras analizadas para en la zona de La Encarnación y San Nicolás (Fig. 4.37).

#### 4.5 Geoquímica de roca total

El estudio de las rocas ígneas es una de las principales áreas de la geología (Cox et al., 1979) y dentro de esta, los estudios petrogenéticos son fundamentales para distinguir las características de las fuentes magmáticas (Wilson, 2007), los procesos de evolución, y el ambiente geológico en el que se formaron (Maniar y Piccoli, 1989; Pearce et al., 1984; Barbarin, 1999).

Para este estudio se obtuvieron análisis geoquímicos de 18 muestras que previamente fueron analizadas bajo el microscopio, y para su selección se tuvo en cuenta la distribución espacial, grado de alteración, tamaño de cristales, composición, relaciones texturales existentes en las fases minerales, esto con el fin de obtener resultados representativos de las variaciones litológicas. Las muestras analizadas tienen valores de pérdida por calcinación menores a 1% (anexo 5-1), que sugiere mínima alteración secundaria en las muestras seleccionadas.

Los datos de elementos mayores presentados en el texto y en gráficos fueron recalculados al 100% en base anhidra y con relaciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  de acuerdo con Middlemost (1989). Los valores reportados como porcentaje se refieren a % en peso. A continuación, se describen los resultados obtenidos para las muestras de los cuerpos intrusivos de la Sierra de los Mármoles y el Granito Comanja (Fig. 4.1; 4.5); los resultados analíticos se presentan en el anexo 5-1.

##### 4.5.1 Elementos Mayores

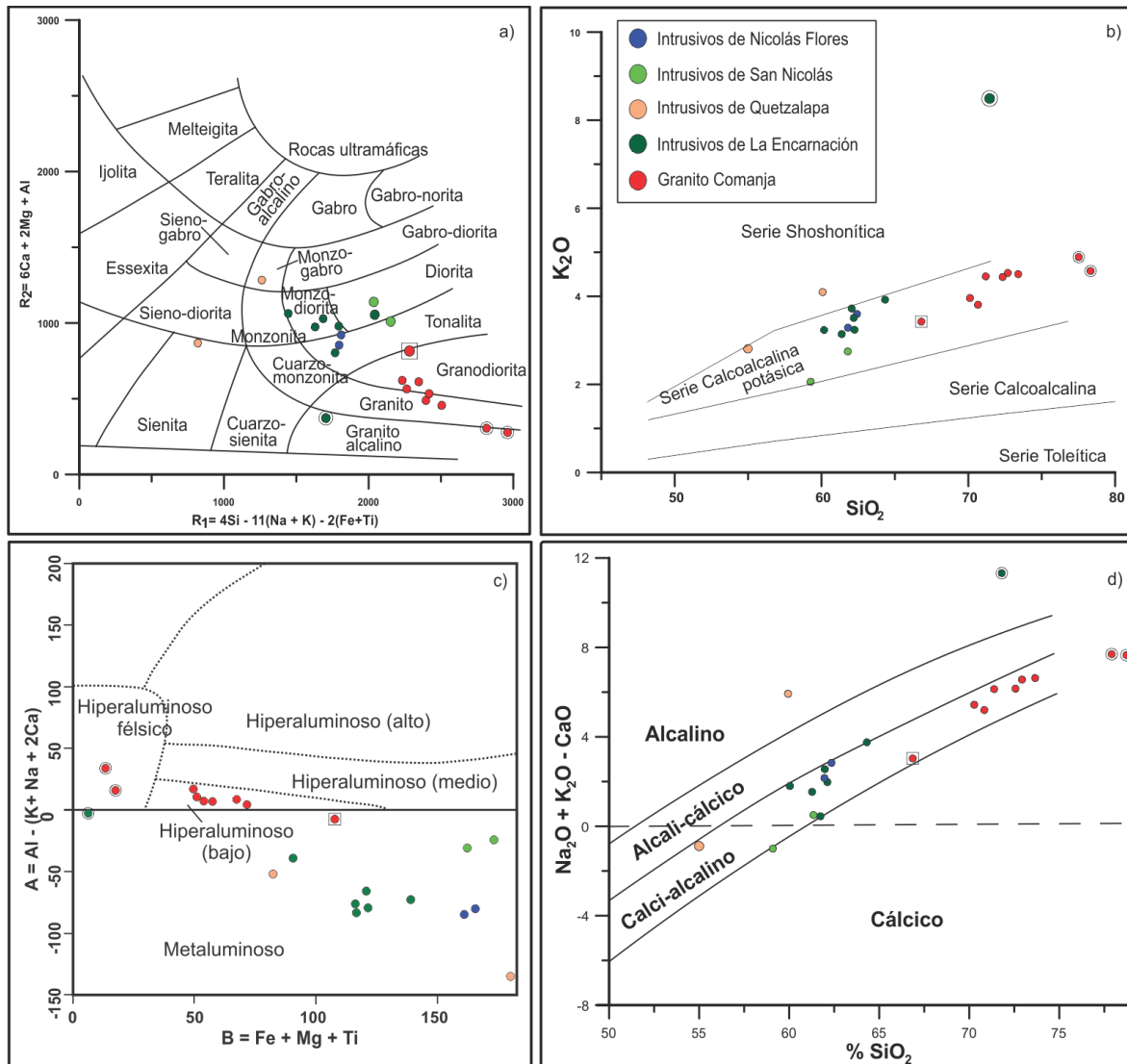
Las muestras se clasificaron químicamente (De la Roche et al., 1980), por el contenido de potasio (Peccerillo y Taylor 1976; Maitre, 1989; Rickwood, 1989), por el grado de saturación en alúmina (Debon y Le Fort, 1983; Villaseca et al., 1998), por el diagrama MALI, basado en el índice modificado de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$  (MALI: *modified alkaline-lime index*; Frost et

al., 2001; Frost y Frost, 2008) y por el índice de Fe [ $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ ] contra  $\text{SiO}_2$  (Frost et al., 2001). Los diagramas correspondientes se presentan en las figuras 4.38 y 4.39.

Los análisis de elementos mayores obtenidos para muestras de las dos zonas de la Sierra de los Mármoles (La Encarnación y San Nicolás) permiten reconocer un grupo principal de composición intermedia con variación restringida en el contenido de  $\text{SiO}_2$  (59.8 - 64.6 %). Con base en su composición química las rocas son clasificadas como monzodioritas, dioritas y tonalitas, de la serie subalcalina de alto potasio y metaluminosas. Un dique aplítico de la zona de La Encarnación (zp-01) con contenido de  $\text{SiO}_2$  de 78.8% es clasificado como granito alcalino, muy enriquecido en K e hiperaluminoso félsico.

Adicionalmente, en la región del Estado de Hidalgo se estudiaron muestras de los intrusivos localizados en Nicolás Flores y Quetzalapa (Fig. 4.1). Dos muestras analizadas de la zona de Nicolás Flores tienen composición intermedia (62.4 y 62.8 %  $\text{SiO}_2$ ) y se clasifican como tonalitas, mientras que dos muestras del área de Quetzalapa tienen también composiciones intermedias con contenidos de  $\text{SiO}_2$  ligeramente menores (54.9 – 60.6%) y se clasifican como monzogabro y sienita. Todas estas rocas de La Encarnación, San Nicolás y Nicolás Flores pertenecen a la serie subalcalina de alto potasio y tienen carácter metaluminoso. En Quetzalapa las rocas caen en el límite entre subalcalinas a alcalinas en el caso de la sienita.

Por otro lado, las rocas del cuerpo principal del Granito Comanja forman un grupo de composición más silícica (70.2 - 73.3 % de  $\text{SiO}_2$ ). Se clasifican como granitos y granodioritas, de la serie subalcalina de alto potasio, distinguiéndose por el carácter hiperaluminoso bajo. Un dique de composición granodiorítica (sgpc-10; 67% de  $\text{SiO}_2$ ) de alto K que intrusiona al Granito Comanja corresponde con el campo metaluminoso, mientras que dos diques graníticos (77.2 y 77.9 % de  $\text{SiO}_2$ ) de alto K son hiperaluminosos félsicos.



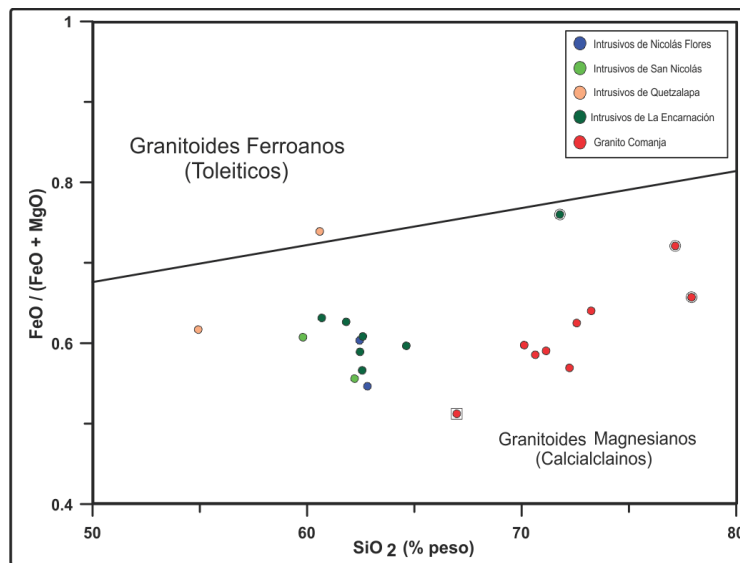
**Figura 4.38** Gráficos de clasificación geoquímica. a) Diagrama de clasificación de rocas basado en la composición de elementos mayores (R1 - R2) (de la Roche et al., 1980). b) Diagrama de discriminación de series magmáticas con base en sus contenidos de K<sub>2</sub>O (Pecerillo y Taylor, 1976). c) Diagrama A-B, propuesto por Debon y Le Fort (1983), modificado por Villaseca et al. (1998), donde se discriminan las rocas por su grado de saturación de álcalis. d) Diagrama MALI propuesto por Frost (2001) y Frost y Frost (2008). Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja.

En el diagrama MALI ( $SiO_2$   $Na_2O + K_2O - CaO$ ) se puede observar que la mayoría de las muestras estudiadas caen en el campo de los magmas calcialcalinos, con algunas muestras en la frontera con los magmas álcali-cálcicos. Sin embargo, existen dos muestras la sienita QzI-03 del área de Quetzalapa y el dique aplítico Zp-01 de La Encarnación que caen en el



campo de magmas alcalinos. Frost y Frost (2008) interpretan altos valores del índice MALI al aumentar el contenido de SiO<sub>2</sub> como resultado de la acumulación de feldespato potásico y/o albita.

El diagrama de clasificación de FeO/(FeO+MgO) contra SiO<sub>2</sub> indica el límite entre granitoides ferrosos y magnesianos. Allí, la mayor parte de las muestras son clasificadas como granitoides magnesianos (calcicalcinos). Sin embargo, el dique que en el diagrama MALI se clasifica como alcalino, cae en el campo de los granitoides ferroanos o cerca de él (Fig. 4.39).



**Figura 4.39** Diagrama de clasificación según el índice Fe [FeO/(FeO+MgO)] contra SiO<sub>2</sub> propuesto por Frost et al. (2001). Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja.

Los diagramas de variación para los elementos mayores (tipo Harker) (Fig. 4.40a-h), se construyeron utilizando el contenido de SiO<sub>2</sub> como índice de diferenciación. En estos diagramas se pueden diferenciar varios grupos correspondientes a las diferentes zonas estudiadas. Algunos presentan tendencias lineales, como es el caso de las rocas de la Encarnación y el Granito de Comanja.

De manera general se distinguen tendencias lineales negativas en los elementos TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO total, MnO, MgO, CaO y positivas (K<sub>2</sub>O) (Fig. 4.40a-f, h), que podrían relacionarse con procesos de cristalización (e.g., anfíboles, plagioclasa, titanita) (Cox, et al., 1979; Winter, 2014; Best, 2002). Además, una característica que presentan estas muestras

es la poca variación que presenta el  $\text{Na}_2\text{O}$  en cada uno de los grupos de muestras (LE, GC; Fig. 4.40g).

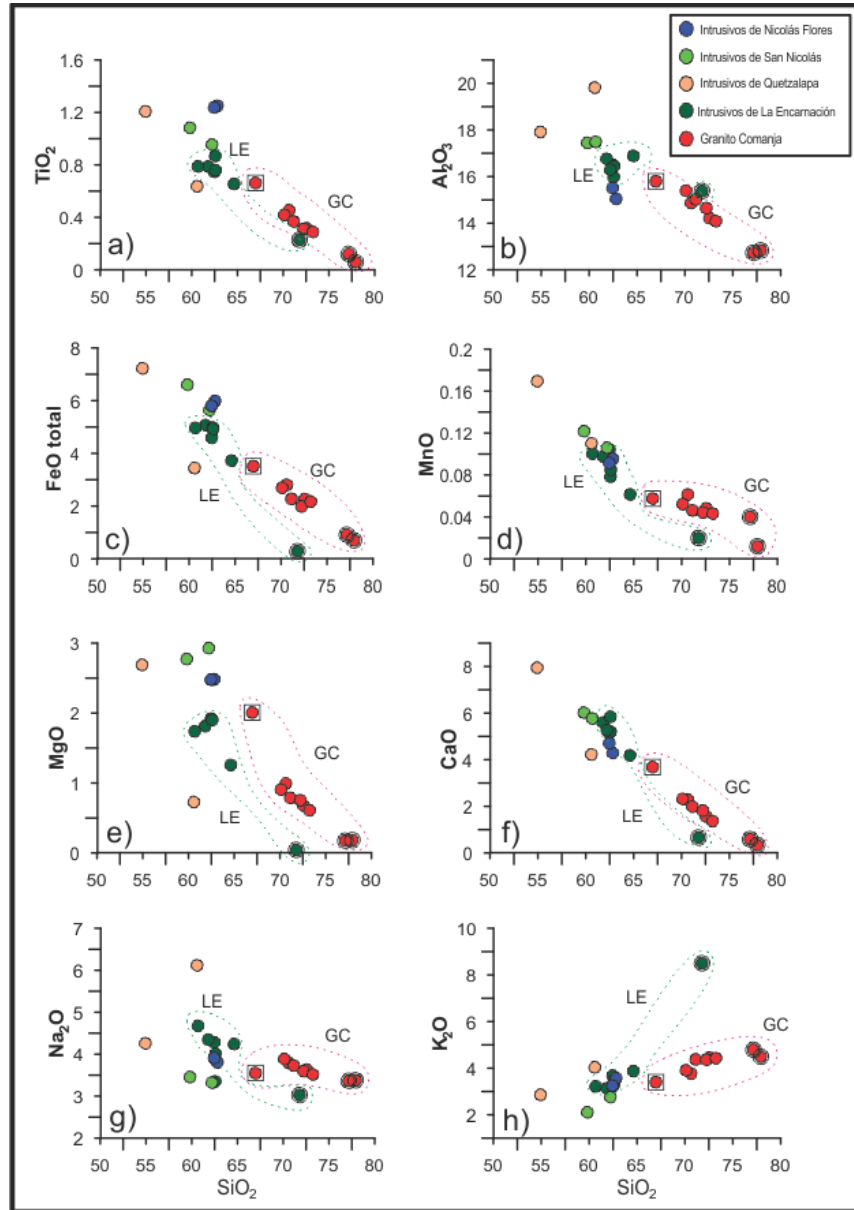
Si bien, las características anteriormente descritas son comunes para todas las muestras, cabe resaltar que el intrusivo de San Nicolás, que es más joven ( $41.95 \pm 0.52$  Ma) que los intrusivos de La Encarnación, presenta algunas diferencias tales como mayor contenido de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ , y  $\text{MgO}$ , así como menor contenido de  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , a contenidos de  $\text{SiO}_2$  similares. En las muestras del intrusivo de Nicolás Flores, que es el más joven identificado ( $26.90 \pm 0.49$  Ma), el enriquecimiento en  $\text{TiO}_2$  es aún mayor y están también enriquecidas en  $\text{FeO}$  total y  $\text{MgO}$  con contenidos menores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Como se mencionó anteriormente, en la muestra de Quetzalapa con mayor contenido de sílice (Qzl-03; 60.6%  $\text{SiO}_2$ ) el alto valor del índice MALI (Fig. 4.38d) podría haber resultado de la acumulación de feldespatos. En los diagramas de tipo Harker se observa que esta muestra sale de las tendencias al tener valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  mayores y valores de  $\text{FeO}$  total y  $\text{MgO}$  menores, lo que apoyaría la idea de una acumulación de feldespatos. Por otra parte, la segunda muestra de Quetzalapa (Qzl-01) grafica en la proyección, a valores menores de  $\text{SiO}_2$ , de la tendencia de las muestras de La Encarnación de edad similar (ver sección 1.3 cap. geocronología).

Por otra parte, los diagramas de variación para las muestras del cuerpo principal del Granito Comanja presentan tendencias lineales negativas para todos los óxidos, excepto  $\text{K}_2\text{O}$  (Fig. 4.40a-g), lo que se puede interpretar como una serie de diferenciación a partir de un magma común o mezcla de magmas.

Como se describió en la sección de petrografía, en las zonas estudiadas se encontraron diques aplíticos y granodioríticos. Una muestra de un dique aplítico de la Sierra de los Mármoles con 71.8%  $\text{SiO}_2$  se caracteriza por tener contenidos muy bajos de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  en comparación con otras rocas del Granito Comanja con contenido similar de  $\text{SiO}_2$ , mientras que los valores de  $\text{K}_2\text{O}$  son muy altos (Fig. 4.40a-h). Por otra parte, los diques aplíticos del intrusivo de Comanja son mucho más diferenciados (77.2 y 77.9 % de  $\text{SiO}_2$ ). Sin embargo, sus contenidos de  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  son más altos y el enriquecimiento en  $\text{K}_2\text{O}$  es notoriamente menor, pero siguen la tendencia composicional del cuerpo principal. La composición de los diques indica que los procesos de evolución hacia los extremos más diferenciados fueron distintos en la sierra de Los Mármoles y en el Granito Comanja. Finalmente, en el Granito Comanja se encontró un dique de composición

granodiorítica. Con la excepción de  $\text{Na}_2\text{O}$ , esta muestra se encuentra en la proyección, a menor contenido de  $\text{SiO}_2$ , de las muestras del cuerpo principal y de los diques aplíticos del Granito Comanja



**Figura 4.40** Diagramas de variación multielementales de tipo Harker para los elementos mayores de las muestras analizadas en La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás, Nicolás Flores y Granito Comanja. Los elementos mayores están expresados en óxidos normalizados al 100% en base anhidra. La concentración de  $\text{SiO}_2$  en % en peso se utilizó como índice de diferenciación. a)  $\text{TiO}_2$ , b)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , c) FeO total, d) MnO, e) MgO, f) CaO, g)  $\text{Na}_2\text{O}$  y h)  $\text{K}_2\text{O}$ . Granito Comanja GC, La Encarnación LE. Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja.

#### 4.5.2 Elementos Traza

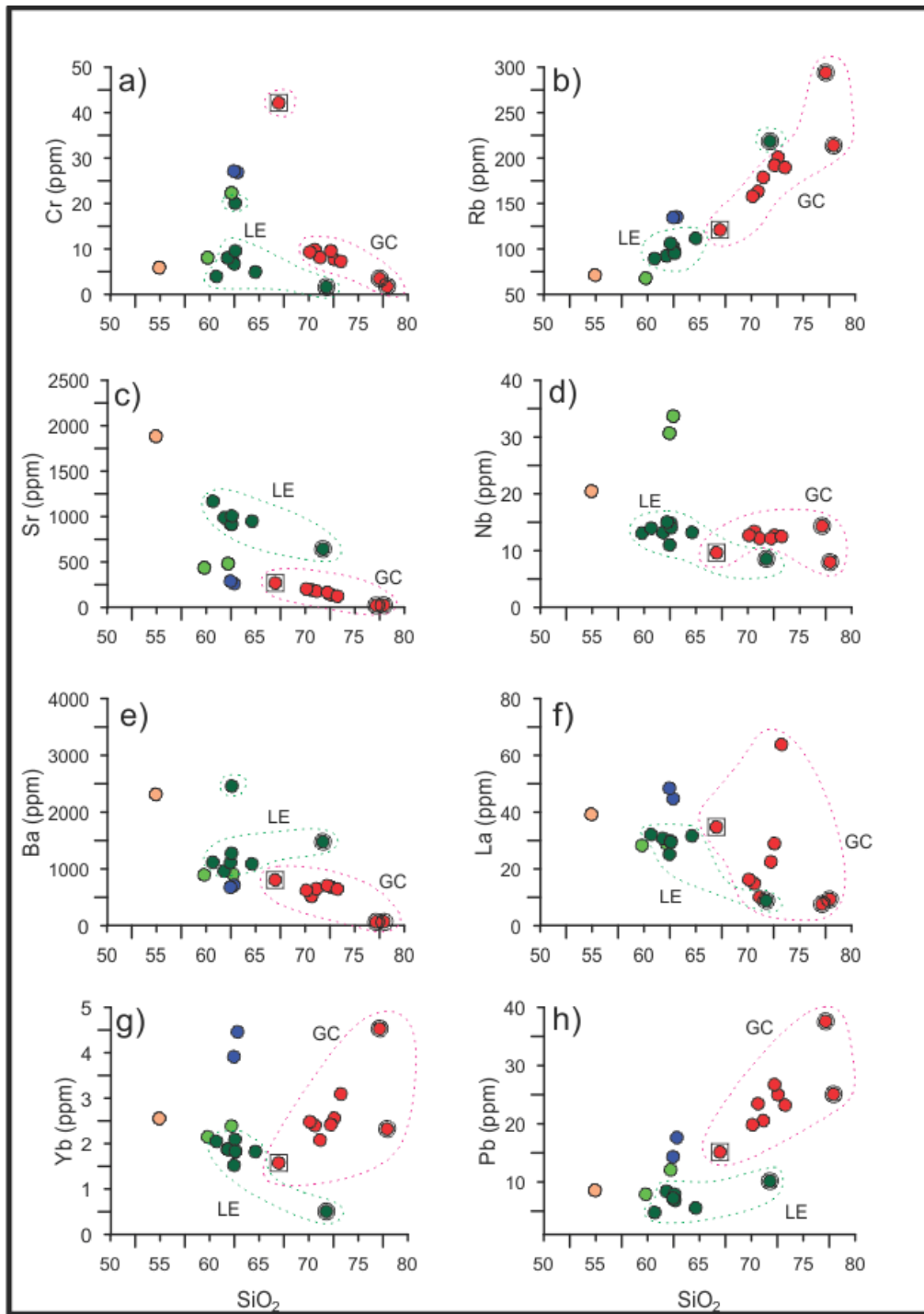
Los elementos traza, incluyendo los elementos de las tierras raras (REE), son frecuentemente empleados en el estudio de los procesos de evolución magmática y la identificación de los componentes de su fuente. A continuación, se presentan los resultados del análisis de elementos traza y REE obtenidos para este trabajo.

La variación de algunos elementos traza con respecto a  $\text{SiO}_2$  se presentan en la figura 4.41. En ésta se observan algunas diferencias entre las rocas de composición intermedia de la Sierra de los Mármoles, Nicolás Flores y Quetzalapa, y las rocas silíceas que constituyen el Granito Comanja.

Si se comparan solo las muestras de intrusivos del Eoceno temprano de La Encarnación, Quetzalapa y Granito Comanja, se observa que los cuerpos principales tienen contenidos de Cr similares ( $<10$  ppm) a contenidos de sílice muy diferentes, con excepción de la muestra zp-06 de La Encarnación que presenta un valor más alto de Cr (20.1 ppm). Otra excepción es el dique granodiorítico de Comanja que tiene los contenidos más altos de Cr (42.2 ppm). Los valores más bajos de Cr corresponden a los diques graníticos ( $<3.5$  ppm); se observa que aun cuando el dique granítico de La Encarnación tiene contenidos de sílice comparables a los del cuerpo principal del Granito Comanja, la abundancia de Cr y otros elementos traza es distinta.

Los contenidos de Rb aumentan continuamente a mayores contenidos de sílice para todas las muestras. Las diferencias más notables se observan en Sr, con valores marcadamente más altos en las muestras de La Encarnación (644–1170 ppm) y Quetzalapa (1885 ppm) en comparación con las muestras del Granito Comanja (26–270 ppm); en cada uno de estos grupos, los valores de Sr disminuyen al aumentar el sílice, pero las tendencias entre ellos no son continuas.

En los términos más diferenciados se observan contenidos mayores de Ba y menores de Yb y Pb en La Encarnación con respecto al Granito Comanja, con una tendencia a aumentar el Ba y disminuir el Yb a mayor contenido de  $\text{SiO}_2$  para La Encarnación, mientras que para el Granito Comanja las tendencias son opuestas. Destaca que una muestra de La Encarnación (zp-07) y la muestra de Quetzalapa (Qzl-01) tienen valores notoriamente elevados de Ba (2462 y 2316 ppm, respectivamente).



**Figura 4.41** Diagramas de variación multielementales de tipo Harker para los algunos elementos traza que presentan variaciones importantes en las muestras de La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás, Nicolás Flores y Granito Comanja. Los elementos traza están expresados en partes por millón (ppm). La concentración de  $\text{SiO}_2$  en % en peso se utilizó como índice de diferenciación. a) Cr, b) Rb, c) Sr, d) Nb, e) Ba, f) La, g) Yb y h) Pb. Granito Comanja GC, La Encarnación LE. Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja.

Otros elementos como Nb y La no muestran diferencias significativas en los patrones de evolución, con valores relativamente constantes de Nb para todas las muestras (8.0–14.8 ppm) excepto la de Quetzalapa (20.5 ppm).

En las muestras del Eoceno medio de San Nicolás, la abundancia de la mayoría de los elementos traza es similar a las encontradas en las muestras de La Encarnación, a excepción del contenido de Sr que es notoriamente más bajo (439–483 ppm) a contenidos de sílice similares.

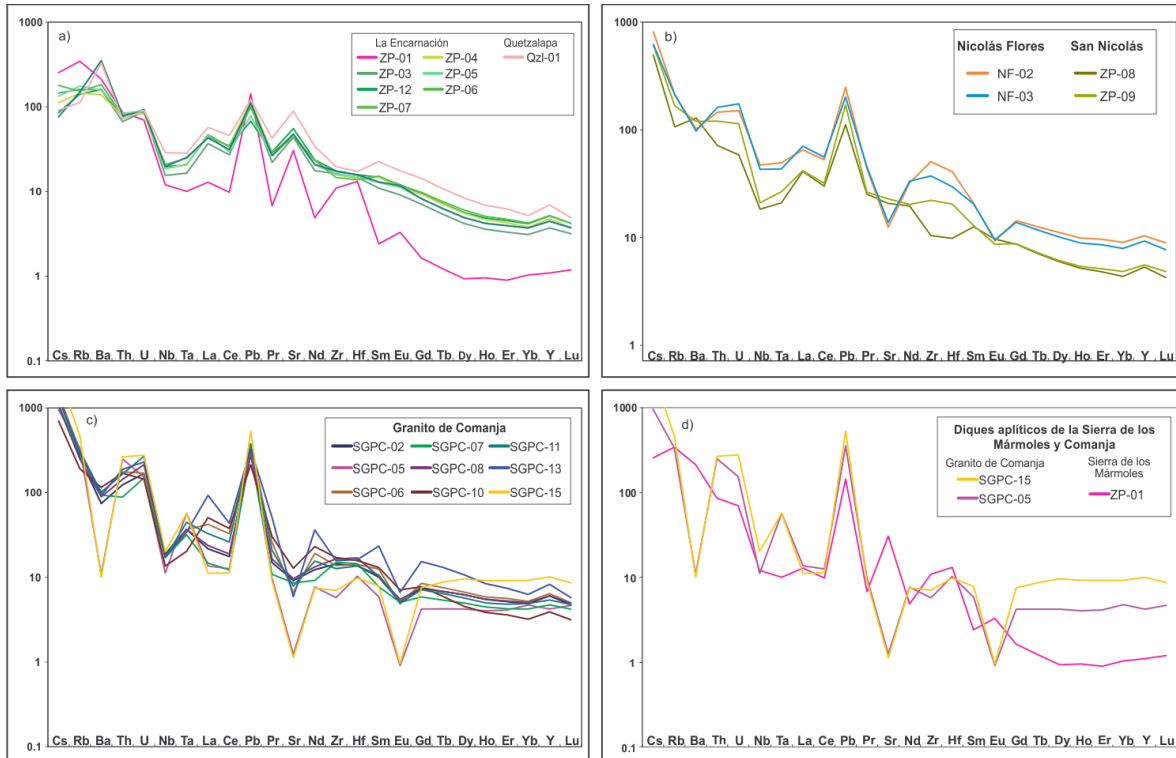
Las muestras del Oligoceno tardío de Nicolás Flores (NF), con contenidos de SiO<sub>2</sub> similares a los de las muestras de La Encarnación y San Nicolás, se caracterizan por contenidos más altos de Cr, Rb, Nb, La, Yb y Pb y contenidos más bajos de Sr y Ba. Particularmente destacan los altos contenidos de Nb (30.7 y 33.7 ppm),

En diagramas multielementales normalizados en la composición del manto primitivo (Sun y McDonough, 1989) se pueden sintetizar las diferencias observadas en los contenidos de los elementos traza. Las muestras analizadas de los intrusivos del Eoceno temprano de La Encarnación y Quetzalapa (Fig. 4.42a) presentan patrones relativamente similares, con pendientes negativas, enriquecimiento en elementos de radio iónico grande (*Large Ion Lithophile Elements* - LILE) como Rb y Ba, en comparación con elementos de alto potencial iónico (*High Field Strength Elements* - HFSE) como Nb y Ta. En la muestra de Quetzalapa se observa además una ligera anomalía positiva en los HFSE Hf y Zr. Se observan anomalías positivas de Ba, Pb y Sr y negativas de Nb y Ta. El comportamiento de los REE en las muestras es similar, con una disminución continua de La a Yb, sin anomalías y con valores ligeramente mayores para la muestra Qzl-01, pero con pendiente similar.

Los patrones de elementos trazas para el Granito Comanja se caracterizan por ser relativamente homogéneos en todas las muestras (Fig. 4.42c), con un enriquecimiento más marcado en los elementos más incompatibles Cs, Th, U y abundancias de Nb ligeramente menores, con anomalía negativa de Nb-Ta. A diferencia de las rocas de La Encarnación y Quetzalapa, de edad similar, presentan enriquecimiento en Cs, anomalías negativas de Ba, Sr, y Eu, así como pronunciadas anomalías positivas de Pb. Por otra parte, los elementos Nb y Ta muestran fraccionamiento, con abundancia de Ta marcadamente mayor a la de Nb.

Los elementos trazas para los diques aplíticos de ambas localidades (La Encarnación y Granito Comanja) se agruparon en la figura 4.42d. con el fin de visualizar las diferencias.

En general, allí se pueden observar anomalías positivas de Pb bien desarrolladas en todas las muestras. Los diques del Granito Comanja (Sgpc) presentan marcadas anomalías negativas de Ba, Sr y Eu, que están ausentes en el dique de La Encarnación, el cual incluso presenta una anomalía positiva de Eu. Además, presentan enriquecimiento de Ta respecto a Nb, mientras que en La Encarnación se tiene el caso contrario con ligero empobrecimiento de Ta respecto a Nb. Otra diferencia notable es el empobrecimiento de REE media y pesadas en el dique de La Encarnación.



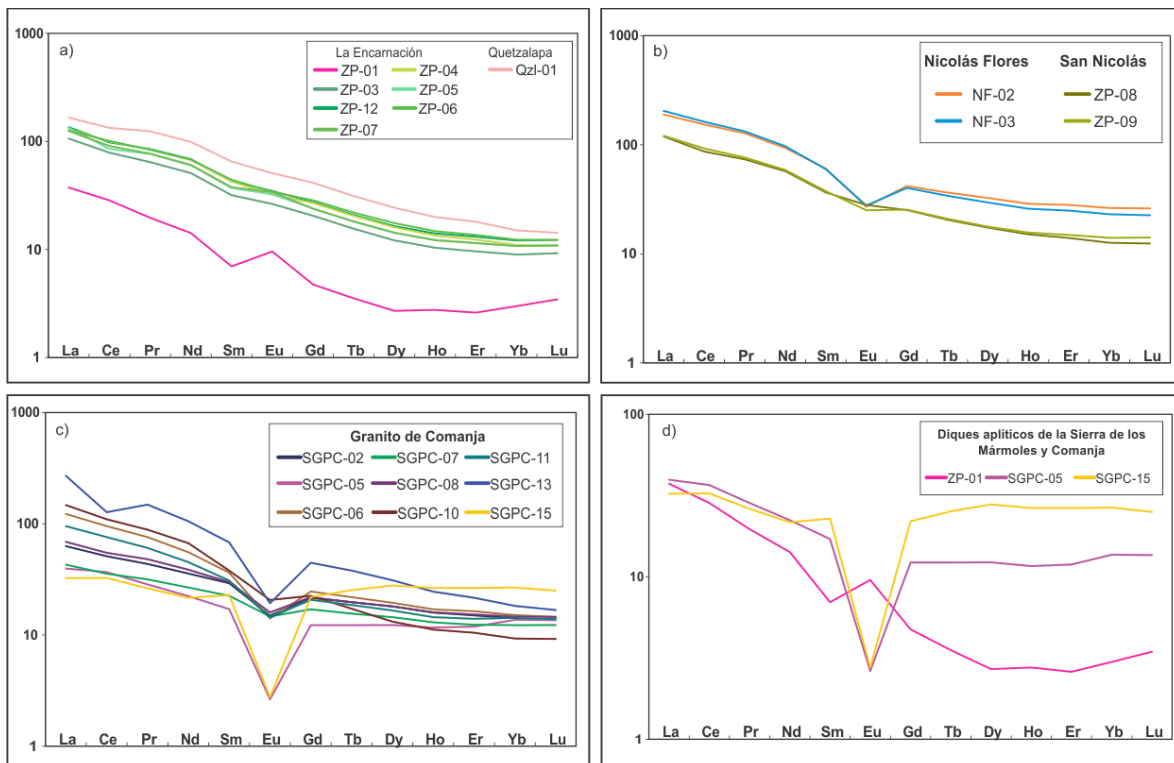
**Figura 4.42** Diagramas multielementales de los intrusivos de La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás, Nicolás Flores y Granito Comanja. Los análisis se normalizaron a valores del manto primitivo de Sun y McDonough, (1989). a) Muestras de los intrusivos de La Encarnación y Quetzalapa. b) Muestras de los intrusivos de San Nicolás y Nicolás Flores. c) Muestras del Granito Comanja. d) Muestras correspondientes a los diques aplíticos de La Encarnación y Granito Comanja

Las muestras del Eoceno medio de la zona de San Nicolás (Fig. 4.42b) presentan, como el resto de las muestras, una anomalía positiva de Pb, y se distinguen por estar enriquecidas en Cs, por la ausencia en una anomalía de Sr, y por presentar comportamiento variable de Zr y Hf, con anomalías tanto positivas como negativas.

Por último, los intrusivos de Nicolás Flores se caracterizan por un enriquecimiento de Cs respecto a Rb, anomalías negativas de Nb-Ta, a valores más altos de esos elementos que hacen que la anomalía aparezca menos desarrollada. También muestran anomalías negativas de Ba, Sr y Eu, anomalías positivas de Pb y Zr-Hf, así como abundancias más altas de REE respecto a otras muestras de la región de Hidalgo (Fig. 4.42b).

#### 4.5.3 Elementos de las tierras raras (REE)

Los patrones de los contenidos de REE, normalizados a valores de condrita de Sun y McDonough (1989), se presentan en la figura 4.43a-d. Todas las muestras presentan enriquecimiento en elementos de tierras raras livianas (LREE) con respecto a las tierras raras pesadas (HREE), pero se observan diferencias tanto en el enriquecimiento de LREE/HREE y MREE/HREE, como en el desarrollo de una anomalía de Eu (Fig. 4.43 y 4.45).



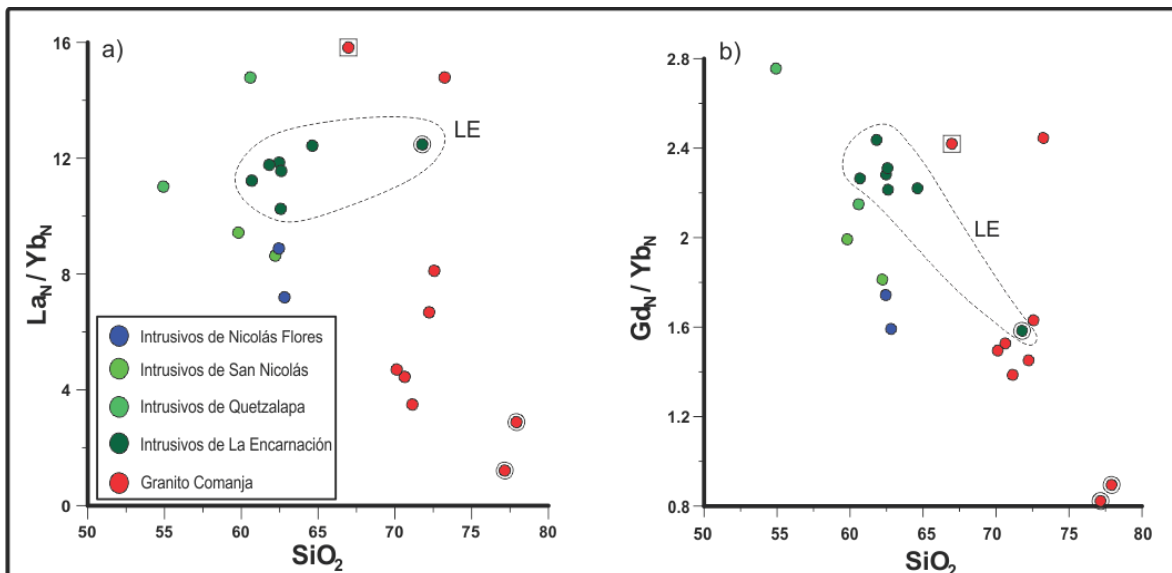
**Figura 4.43** Diagramas de tierras raras REE de los intrusivos de La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás, Nicolás Flores y Granito Comanja. Los análisis se normalizaron a valores de la condrita de Sun y McDonough (1989). a) Muestras de los intrusivos de La Encarnación y Quetzalapa. b)



Muestras de los intrusivos de San Nicolás y Nicolás Flores. c) Muestras del Granito Comanja. d) Muestras correspondientes a los diques aplíticos de La Encarnación y Granito Comanja

El enriquecimiento de las LREE respecto a las HREE se evaluó con la relación  $La_N/Yb_N$  (Fig. 4.44a). Las rocas de La Encarnación y Quetzalapa tienen valores relativamente constantes (10.3-12.5), aun en las muestras más diferenciadas, con una ligera tendencia a aumentar con el contenido de  $SiO_2$ . En cuanto a las muestras del Granito Comanja, estas tienen valores muy variables, desde relativamente altos (14.8 y 15.8) para la muestra sgpc-13 y el dique granodiorítico sgpc-10 y valores muy bajos para los diques aplíticos (0.8, 0.9), y con el resto de las muestras con valores intermedios (3.5 - 8.1). En parte, esas diferencias resultan de variable grado de enriquecimiento en las LREE en el Granito Comanja. Los diques de este intrusivo presentan características particulares, con patrones de REE sub-horizontales, LREE empobrecidas y HREE con concentraciones similares o más altas con respecto a los cuerpos principales (Fig. 4.43d). Por último, las rocas más jóvenes de San Nicolás y Nicolás Flores tienen valores intermedios de la relación  $La_N/Yb_N$  (8.9 – 11.0).

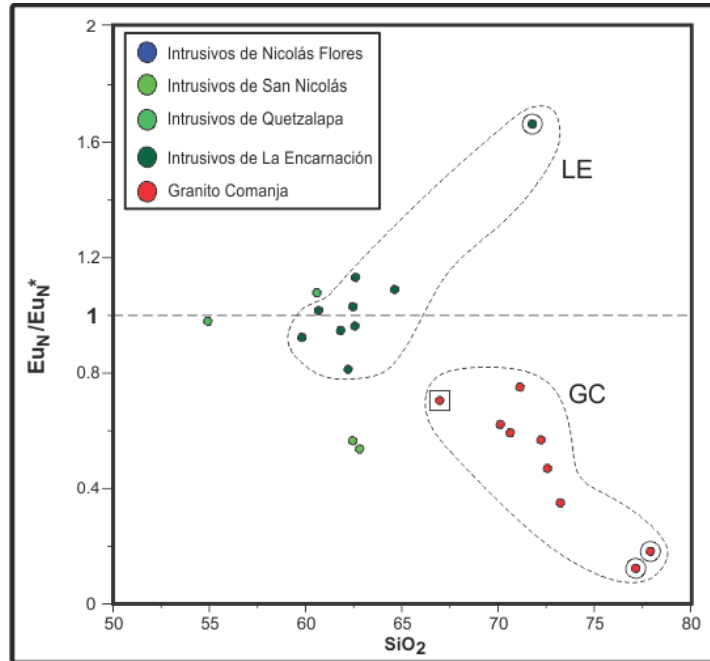
El enriquecimiento de las MREE/HREE, evaluado con la relación  $Gd_N/Yb_N$  (Fig. 4.44b), presenta tendencias similares a las observadas para  $La_N/Yb_N$ , excepto por la tendencia que se observa en las muestras de La Encarnación hacia menores valores al aumentar el contenido de  $SiO_2$ . El valor más bajo corresponde al dique aplítico que presenta un patrón cóncavo hacia arriba entre las MREE y las HREE.



**Figura 4.44** Diagramas de variación de algunos elementos trazas, usando como índice de diferenciación el contenido de SiO<sub>2</sub>. a) Relación de tierras raras REE livianas vs pesadas (La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>). b) Relación entre tierras raras medias y pesadas (Gd<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>). Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja. La encarnación (LE), Granito Comanja (GC).

El grado de desarrollo de las anomalías de Eu se evaluó con el parámetro  $Eu/Eu^*$ , con  $Eu^* = (Sm \times Nd)^{1/2}$  (Figs. 4.43 y 4.45). Entre las rocas del Eoceno temprano, las de La Encarnación-Quetzalapa tienen un comportamiento muy distinto a las del Granito Comanja. Las muestras del cuerpo principal de La Encarnación y Quetzalapa tienen valores de  $Eu/Eu^*$  de 0.95-1.13, que indican ligeras anomalías negativas a anomalías positivas de Eu, mientras que la muestra con el mayor contenido de sílice (dique aplítico) tiene anomalías claramente positivas con  $Eu/Eu^*$  de 1.66. Por el contrario, el Granito Comanja se caracteriza por valores de  $Eu/Eu^*$  más bajos (0.35–0.75), alcanzando valores de 0.12 y 0.18 en los diques aplíticos, con mayor contenido de sílice, que se reflejan en anomalías negativas marcadas en Eu. Cabe resaltar nuevamente la diferencia que presenta la muestra sgpc-13, que además de tener un valor alto en LREE/HREE y anomalía negativa de Eu, presenta una anomalía negativa en Ce.

El intrusivo del Eoceno medio de San Nicolás tiene valores ligeramente menores a los de La Encarnación (0.81–0.92), que en el patrón de REE se aprecia como una anomalía negativa de Eu muy pequeña. Finalmente, el intrusivo oligocénico de Nicolás Flores tiene valores de  $Eu/Eu^*$  aún menores (0.54–0.57), indicando anomalías negativas bien desarrolladas.



**Figura 4.45** Diagrama de variación de la anomalía de Eu vs el contenido de SiO<sub>2</sub> calculada a partir de resultados de química de roca total.  $Eu^* = Eu_N / (Sm_N + Gd_N)^{1/2}$ . Las muestras encerradas por círculos representan diques aplíticos. Las muestras encerradas por el cuadrado representan el dique de composición granodiorítica del Granito Comanja (GC); La Encarnación (LE).

## 5 Discusión

Los intrusivos del Eoceno constituyen un grupo de rocas geoquímicamente poco estudiadas hasta el momento en México. En el presente trabajo nos enfocamos en la caracterización geoquímica y las condiciones fisicoquímicas de formación de los intrusivos localizados en la porción sur del centro de México en el Estado de Hidalgo (Sierra de los Mármoles y zonas aledañas) y en la Sierra de Guanajuato (Granito Comanja).

Las rocas de las zonas de estudio despliegan características diferentes en cuanto a su composición química, condiciones de  $P$ - $T$ - $fO_2$  de formación y evolución magmática. Esto es especialmente notorio para los intrusivos de la Sierra de Los Mármoles y el Granito Comanja que tienen edades de cristalización similares y fueron emplazados a latitud similar, a una distancia considerable de la paleotrinchera, pero separados entre ellos por una distancia de ca. 235 km. Cambios en la composición y condiciones de formación también se observan en el tiempo para los distintos eventos magmáticos identificados en la Sierra de Los Mármoles y zonas aledañas.

A continuación, se hará el análisis de los resultados de campo, petrografía, química mineral, geocronología, oxitermobarometría y geoquímica presentados en el capítulo anterior.

### 5.1 Eventos magmáticos del Eoceno-Oligoceno

Nuevas edades U-Pb en circones fueron obtenidas para los intrusivos del Estado de Hidalgo. Las características que presentan los cristales analizados (Capítulo 4.3), típicas de circones magmáticos, permiten considerar que los datos isotópicos obtenidos representan la edad de cristalización del circón y a su vez la edad de cristalización del magma. A partir de estos fechamientos permiten identificar dos eventos magmáticos del Eoceno.

El primero, corresponde a las rocas de La Encarnación y Quetzalapa, Hidalgo, con edades que van desde  $51.22 \pm 0.80$  hasta  $55.1 \pm 0.63$  Ma (tabla 5.1), ubicándolo en el Ypresiano. Estas nuevas edades se pueden considerar más confiables y precisas que las edades más jóvenes ( $47.8 \pm 2.4$  y  $51.7 \pm 2.6$  Ma; [JICA, 1983](#)), determinadas por el método K-Ar en roca total para los intrusivos del área de La Encarnación y que presentan problemas con la retención de Ar en roca total.

<b>Tabla 5.1</b> Edades isotópicas reportadas para La Sierra de Los Mármoles				
Autor	Mineral	Método	Edad (Ma)	
JICA (1983)	La Encarnación	Roca total	K-Ar	51.7 ± 2.6
				50.9 ± 2.5
				47.9 ± 2.4
				47.8 ± 2.4
San Nicolás Nicolás Flores	Roca total	K-Ar	40.5 ± 2.0	
	Roca total		K-Ar	23.2 ± 1.2
			U-Pb LA-ICPMS	42.4 <sup>+0.6</sup> / <sub>-0.9</sub>
Cuellar-Cárdenas et al. (2012)	SDMEP	Circón		51.22 ± 0.80
En este trabajo	La Encarnación	Circón	U-Pb LA-ICPMS	52.57 ± 1.01
				51.77 ± 0.76
				54.18 ± 0.92
San Nicolás	Circón	U-Pb LA-ICPMS	41.9 ± 0.52	
Quetzalapa	Circón	U-Pb LA-ICPMS	55.10 ± 0.63	
Nicolás Flores	Circón	U-Pb LA-ICPMS	29.90 ± 0.49	

Modificado de JICA (1983) y Cuellar-Cárdenas et al. (2012); SDMEP: Sector minero Encino Prieto, Hidalgo

Para las rocas del Granito Comanja en este trabajo no se obtuvieron edades, debido a que han sido publicados suficientes datos (tabla 5.2). Edades de cristalización obtenidas para diferentes facies del Granito Comanja con el método U-Pb en circones permitieron establecer un rango de edades relativamente estrecho entre  $49.5 \pm 0.8$  y  $52.6 \pm 0.5$  Ma (Botero-Santa et al., 2015; Ruiz-González, 2015; Ángeles-Moreno et al., 2017; Nieto-Samaniego et al., 2019), que también corresponde al Eoceno temprano (Ypresiano). Otras edades reportadas para el Granito Comanja son más dudosas por tener errores muy grandes (edades K-Ar) o por corresponder a edades de enfriamiento (Ar-Ar en biotita y ortoclasa) más antiguas que las edades de cristalización obtenidas mediante U-Pb en circón (tabla 5.2).

El segundo evento del Eoceno se localiza en la zona de San Nicolás, Hidalgo. La edad obtenida ( $41.95 \pm 0.52$  Ma) ubica a este evento en el Eoceno medio (Luteciano). Esa edad coincide dentro del error con las edades de  $40.5 \pm 2.0$  Ma (K-Ar, roca total) y  $42.4 \pm 0.6 / -0.9$  Ma (U-Pb, circón) reportadas para este cuerpo por JICA (1983) y Cuellar-Cárdenas et al. (2012), respectivamente (tabla 5.1).

Adicionalmente, en el área de Nicolás Flores, Hidalgo, se identificó un evento intrusivo del Oligoceno tardío (Chattiano) con una edad de  $26.9 \pm 0.49$  Ma. Para esta zona, JICA (1983)

reportó una edad de  $23.2 \pm 1.2$  (K-Ar, roca total) para una cuarzo-monzonita, probablemente perteneciente al mismo cuerpo intrusivo.

<b>Tabla 5.2</b>		Edades isotópicas reportadas para el Granito de Comanja		
Autor	Mineral	Método	Edad (Ma)	
Música-Mondragón y Jacobo-Albarrán (1983)	Biotita	K-Ar	55.0 ± 4	
			58.0 ± 5	
Stein et al. (1994)	Biotita	K-Ar	52.9 ± 2.7	
			51.0 ± 1.3	
Botero-Santa et al. (2015)	Biotita	Ar-Ar	53.1 ± 0.3	
	Ortoclasa	Ar-Ar	53.6 ± 0.73	
	Circón	U-Pb LA-ICPMS	51.7 ± 0.2	
Ángeles-Moreno et al. (2017)	Circón	U-Pb LA-ICPMS	51.0 ± 0.3	
			51.0 ± 0.6	
			49.5 ± 0.8	
Ruiz-González (2015)	Circón	U-Pb LA-ICPMS	51.0 ± 0.3	
Nieto-Samaniego et al. (2019)	Circón	U-Pb LA-ICPMS	52.6 ± 0.5	
	Apatito	U-Pb LA-ICPMS	54.1 ± 2.2	
	Apatito	Trazas de fisión	51.2 ± 2.4	

Modificado de Nieto-Samaniego et al. (2019)

En algunas muestras de La Encarnación se encontraron circones con edades del Cretácico Superior (ca. 71 Ma) que son interpretadas como antecristales y que representan evidencias de un proceso continuo de generación y emplazamiento de magma. Por otra parte, en la muestra zp-06 se determinó una edad concordante de ca. 236.7 Ma que se ubica en el Triásico Superior. La edad de este circón puede relacionarse con las edades reportadas para el arco continental del Paleozoico tardío - Triásico temprano (Torres et al., 1999; Rosales-Lagarde et al., 2005; Centeno-García et al., 2017), con afloramientos a ca. 100 km al E de la Sierra de los Mármoles. Sin embargo, Ortega-Obregón et al. (2015) consideran que la edad de este arco se ubica en el Carbonífero-Pérmico y que las edades menores a 240 Ma no son comunes.

Adicionalmente en la muestra zp-07 se obtuvo una edad de 916 Ma que corresponde al Neo-Proterozoico y podría estar relacionada con las edades reportadas para el pico de metamorfismo granulítico (ca. 983 Ma) del Gneis Huiznopala, en el estado de Hidalgo

(Ortega-Gutiérrez et al., 2018 y referencias incluidas), el cual aflora a ca. 45 km al ENE del área de la Sierra de los Mármoles.

En imágenes de catodoluminiscencia se puede apreciar que las edades de 236.9 y 916 Ma obtenidas corresponden a una mezcla entre núcleos y zonas de crecimiento de los circones resultando en edades de mezcla. Esto podría explicar que las edades obtenidas sean más jóvenes que las reportadas para el arco del Carbonífero-Pérmico y el Gneis Huiznopala, y apoya la idea de que representen herencias de un basamento antiguo en esta región del centro de México.

## 5.2 Condiciones P-T de cristalización

Las condiciones termobarométricas estimadas a partir de la composición de hornblenda magnésica muestran que los intrusivos del Eoceno temprano de La Encarnación (zp-12 y zp-07) cristalizaron a presiones y temperaturas menores ( $93 \pm 13.1$  a  $243 \pm 40$  MPa,  $725 \pm 23.6$  -  $813 \pm 18.2$  °C) que el Granito Comanja (Sgpc-02,  $189$  a  $287 \pm 28.7$  MPa,  $761 - 820 \pm 15.7$  °C). Adicionalmente, para cristales de magnesiohastingsita encontrados en la misma muestra de La Encarnación (zp-12) se obtuvieron presiones y temperaturas más altas ( $434$ - $546 \pm 39$  MPa,  $899$ - $932 \pm 10.8$  °C) que indican una cristalización temprana de hornblenda a niveles profundos. Por otra parte, con el geotermómetro de dos feldespatos se obtuvieron temperaturas notoriamente menores para La Encarnación ( $435 \pm 61$  °C a  $731 \pm 57$  °C) que para el Granito Comanja ( $689$  a  $803 \pm 22$  °C).

El intrusivo del Eoceno medio de San Nicolás (Zp-08) se distingue por presiones de Al en hornblenda ligeramente mayores ( $108$  a  $233 \pm 35$  MPa), a temperaturas similares ( $725 - 828 \pm 24.9$  °C) en comparación con las de La Encarnación del Eoceno temprano, mientras que las temperaturas de dos feldespatos son claramente más altas ( $747 - 917 \pm 43$  °C), lo que indicaría cristalización a mayor temperatura. Esto se puede observar en la composición de la plagioclasa que varía entre  $An_{40}$  y  $An_{60}$  (Fig. 4.18) y que representa las plagioclasas con mayor contenido de anortita.

En la figura 5.1 se muestran las condiciones de presión y temperatura de los eventos magmáticos del Eoceno temprano y medio. En ésta, se observa que un gran número de datos no corresponden a fases que cristalizan en el *solidus* granítico o tonalítico, que indicaría el nivel final de emplazamiento y cristalización del magma. Este comportamiento

es más notorio para la magnesiohastingsita de La Encarnación que cristalizó cerca al *liquidus* tonalítico y para las hornblendas del Granito Comanja que grafican a temperaturas y presiones muy por encima del *solidus*.

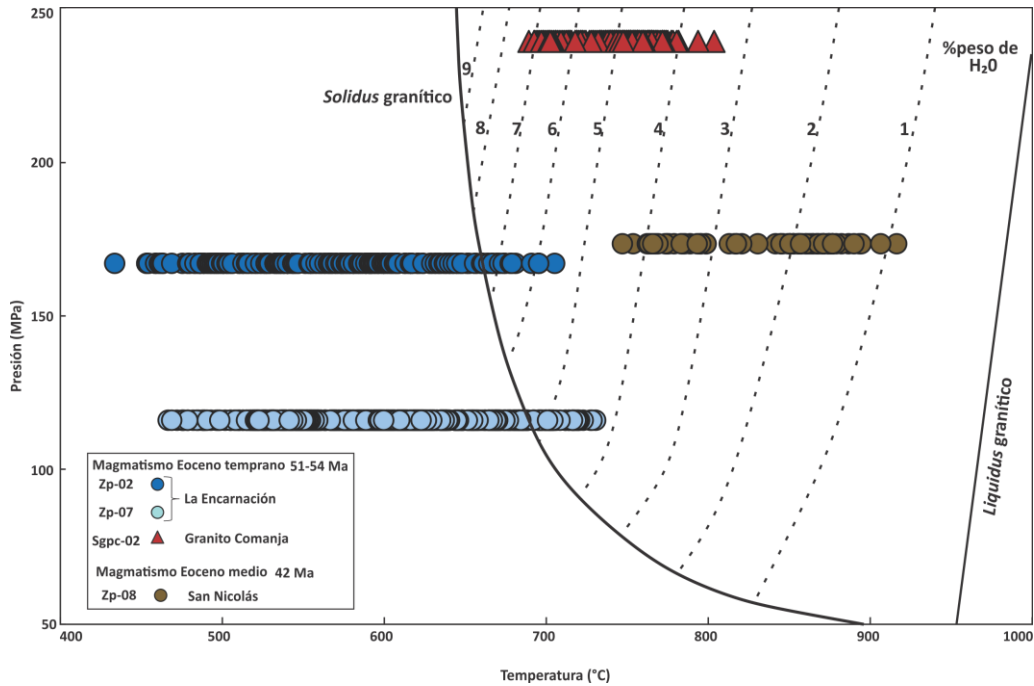
Las variaciones texturales que presentan los anfíboles y que se reflejan en el zoneamiento de algunos cristales con núcleos de magnesiohastingsita y bordes de hornblenda, podrían indicar cambios bruscos en la temperatura y la cristalización en un rango de  $P$ - $T$  durante el ascenso del magma, con presencia de cristales formados en niveles profundos en la corteza que posteriormente ascendieron con el magma hasta niveles de emplazamiento someros (Annen et al., 2006).

Se ha determinado que la cristalización de anfíboles ocurre cuando magmas de composición basáltica se emplazan en niveles inferiores de la corteza y evolucionan hasta el punto de saturación en anfíbol. Al cristalizar el magma aumenta su cristalinidad y viscosidad y se generan cúmulos de anfíbol en la corteza inferior (Barclay y Carmichael, 2004). Estos anfíboles de origen profundo pueden ser arrastrados por líquidos segregados de los magmas parcialmente cristalizados y servir de núcleos para un nuevo crecimiento de anfíbol a temperaturas más cercanas al *solidus* granítico/tonalítico, en niveles más someros de la corteza. (Dungan y Davidson, 2004; Turner et al., 2003; Davidson et al., 2007).

Las condiciones de baja temperatura obtenidas con el geotermómetro de dos feldespatos para La Encarnación podrían indicar procesos de cristalización tardía posteriores a la cristalización de la hornblenda, en niveles de emplazamiento final. Estos resultados son consistentes con la presencia de cristales de feldespato, plagioclasa y cuarzo relleno de espacios intersticiales (Capítulo 4.2) e indicarían procesos de cristalización en niveles de emplazamiento donde el enfriamiento fue rápido. De acuerdo con Anderson et al. (2008) los resultados de la termometría de dos feldespatos para plutones someros son consistentes con la temperatura del *solidus* granítico en un sistema saturado en agua (Fig. 5.1).

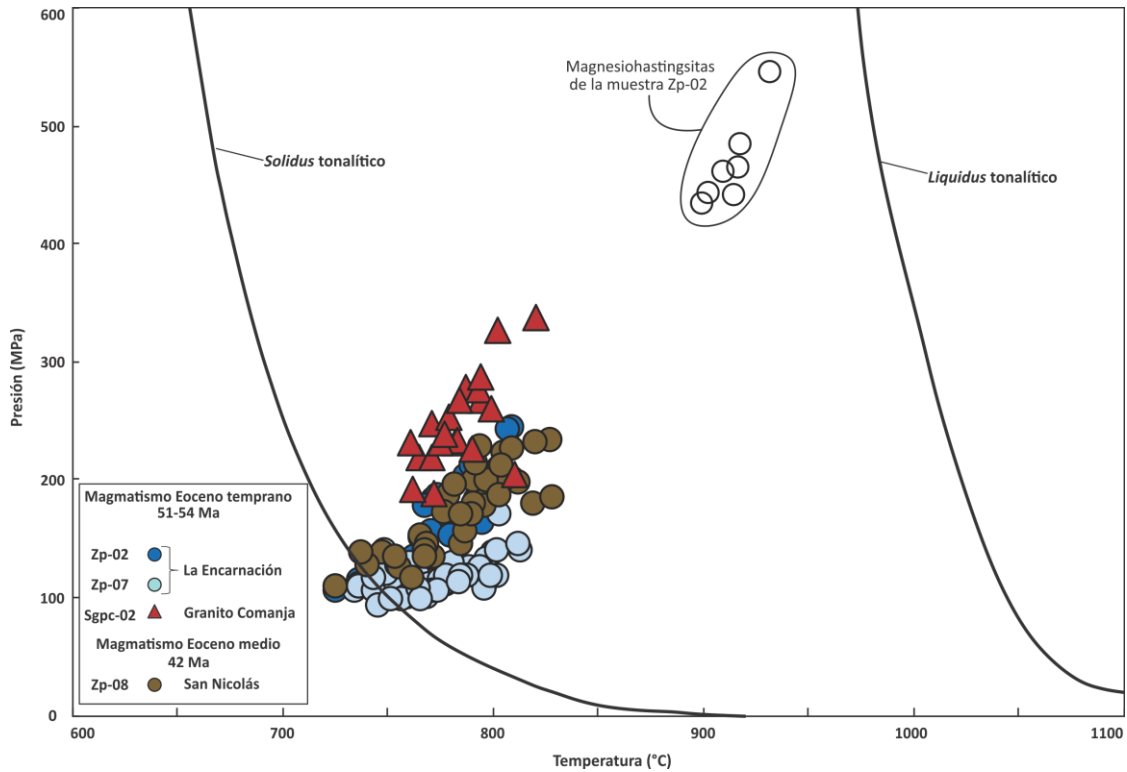
En el sistema tonalítico se considera que la plagioclasa es la primera fase mineral en el *liquidus* y que esta controla el proceso de fusión (Johannes y Holtz, 1996). Adicionalmente, para que exista la cristalización de hornblenda en estos magmas el contenido de agua debe estar alrededor de 3% en peso. Sin embargo, cuando el contenido de agua supera el 4% en peso, la hornblenda es la primera fase mineral en el *liquidus*, desplazando la cristalización de plagioclasa (Nédélec y Bouchez, 2015).





**Figura 5 1** Termometría de dos feldespatos de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. Presión calculada con la calibración de Mutch et al. (2016). Temperaturas obtenidas con la calibración de Putirka (2008). Las curvas de *solidus* y *liquidus* granítico para diferentes contenidos de agua modificadas de Johannes y Holtz (1996)

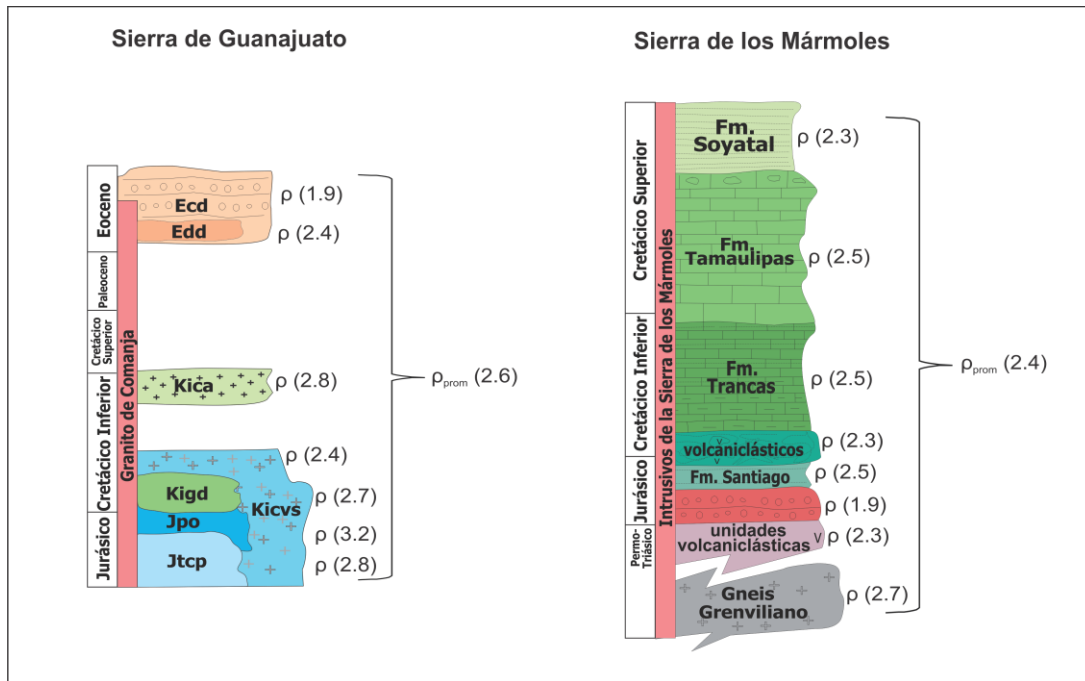
Por otro lado, el intervalo de temperatura obtenido con el termómetro de dos feldespatos para el Granito Comanja es solo ligeramente menor que la temperatura calculada a partir del termómetro de hornblenda y Ti en circón, indicando una posible cristalización temprana de la plagioclasa. Finalmente, en el evento del Eoceno medio, la temperatura calculada con el termómetro de dos feldespatos es mayor que la obtenida a partir de la composición de hornblenda e indica posibles procesos de cristalización temprana de la plagioclasa.



**Figura 5.2** Termobarometría en hornblenda de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. Presión calculada con la calibración de Mutch et al. (2016). Temperaturas obtenidas con la calibración de Ridolfi et al. (2010). Las curvas de *solidus* tonalítico modificadas de Johannes y Holtz, (1996).

### 5.3 Profundidad de cristalización

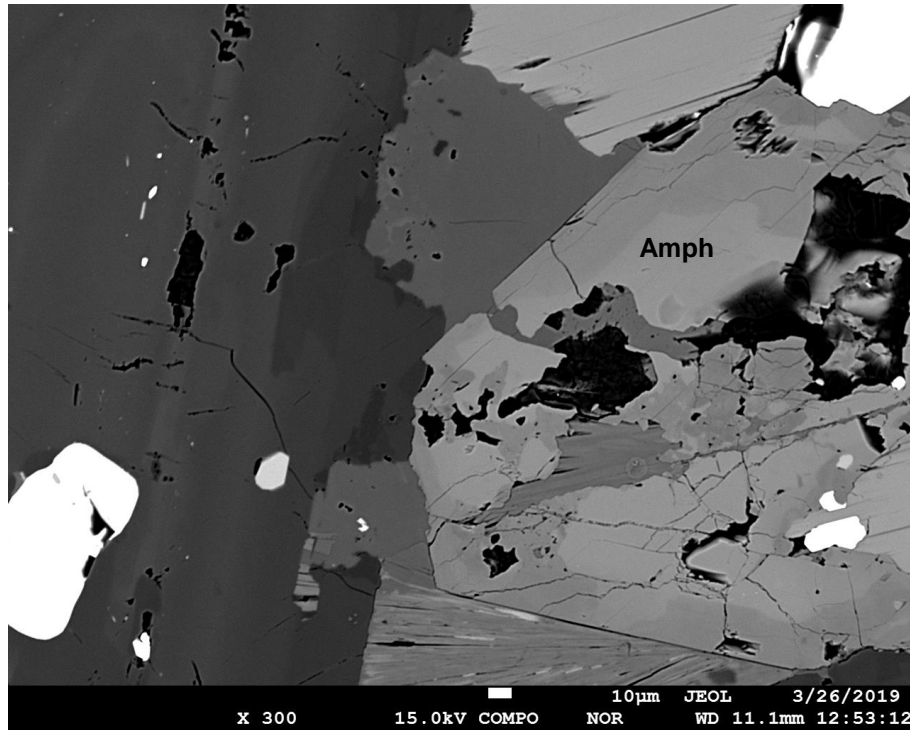
El cálculo de la profundidad de cristalización para los eventos magmáticos del Eoceno temprano y medio se hizo a partir de las presiones obtenidas con el geobarómetro de Al en hornblenda. La densidad media de la cobertura se estimó tomando en cuenta la columna de roca existente al momento de emplazamiento (Fig. 5.2). En La Encarnación el valor de densidad obtenido es de 2400 kg/m<sup>3</sup>, mientras para el Granito Comanja es de 2600 kg/m<sup>3</sup>.



**Figura 5.3** Columnas estratigráficas de las regiones Sierra de Guanajuato y Sierra de los Mármoles. Modificadas de Ángeles-Moreno (2018) y Fitz-Díaz et al. (2014).  $\rho$ : densidad;  $\rho_{prom}$ : densidad promedio. Jtcp: Tonalita Cerro Pelón; Jpo: Piroxenita San Juan de Otates; Kicvs: Complejo volcanosedimentario Sierra de Guanajuato; Kigd: Granodiorita Presa Duarte; Kica: Cuarzomozonita La Angostura; Edd: Diquestrato Duarte; Ecd: Conglomerado Duarte.

Las muestras de La Encarnación (zp-02 y zp-07) (Fig. 4.1) arrojaron profundidades entre 4-10.3 km y 4-7 km, respectivamente (Fig. 4.36). Adicionalmente las magneshastingsitas arrojaron valores entre 16 y 21 km. Para la muestra del Granito Comanja (sgpc-02), se obtuvo un valor de profundidad mínimo de 7.4 km y máximo de 13.2 km. Estos valores son los más altos obtenidos para rocas del evento de Eoceno temprano a partir de hornblenda magnésica. Finalmente, la profundidad de emplazamiento del intrusivo del evento del Eoceno medio de San Nicolás fue determinada para la muestra zp-08. Los valores obtenidos caen en el rango de 4.6 a 9.9 km.

En la figura 5.4 se muestra el zoneamiento que presentan los anfíboles analizados. Este cambio en la composición química de los cristales podría ser el resultado de procesos de cristalización polibárica que dieron como resultado el amplio rango de presión y profundidad.

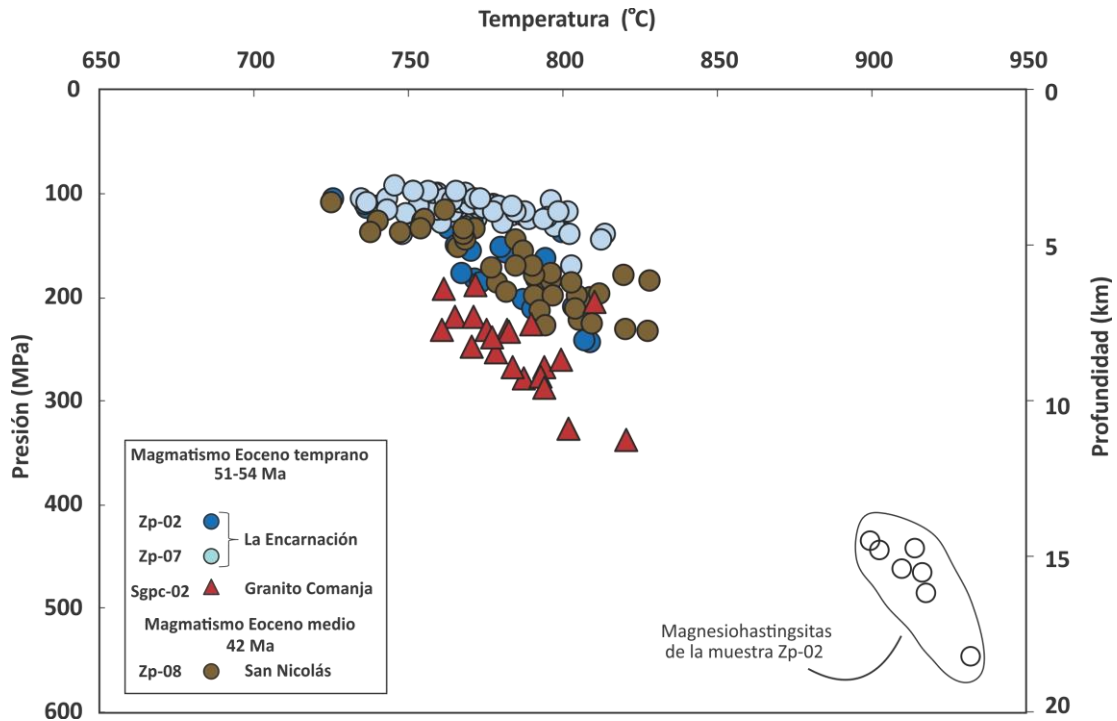


**Figura 5 4** Imagen de electrones retro-dispersados mostrando el zoneamiento de los anfíboles de las muestras de La Encarnación.

En la figura 5.5 se presentan las condiciones de profundidad y temperatura para los eventos magmáticos de Eoceno temprano y medio. Si se considera que las variaciones en profundidad y temperatura tienen su origen en una cristalización a condiciones de  $P-T$  variable durante el ascenso del magma, las profundidades menores registradas representan el nivel final de emplazamiento y cristalización. Para la región de Hidalgo estas profundidades serían más someras (4-5 km) para los intrusivos del Eoceno temprano y medio, mientras que para el Granito Comanja serían más profundas (ca. 7 km). Los valores de presión y profundidad obtenidos para el Granito Comanja son similares a los reportados por [Nieto-Samaniego et al. \(2019\)](#) de 150 a 390 MPa y profundidad de  $7.0 \pm 1.1$  km, basados en el promedio de los datos de presión.

La estructura de la corteza en la SMO se ha interpretado basándose en estudios gravimétricos ([Kerdan, 1992](#)). En estos modelos construidos a partir de las densidades propuestas por modelos sísmicos ([Meyer et al., 1958](#); [Fix, 1975](#); [Rivera y Ponce, 1986](#)) se documenta el espesor de la corteza en ca. 37 km ([Nieto-Samaniego et al., 1999](#)). Los dos niveles de cristalización registrados por hornblenda en La Encarnación indicarían la

evolución del magma desde una cámara magmática profunda en la base de la corteza superior (16-21 km) hasta un reservorio somero (4–10 km).

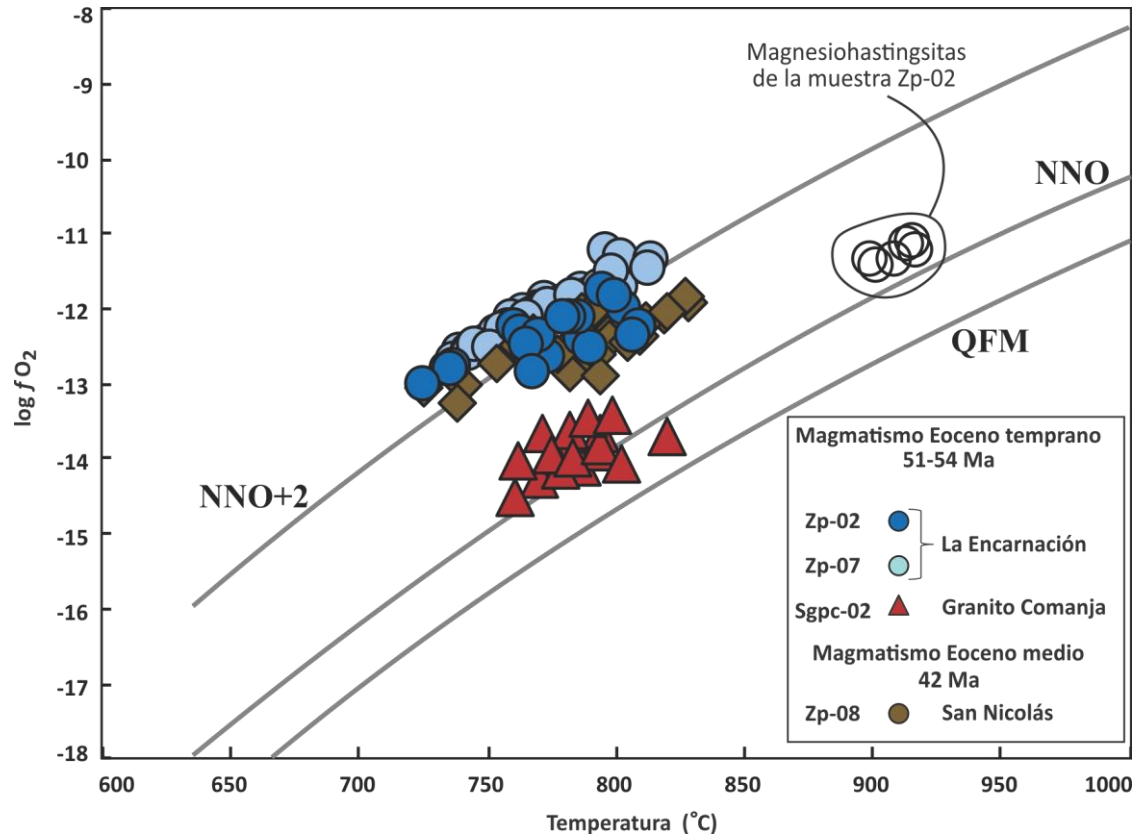


**Figura 5.5** Variación de las condiciones *P-T* - profundidad de los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. Mg-Hst: anfíboles de composición Magnesiohastingsita.

#### 5.4 Condiciones redox de cristalización

Las condiciones redox que intervienen durante la evolución de un magma tienen gran importancia en la evolución magmática, ya que influyen en la secuencia de cristalización, fraccionamiento de fases y por lo tanto en la composición de los magmas residuales.

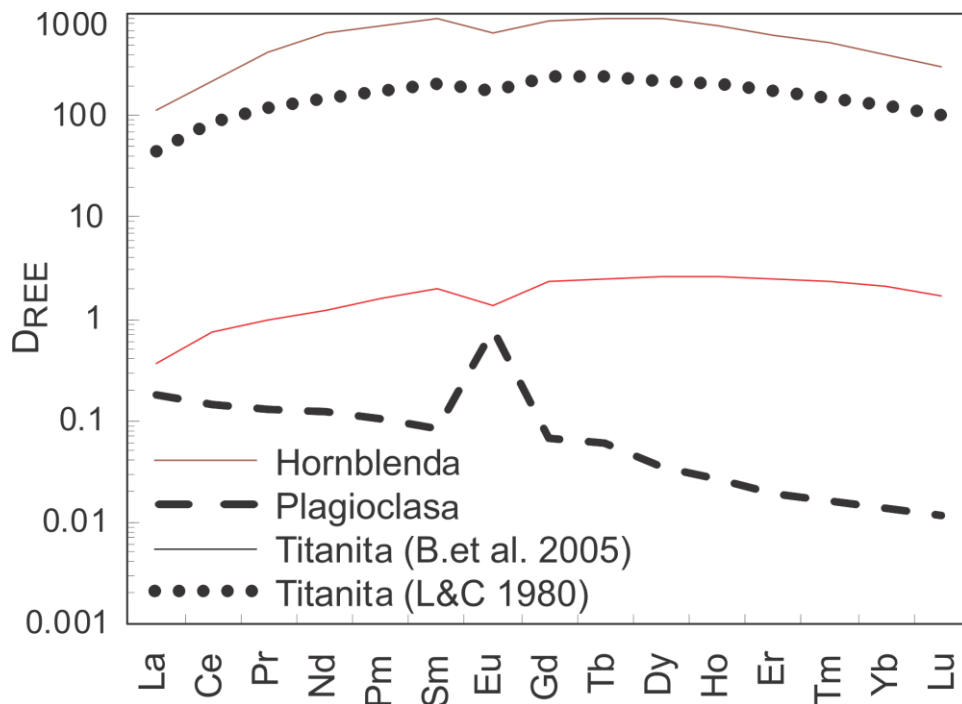
En la figura 5.6 se muestra la variación del  $\log fO_2$  con la temperatura. Se observa que las rocas del Eoceno temprano de La Encarnación y las rocas del Eoceno medio de San Nicolás cristalizaron bajo condiciones más oxidadas entre NNO y NNO+2. Los cristales de mayor temperatura, correspondientes a Magnesiohastingsita de la muestra zp-02 cercanos a NNO, representan las condiciones menos oxidantes para este grupo de muestras. Así mismo, las rocas del Granito Comanja cristalizaron en condiciones más reductoras que las rocas de La Encarnación, cercanas al *buffer* de níquel óxido de níquel (NNO).



**Figura 5.6** Variación del  $\log fO_2$  con la temperatura para los intrusivos de La Encarnación, San Nicolás y Granito Comanja. NNO+2: buffer de níquel-óxido de níquel (+2); NNO: buffer de níquel-óxido de níquel; QFM: Buffer cuarzo-fayalita-magnetita.

Las condiciones *redox* de los magmas fueron también exploradas a partir de la composición de cristales de circón. Estudios experimentales han mostrado que la magnitud de las anomalías de Ce y Eu en circones varía en función de la  $fO_2$ , con anomalías positivas de Ce mayores y anomalías negativas de Eu menores en sistemas más oxidados, aunque la cristalización de otras fases que incorporan REE puede influir también en la composición del circón, el cual "hereda" la composición del magma del que cristaliza (Loader et al., 2017 y referencias incluidas). Como se reportó en la sección 4.3.2, los circones de rocas del Eoceno temprano de La Encarnación y Quetzalapa se caracterizan por anomalías negativas de Eu pequeñas, que en algunos casos pueden llegar a ser ligeramente positivas, mientras que las rocas del Granito Comanja y las rocas más jóvenes del Eoceno medio de San Nicolás y del Oligoceno de Nicolás Flores tienen anomalías negativas de Eu progresivamente mayores en el tiempo (Figuras 4.28 a 4.30).

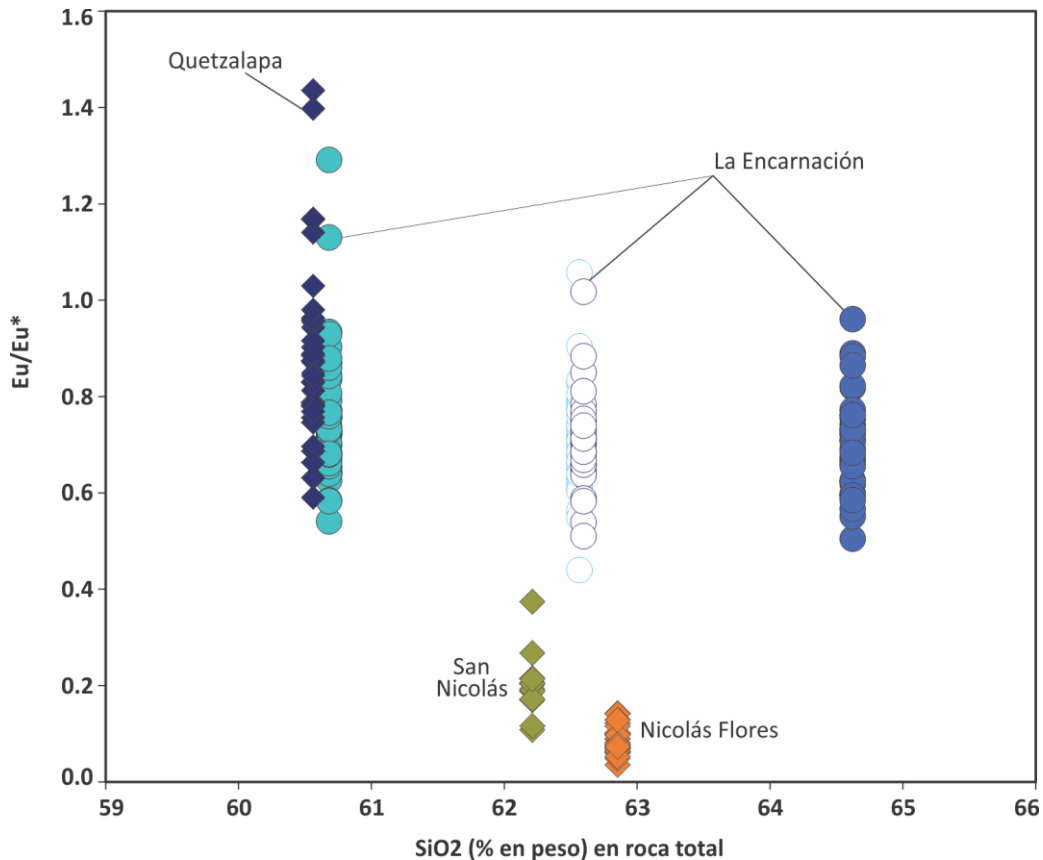
Comúnmente, las anomalías negativas de Eu se asocian a la cristalización y fraccionamiento de plagioclasa, ya que  $\text{Eu}^{2+}$  es más compatible en este mineral que las REE vecinas (Fig. 5.7) (Rollinson, 1993; Loader et al., 2017) y su cristalización empobrece al magma en ese elemento en relación con otras REE. El diagrama  $\text{SiO}_2$  en roca total vs.  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  (Fig. 5.8) en circones indica que la magnitud de la anomalía en los circones no se relaciona con el grado de diferenciación del magma, lo que sugiere que los magmas de los distintos grupos estudiados no evolucionaron por un único proceso.



**Figura 5.7** Coeficientes de partición determinados experimentalmente para tierras raras en circon, titanita, hornblenda y plagioclasa. modificado de Loader et al., (2017) y referencias incluidas.

Las anomalías de Eu negativas menos desarrolladas pueden indicar que la plagioclasa cristalizó tardíamente. Esto se sustenta por la presencia de plagioclasa como relleno intersticial y por las temperaturas menores de cristalización obtenidas para feldespatos de esas rocas (capítulo 4.2), que podrían indicar que la plagioclasa no fue una fase temprana en la secuencia de cristalización. Por el contrario, en la zona de San Nicolás se observan anomalías negativas aún mayores, que podrían evidenciar la cristalización más temprana de plagioclasa con respecto a las muestras de La Encarnación. Por otra parte, el  $\text{Eu}^{3+}$  es

más compatible en circón que el  $\text{Eu}^{2+}$ , por lo que una mayor cantidad de Eu podría entrar en este mineral a condiciones oxidantes reduciendo el tamaño de la anomalía.



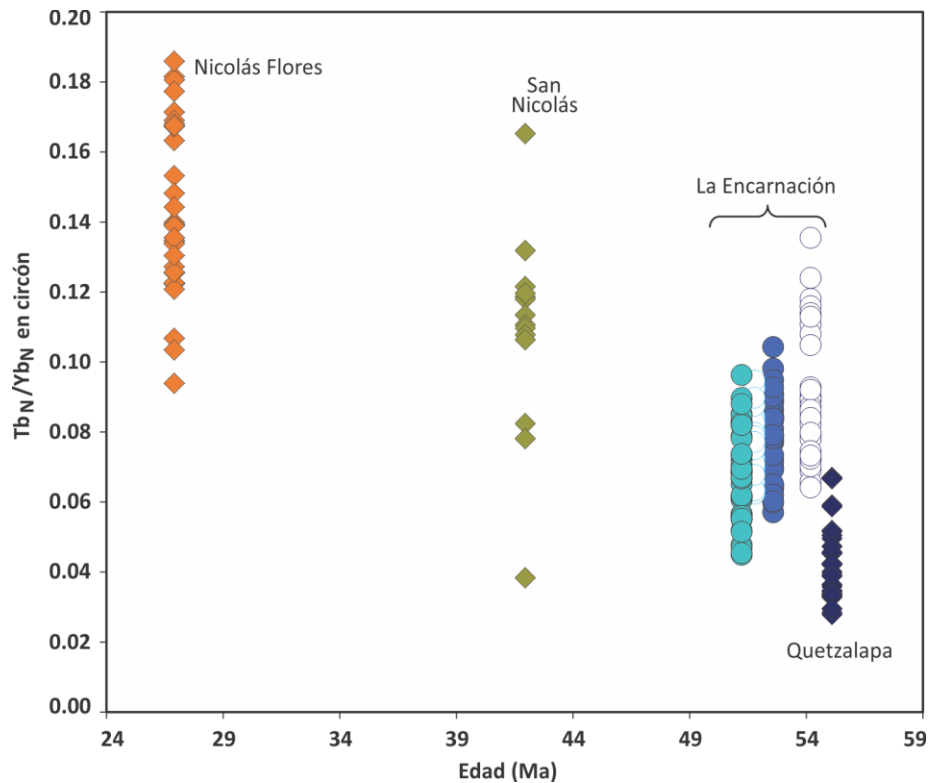
**Figura 5.8** Diagrama de variación de la anomalía de Eu versus el contenido de SiO<sub>2</sub> en circón para los intrusivos de La Encarnación-Quetzalapa, Nicolás Flores y San Nicolás.  $\text{Eu}_N/\text{Eu}_N^* = \text{Eu}_N / (\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)^{1/2}$ .

Otro factor que puede contribuir a la ausencia de anomalías negativas de Eu es la cristalización previa o simultánea de titanita. Este mineral es estable en magmas oxidados (Wones, 1989), y tiene coeficientes de partición (D) muy altos para las tierras raras (Fig. 5.7), aunque el Eu es menos compatible que los elementos vecinos Sm y Gd (Loader et al., 2017). Debido a esto, la cristalización de titanita enriquecería el magma en Eu con respecto a Sm y Gd, lo que podría explicar la ausencia de anomalías negativas e incluso la presencia de anomalías positivas de Eu en los circones de las rocas del Eoceno temprano que contienen abundante titanita euédrica, de probable cristalización temprana. Los coeficientes de partición de hornblenda siguen un patrón similar a los de titanita, aunque a valores



mucho menores y cercanos a 1 (Fig. 5.7), por lo que su cristalización no tendría un efecto notorio en el contenido de Eu del magma.

Además, debido al mayor coeficiente de partición de las REE medias (MREE) respecto a las HREE en titanita, la cristalización de este mineral resultará en menores valores de las relaciones MREE/HREE de los magmas. Este comportamiento se muestra para la relación  $Tb_N/Yb_N$  de circones de las rocas estudiadas en el Estado de Hidalgo (Fig. 5.9). Los circones de rocas del Eoceno temprano, con mayor abundancia de titanita, tienen valores menores de esta relación que los circones de las rocas del Eoceno medio en las que la titanita no es tan abundante, mientras que los circones de rocas del Oligoceno tardío, en las que no se observó titanita, tienen los valores más altos de esa relación.



**Figura 5.9** Variación de la relación  $Tb_N/Yb_N$  versus la edad en circon para los intrusivos de La Encarnación, Quetzalapa, San Nicolás y Nicolás Flores. Los análisis se normalizaron a valores del condrita de Sun y McDonough (1989).

Finalmente, las variaciones en el tamaño de la anomalía de Ce de circones (Fig. 4.35) se explica por la mayor compatibilidad de este elemento en circón en su forma oxidada ( $Ce^{4+}$ ) en comparación con las REE con estado de oxidación (+3), debido a que puede sustituir a  $Zr^{4+}$ . Por lo tanto, las anomalías positivas de Ce más desarrolladas en circones de La Encarnación y Quetzalapa indican también la cristalización de magmas más oxidados.

En resumen, de la información aportada por la  $fO_2$  calculada y la química de circones es consistente al establecer que los magmas del Eoceno temprano de La Encarnación y Quetzalapa (Hidalgo) evolucionaron en condiciones oxidantes, mientras que el granito de Comanja, de edad similar, evolucionó en condiciones más reductoras. Temporalmente, en los magmas emplazados en el Estado de Hidalgo se aprecia una evolución hacia condiciones cada vez más reductoras entre el Eoceno medio y el Oligoceno tardío.

## 5.5 Evolución Magmática

Los cuerpos intrusivos estudiados se componen de rocas con características mineralógicas y geoquímicas particulares. Los cuerpos son calcialcalinos (magnesianos) de alto potasio, con excepción de la sienta de Quetzalapa. Sin embargo, se pueden observar diferencias que permiten relacionarlos con procesos distintos de evolución magmática, controlados en gran medida por la fugacidad de oxígeno y el contenido de agua de los magmas. Con base en la composición de roca total se analizan los procesos que pudieron haber contribuido a la formación de los distintos cuerpos estudiados.

### 5.5.1 Eoceno Temprano

El evento magmático del Eoceno temprano se divide en dos unidades de acuerdo con las características mineralógicas y geoquímicas. La primera unidad corresponde a las rocas de composición intermedia y carácter metaluminoso de La Encarnación y Quetzalapa. Por otro lado, la segunda unidad se compone de rocas del Granito Comanja que son silícicas hiperaluminosas.

### 5.5.1.1 La Encarnación y Quetzalapa

Las rocas de esta unidad se destacan por la presencia de fases minerales que muestran composiciones, tamaños y texturas diversas entre sí (e.g hornblenda y plagioclasa). La plagioclasa presenta cambios composicionales entre  $An_{30-60}$ , zoneamientos, texturas de reacción (tamiz) y núcleos en parches. Por otro lado, las hornblendas al igual que las plagioclasas presentan cambios composicionales que se reflejan en dos etapas de cristalización (magnesiohastingsita y hornblenda, respectivamente).

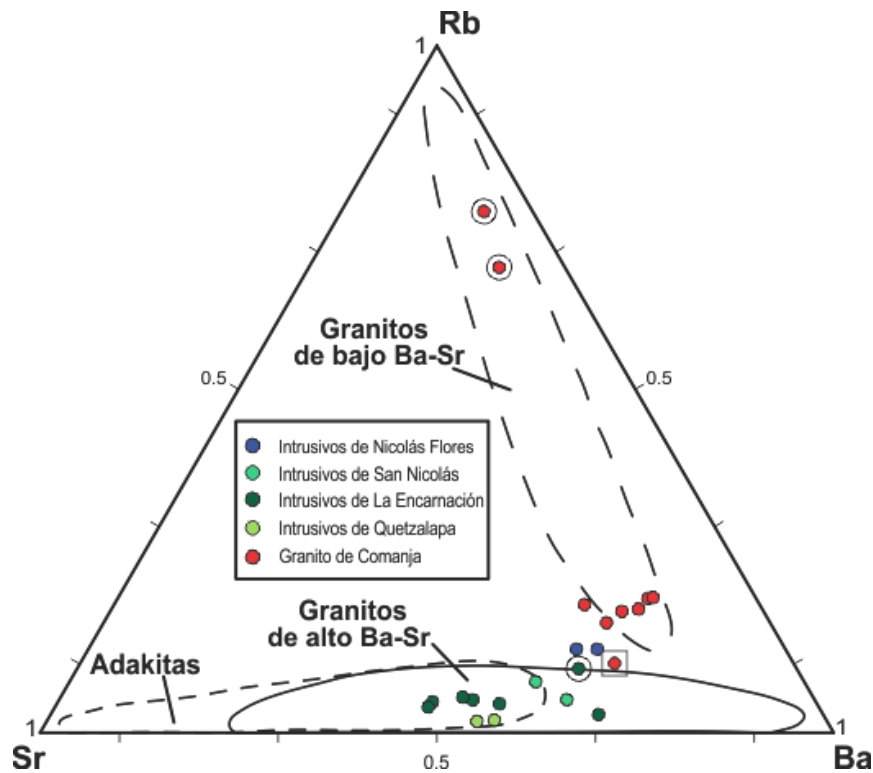
En los diagramas multielementales se observan anomalías positivas de Ba y Sr, y negativas de Nb-Ta, además de anomalías de Eu poco desarrolladas a positivas. La ausencia de anomalía negativa de Eu y las anomalías positivas de Sr indicarían escaso fraccionamiento de plagioclasa o una cristalización tardía como lo indican las bajas temperaturas calculadas con el geotermómetro de dos feldespatos. La cristalización tardía de plagioclasa podría relacionarse con altos contenidos de agua en el magma que inhibirían su cristalización ([Moore y Carmichel, 1998](#)).

Adicionalmente, se debe considerar que en magmas con mayor  $fO_2$  como los de la Encarnación y Quetzalapa (Fig. 4.35), una mayor proporción de Eu se encontrará como  $Eu^{+3}$ , que es incompatible en la plagioclasa, de tal manera que la cristalización de plagioclasa tendría un efecto menor en el contenido de Eu del magma. La muestra más diferenciada de La Encarnación (dique aplítico) presenta valores elevados en la relación Nb/Ta (Fig. 5.8) que se relacionan con el fraccionamiento de ilmenita y titanita, esto debido a la mayor compatibilidad del Ta en estas fases minerales ([Stepanov et al., 2014](#)).

Como se mencionó antes, los coeficientes de partición de las MREE son altos para la titanita y en menor medida para hornblenda, aunque el Eu es más incompatible que las REE vecinas (Fig. 5.7). Por lo tanto, la incorporación preferente de MREE dentro de titanita (y hornblenda) que fracciona del magma, resultara en patrones de REE cóncavos hacia arriba ([Glazner, 2008](#)), tal como se observa en los diques aplíticos de la Encarnación. De forma análoga al circón, el empobrecimiento de MREE producto del fraccionamiento de hornblenda y titanita resulta en anomalías positivas de Eu en líquidos residuales. Cabe resaltar que la proporción en la cristalización entre plagioclasa, hornblenda y titanita condicionará el tamaño de la anomalía de Eu. Por otra parte, la cristalización de titanita requiere condiciones de alta fugacidad de oxígeno (2 unidades logarítmicas por encima de

NNO) (Glazner, 2008 y referencias), lo cual es consistente con los valores más altos de  $fO_2$  calculados para las rocas de La Encarnación-Quetzalapa.

Los altos contenidos de Ba y Sr que despliegan las muestras de La Encarnación y Quetzalapa son característicos de granitoides de alto Ba-Sr definidos por Tarney y Jones (1994) (Fig. 5.10). Este tipo de rocas se caracterizan por la alta abundancia de titanita y apatito como minerales accesorios y coexisten con rocas máficas como apinitas y lamprófidos (Fowler y Henney, 1996; Fowler et al., 2001; Bruand et al., 2014). Además, estas rocas comparten algunas características con las adakititas (e.g. alto Sr/Y) pero se distinguen por pertenecer a la serie de alto potasio y tener relaciones de K/Na mayores.



**Figura 5 10** Diagrama ternario Sr-Ba-Rb (Tarney y Jones, 1994). Los campos para granitoides de alto Ba-Sr y bajo Ba-Sr se basan en los datos propuestos por Fowler y Henney (1996) y Fowler et al., (2001).

El estudio de los granitoides de alto Ba-Sr ha sido un tema de debate desde su clasificación (Tarney y Jones, 1994). Diversos mecanismos petrogenéticos se han propuesto para su origen: (1) fusión parcial de corteza oceánica subducida; (Tarney y Jones, 1994); (2) fusión

parcial de magmas de composición máfica acrecionados a la base de la corteza (Tarney y Jones, 1994; Ye et al., 2008); (3) fusión parcial del manto litosférico metasomatizado por magmas carbonatíticos (Tarney y Jones, 1994); (4) fusión parcial de un manto litosférico modificado por componentes de subducción y evolución de los magmas generados por procesos de asimilación cortical y cristalización fraccionada (Fowler et al., 2001; 2008).

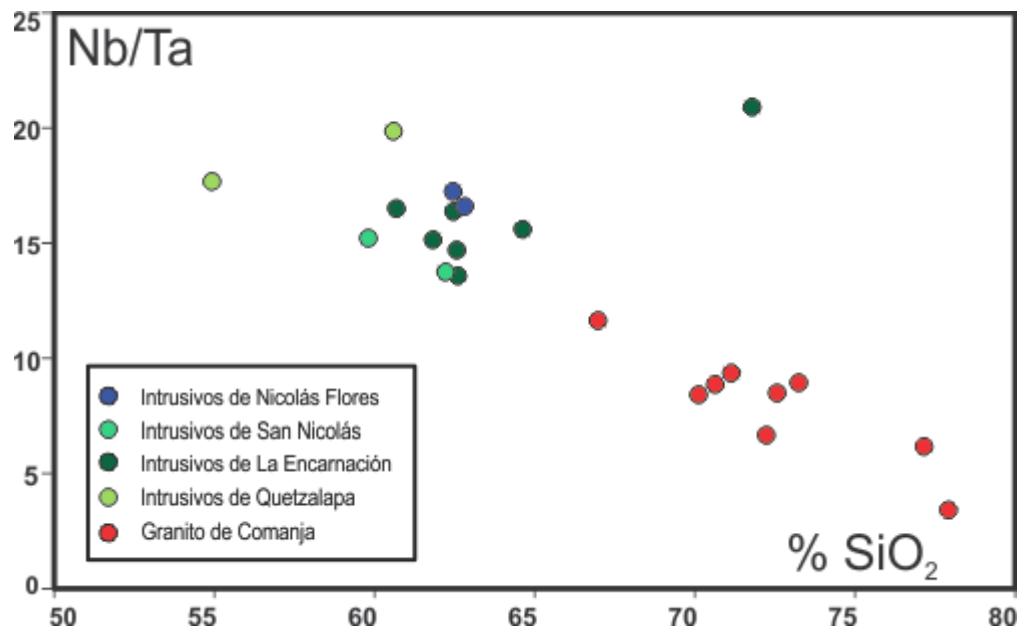
Los modelos descritos anteriormente implican diferentes fuentes, además de condiciones geodinámicas distintas. La fusión parcial de rocas basálticas, ya sea de una placa oceánica subducida o de la base de la corteza, genera rocas de tipo adakítico, entre cuyas características geoquímicas se destaca la relación K/Na (valor de 0.5. Martin, 1999). Sin embargo, en los intrusivos de La Encarnación-Quetzalapa la relación es mayor (entre 0.69 y 2.81), esta característica permite descartar la fusión parcial de una placa oceánica subducida o de corteza de composición máfica como posible fuente de los magmas de alto Ba-Sr.

Por otra parte, la fusión parcial del manto litosférico enriquecido por magmas carbonatíticos tendría como resultado magmas con alto contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (>4 wt%, Ünal y Altunkaynak, 2018 y referencias) que no es el caso de las rocas de La Encarnación-Quetzalapa donde el contenido es menor a 0.4 wt%. Finalmente, la fusión parcial de una fuente en un manto rico en anfíboles y libre de plagioclasa, metasomatizado por componentes sedimentarios durante procesos de subducción (Fowler et al., 2008) y la posterior evolución por AFC es capaz de generar las características elementales de los intrusivos de alto Ba-Sr como los de La Encarnación-Quetzalapa donde el enriquecimiento en elementos incompatibles y las anomalías de Nb-Ta, son consistentes con magmas formados con la participación de componentes de subducción (Pearce, 1982; Pearce et al., 1990).

#### 5.5.1.2 Granito Comanja

El Granito Comanja se caracteriza por el alto contenido de feldespato potásico con texturas de exsolución (pertitas), plagioclasa de composición homogénea An<sub>8-36</sub> con zoneamientos, biotita, y en menor proporción hornblenda. Estos dos últimos formando clots que podrían representar evidencias de procesos de mezclas entre magmas (Hibbard, 1995; Choe y Jwa, 2004). Adicionalmente, cabe resaltar la ausencia de titanita en estas rocas y la presencia de abundantes vetas de turmalina.

En diagramas multielementales las muestras del Granito Comanja presenta anomalías negativas de Eu y Sr bien definidas, indicando fraccionamiento de plagioclasa en etapas tempranas, a temperaturas altas (Fig. 4.37), y condiciones de menor fugacidad de oxígeno (Fig. 5.6); por otra parte, el fraccionamiento temprano de plagioclasa apunta a contenidos menores de agua que favorece la cristalización de plagioclasa como fase del *liquidus* (Moore y Carmichel, 1998). La relación Nb/Ta presenta valores relativamente bajos (Fig. 5.11), se ha observado que esta relación disminuye durante la diferenciación a baja temperatura de los magmas graníticos debido al fraccionamiento de biotita, por ser el Ta más incompatible que el Nb en esta fase mineral (Stepanov y Hermann, 2013; Ballouard et al., 2016).



**Figura 5.11** Variación de la relación Nb/Ta versus el contenido de sílice de los intrusivos de Nicolás Flores, San Nicolás, La Encarnación, Quetzalapa y el Granito Comanja.

Las muestras más diferenciadas del Granito Comanja, representadas por diques aplíticos, tienen patrones de REE en forma de “gaviota”, con anomalía negativa marcada de Eu, patrones planos y alto contenido de MREE y HREE, así como marcadas anomalías negativas de Ba y Sr e Y (Figuras 4.42 y 4.43). Estas características son indicadoras de fraccionamiento temprano de plagioclasa, y feldespatos que empobrecen el magma en Eu,

Sr y Ba, así como ausencia de titanita entre las fases fraccionadas, lo que indica un origen en magmas secos y con  $fO_2$  lo suficientemente baja para suprimir la cristalización de titanita.

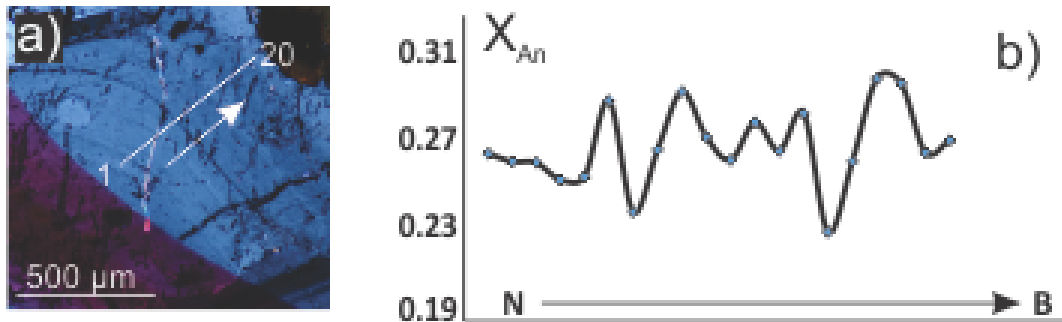
Las características antes mencionadas sugieren que las rocas del Granito Comanja evolucionaron por procesos de diferenciación magmática, que pueden resultar de la acción de diversos procesos, entre ellos la cristalización fraccionada, asimilación cortical y mezcla de magmas. (Cox, 1993, Nédélec y Bouchez, 2015). Estos procesos se consideran responsables de la mayoría de los cambios en la composición y evolución de los magmas, así como de características texturales que se observan en las rocas.

La cristalización fraccionada (CF) es un proceso de diferenciación que puede modificar la composición de un magma a través de la cristalización y precipitación de fases minerales (Bowen, 1928; Cox, 1993). El resultado de la CF (s.s.) son rocas con una distribución equigranular homogénea, con ausencia de cristales heredados, indicando procesos de cristalización a partir de un magma extraído del residuo cristalino (Cox 1993). Los patrones curvos en diagramas de variación de tipo Harker caracterizan la CF y reflejan el cambio en la composición del magma a través de la línea de descenso del líquido (*liquid line-of-descent*, Bowen 1928; Cox, 1979).

Por otro lado, la mezcla de magmas y la asimilación de material cortical resultan de la interacción entre dos magmas de composición diferente (e.g., félsico y máfico) o la incorporación de fragmentos de roca encajonante, respectivamente (Cox, 1993). Estos procesos modifican la composición original del magma, y generan cambios en la composición química de las fases minerales (e.g., plagioclasa) (Cox, 2013; Nédélec y Bouchez, 2015 y referencias incluidas).

Algunas características observadas en el Granito Comanja sugieren que la CF tuvo poca influencia en la composición de las rocas y que los procesos predominantes pudieron ser la mezcla de magmas y la asimilación cortical. Entre las observaciones que apoyan la acción de estos últimos procesos se puede mencionar el carácter hiperaluminoso de las rocas y la presencia de abundantes vetas de turmalina que se asocian a la contribución de rocas metasedimentarias a los magmas, las tendencias lineales en diagramas de variación Harker que caracterizan los procesos de mezcla o asimilación, las variaciones texturales que indican la cristalización en al menos dos etapas (megacrístales de feldespatos potásicos, Fig. 4.8 y 4.23), la presencia de clots de biotita y anfíbol formando enclaves

microgranulares, las texturas tamiz en plagioclasa y la ausencia de un decremento progresivo en el contenido de An en plagioclasa (Fig. 5.12).



**Figura 5.12** a) Imagen al microscopio y perfil medido en microsonda de cristal de plagioclasa representativo del intrusivos Granito Comanja. B) perfil de variación del contenido de anortita de plagioclasa del intrusivo Granito Comanja.

En conclusión, Las diferencias en el contenido de Ba-Sr entre las rocas del Eoceno temprano de La Encarnación y el Granito Comanja podrían estar relacionadas con el contenido de agua y la fugacidad de oxígeno de los magmas precursores, donde magmas hidratados y con alta  $fO_2$  favorecieron la cristalización de hornblenda y titanita e inhibieron la cristalización de plagioclasa, resultando en magma residual con alto Ba-Sr.

Como se mencionó anteriormente las rocas de La Encarnación-Quetzalapa tienden a ser menos evolucionadas que las rocas del Granito Comanja y presentan cristalización importante de titanita y anfíbol. Las rocas del Granito Comanja son relativamente más evolucionadas con un contenido mayor de feldespato potásico y biotita. Las variaciones en la composición química de elementos mayores de La Encarnación-Quetzalapa y el Granito Comanja, sugieren una evolución que podría estar controlada por la cristalización de las fases minerales principales observadas en lámina delgada. La cristalización de titanita y anfíbol podría controlar las variaciones observadas en las rocas más primitivas de La Encarnación-Quetzalapa ( $SiO_2 < 65\%$ ), mientras que la disminución gradual en  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO_{tot}$ ,  $MnO$ ,  $MgO$  y  $CaO$  (Fig. 4.44), de las rocas de La Encarnación-Quetzalapa y el Granito Comanja pareciera estar controlada por la cristalización de plagioclasa, magnetita, apatito y biotita.

Por otra parte, en los diagramas de variación para elementos traza (Fig. 4.41) los elementos Ba y Sr presentan una disminución gradual que podría sugerir la incorporación de estos



elementos en plagioclasa y feldespato potásico. Por otro lado, el Rb en las rocas de La Encarnación-Quetzalapa no presenta mayor variación, mientras en el Granito Comanja la concentración de este elemento se hace mayor en las rocas más evolucionadas ( $\text{SiO}_2 > 75\%$ ).

En este sentido, los datos petrográficos y resultados de elementos mayores y traza para las rocas de La Encarnación-Quetzalapa indican un origen común que podría ser explicado mediante procesos de fusión parcial de fuentes ricas en anfíboles y libres de plagioclasa en el manto que evolucionaron por procesos de AFC. Por el contrario, en las rocas del Granito Comanja el proceso no es claro, sugiriendo procesos de cristalización bajo condiciones relativamente constantes de presión, temperatura y fugacidad de oxígeno.

### 5.5.2 Eoceno Medio

En comparación con las rocas del Eoceno temprano que afloran en La Sierra de los Mármoles, los intrusivos del Eoceno medio cristalizaron a temperaturas y presiones mayores. Además, se caracterizan geoquímicamente por contenidos ligeramente menores de Ba y Sr. Se destacan ligeras anomalías negativas de Eu, que son comunes en magmas con menores contenidos de agua, en los que la plagioclasa fracciona tempranamente. En estas rocas, las temperaturas obtenidas a partir del geotermómetro de dos feldespatos son mayores que las obtenidas para la hornblenda, apoyando un fraccionamiento temprano de plagioclasa. Los valores más bajos de fugacidad de oxígeno obtenidos a partir de la composición de hornblenda son consistentes con la ausencia de titanita en estas rocas.

### 5.5.3 Oligoceno

Este evento se caracteriza por el emplazamiento de tonalitas con anomalías negativas de Eu, Ba, Sr, que podrían indicar que el fraccionamiento de plagioclasa en estas rocas tuvo lugar en etapas tempranas de cristalización en magmas más secos. Además, los contenidos de Nb ( $> 30$  ppm) son mayores que los valores comunes de magmas de arco ( $< 20$  ppm), indicando posibles fuentes en el manto (Green, 1995). Por otra parte, este evento más joven representa las rocas con mayor temperatura de cristalización (Ti en

circón) y las condiciones de menor fugacidad de oxígeno (indicada por anomalías de Eu en circón) obtenidas para la porción sur de la Sierra Madre Oriental, en el Estado de Hidalgo.

En resumen, todas las rocas intrusivas estudiadas reflejan firmas comúnmente asociadas con la contribución de componentes de subducción (Pearce et al., 1982, 1984, 1990), donde se destacan las anomalías negativas de Nb-Ta, y positivas de Pb. Sin embargo, las características geoquímicas indican procesos petrogenéticos diferentes tanto en el espacio como en el tiempo, en los cuales las fases que cristalizan son controladas por las propiedades de los magmas ( $P$ - $T$ ,  $fO_2$ , contenido de agua). Estas propiedades, a su vez, se pueden interpretar como el resultado de procesos de fusión parcial del manto enriquecido en anfíboles y libre de plagioclasa para las rocas de La Encarnación-Quetzalapa y la fusión parcial de la corteza en las rocas del Granito Comanja.

## 5.6 Implicaciones para el magmatismo Eocénico

El magmatismo del Eoceno temprano del centro de México se distribuye principalmente a lo largo de estructuras tectónicas mayores que representan límites entre las provincias fisiográficas (Fig. 5.13), como es el caso de las rocas del Granito Comanja que se encuentra aflorando en la Sierra de Guanajuato a lo largo del Sistema de Fallas del Bajío (SFB), que divide la Mesa Central de la depresión de El Bajío (Nieto-Samaniego et al., 2005). Hacia la Sierra Madre Oriental, en la porción sur del estado Hidalgo, no se observa una relación entre la distribución de los intrusivos (La Encarnación-Quetzalapa) y estructuras mayores. Sin embargo, en la porción norte (Concepción del Oro, Sierra de Catorce y Charcas), los cuerpos intrusivos se observan aflorando a lo largo de estructuras tectónicas que limitan la Mesa Central hacia el este (Fig. 5.13).

El emplazamiento del Granito Comanja fue posterior a la Orogenia Mexicana del Cretácico-Paleoceno (Fitz-Díaz et al., 2018), que finalizó entre 62 y 53 Ma en la Sierra de Guanajuato, durante una fase de transición entre ese evento de acortamiento y la extensión de la provincia de Cuencas y Sierras (Ángeles-Moreno et al 2017). Su edad de emplazamiento se ha determinado en ca. 52 Ma, a una profundidad de ~6.1 km y su exhumación controlada por el SFB se ha estimado en ca. 48 Ma. La tasa de exhumación mínima estimada es de alrededor de 2500 m/Ma. Esta alta tasa de exhumación se ha relacionado con procesos de colapso gravitacional y erosión (Nieto-Samaniego et al., 2019).

Por otra parte, los intrusivos de La Encarnación-Quetzalapa se encuentran aflorando a ca. 100 km al este del Sistema de Fallas Taxco San Miguel Allende (SFTSM). Su orientación es ca. N-S similar a la dirección de rumbo del SFTSM determinada por [Alaniz-Álvarez et al. \(2002\)](#). En comparación con el Granito Comanja, las condiciones de cristalización obtenidas para la SM en este estudio indican menor profundidad de emplazamiento final, evidenciada en la presencia de cristales rellenando intersticios. Cabe resaltar, que para esta región no hay datos que permitan establecer la edad y tasa de exhumación de los cuerpos intrusivos.

Los mecanismos de exhumación más reconocidos son la erosión ([Burbank, 2002](#)) con tasas de erosión entre 1 y 10 m/Ma en rocas de la corteza media y superior, y la remoción tectónica por sobrecarga (colapso gravitacional) que puede generar altas tasas de exhumación ([Dewey, 1988](#)). Para ambos casos es necesario un relieve topográfico alto que favorezca el proceso de remoción. Adicionalmente, el modelo evolutivo de generación de grandes montañas involucra procesos de erosión con respuesta isostática, donde las tasas de erosión en montañas jóvenes son altas y disminuyen junto con el aumento de la edad ([Blackburn et al., 2018](#)). La profundidad mínima de emplazamiento de los intrusivos de la SM (ca. 4 km) y la edad de emplazamiento (54.8 - 41.9 Ma), indican que probablemente la exhumación se haya favorecido por procesos de erosión con respuesta isostática, como resultado del alto relieve generado por la deformación compresiva que formó el Orógeno Mexicano en el Cretácico-Paleoceno ([Fitz-Díaz et al., 2018](#)), del cual forma parte la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental.

Las rocas del Eoceno temprano de La Encarnación-Quetzalapa en la porción sur de la Sierra Madre Oriental, son de alto K, metaluminosas y de composición intermedia (SiO<sub>2</sub>: 60.2-64.6% en peso) y representan los productos de magmas oxidados e hidratados, donde la secuencia de cristalización estuvo controlada por titanita, hornblenda y cristalización tardía de plagioclasa, dando las condiciones para la generación de granitoides de alto Ba-Sr y bajo Rb. Las características geoquímicas, la presencia de enclaves microgranulares máficos y las condiciones *P-T* de emplazamiento, indican un origen en el manto y procesos de cristalización en al menos dos niveles, una primera fase de cristalización ocurrió después del ascenso de los magmas a niveles medios de la corteza (ca. 21 km), posteriormente estos magmas ascendieron hasta el nivel final de emplazamiento (ca. 4 km) donde terminó de cristalizar.

Los granitoides de alto Ba-Sr se relacionan principalmente con condiciones extensionales o no compresivas relacionadas con procesos de ruptura de la placa subducida,

delaminación y erosión convectiva de la litosfera, o colapso orogénico ([Atherton y Ghani 2002](#); [Fowler et al., 2008](#); [Ye et al., 2008](#)). En este sentido los modelos existentes para la generación de los intrusivos de alto Ba-Sr se pueden resumir en: (1) magmatismo producto de engrosamiento cortical por acortamiento; (2) magmatismo asociado a zonas de subducción activa; (3) extensión y magmatismo asociado a la ruptura de la placa subducida, así como erosión o delaminación litosférica; (4). extensión regional relacionada a colapso orogénico.

La acción del primer modelo no sería efectiva en las rocas del Eoceno temprano de la región de la Sierra de los Mármoles ya que la deformación compresiva en esta zona se ha restringido entre 85 y 64 Ma ([Fitz-Díaz et al., 2014](#)) y se ha considerado que los plutones no deformados del Eoceno son post-orogénicos ([Fitz-Díaz et al., 2012](#); [2014](#); [2018](#)).

La actividad magmática del centro y norte de México durante el Cretácico tardío y el Mioceno temprano se ha relacionado con el proceso de subducción de la placa Farallón bajo el margen occidental de Norteamérica que generó magmas de tipo arco continental ([Coney y Reynolds, 1977](#); [Clark et al., 1982](#); [Damon et al., 1983](#)). Adicionalmente, la disminución en el ángulo de subducción (~50° durante 100 Ma y ~10° entre 40 y 30 Ma) favoreció la expansión hacia el este del magmatismo ([Coney y Reynolds, 1977](#)). Sin embargo, el evento magmático del Eoceno temprano fue de corta duración (~3 Ma) y bajo volumen, lo cual no es consistente con un arco clásico suprasubducción, y se considera probable que la subducción plana haya inhibido el magmatismo en una amplia región de México.

El modelo de ruptura de la placa subducida, que genera magmatismo de corta duración por ascenso astenosférico, erosión convectiva de la litosfera y extensión cortical ([Davis y von Blanckenburg, 1995](#)) podría haber actuado como mecanismo generador de las rocas de alto Ba-Sr del Eoceno temprano. Para México se ha propuesto que, tras el periodo de subducción plana, inició un proceso de remoción de la placa subducida con un desgarre inicial y una serie de desprendimientos de fragmentos de la placa, así como el aumento en el ángulo de subducción (*slab rollback*) al oeste de las zonas de ruptura ([Ferrari et al., 2018](#)). Las rocas de alto Ba-Sr del Eoceno temprano pudieron haberse generado por la fusión parcial del manto litosférico metasomatizado, por acción del ascenso de la astenosfera relacionado con la ruptura de la placa. El metasomatismo del manto litosférico puede haber ocurrido durante el avance de la subducción plana hacia el este o puede ser una característica heredada de eventos magmáticos previos ocurridos en el área como los

relacionados con el arco continental del Carbonífero–Triásico temprano, el arco Nazas del Jurásico Inferior a Medio, y el volcanismo del Jurásico Superior asociado al *rift* del Golfo de México (Torres et al., 1999; Rosales-Lagarde et al., 2005; Ortega-Obregón et al., 2015; Centeno-García et al., 2017) que posteriormente evolucionaron por procesos de cristalización fraccionada en distintos niveles de la corteza.

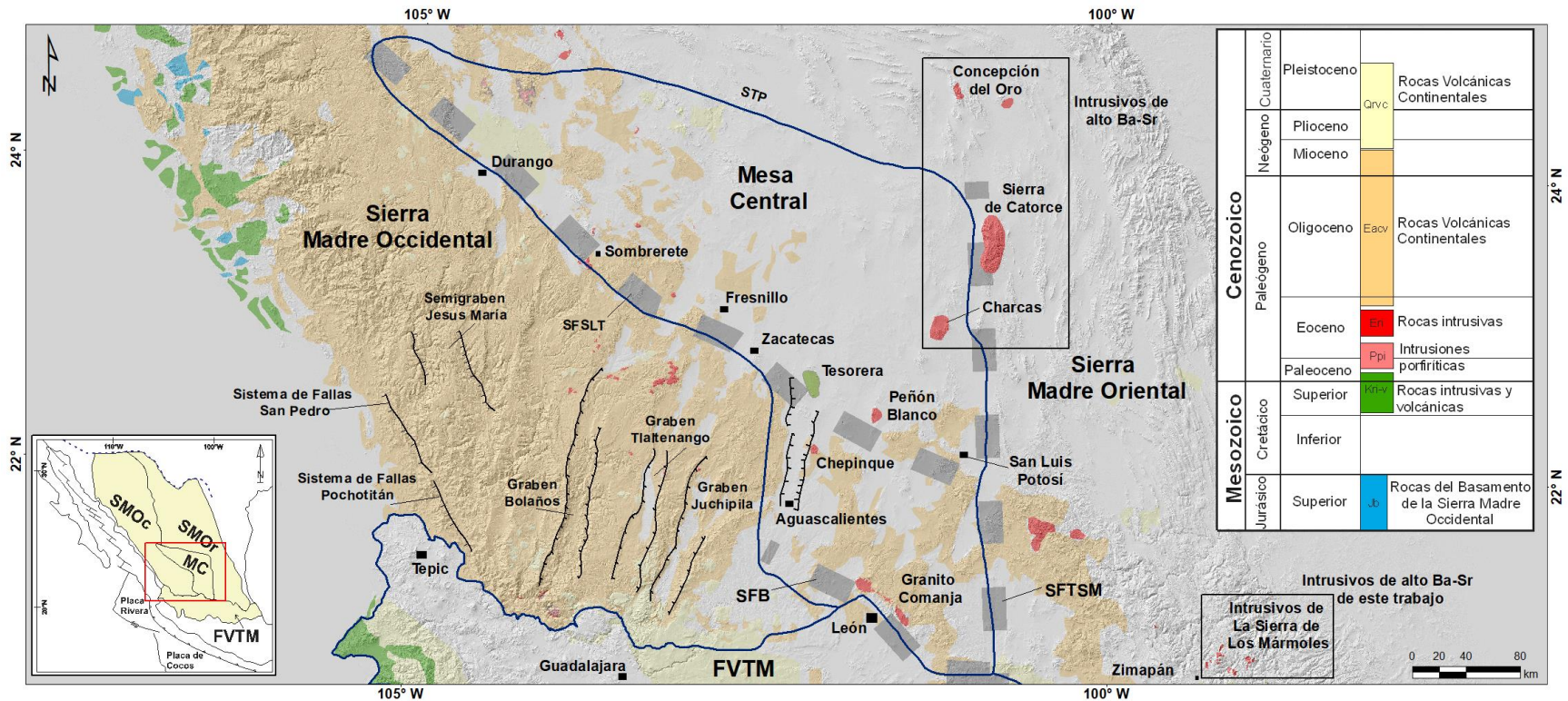
Entre los intrusivos emplazados durante el Eoceno se destacan los intrusivos de Concepción del Oro, Sierra de Catorce y Charcas en el norte de México (Pinto-Linares et al., 2008; De la Garza, 2010; Jasso-Saldaña, 2010; Velasco-Tapia et al., 2011; Mascuñano et al., 2013) que despliegan firmas geoquímicas de granitoides de alto Ba-Sr y que además se disponen a lo largo del Sistema de Fallas de Taxco San Miguel de Allende formando un lineamiento ca. N-S. Las similitudes geoquímicas y la distancia con respecto a la paleotrinchera entre los intrusivos del norte de México y los intrusivos de La Sierra de los Mármoles podrían representar la traza de la ruptura de la placa.

Por otra parte, las rocas del Granito Comanja, emplazadas también en el Eoceno temprano, contrastan al ser hiperaluminosas, silíceas ( $\text{SiO}_2$ : 70.2-73.3 % en peso), y de bajo Ba-Sr, además de presentar características de magmas más reducidos y más secos que los de La Encarnación, con una secuencia de cristalización dominada por biotita, feldespato y plagioclasa. Entre los muy escasos datos geoquímicos para rocas intrusivas de esta edad en la Mesa Central, destaca el Cerro Peñón Blanco que aflora a longitud similar, ca. 145 km al norte del Granito Comanja, sobre la traza del Sistema de Fallas San Luis-Tepehuanes (Fig. 1.13). Se trata de un granito hiperaluminoso de moscovita, de edad ( $50.94 \pm 0.47$  Ma; Ar-Ar, muscovita; Aranda-Gómez et al., 2007) y composición (Álvarez-Cardona, datos no publicados) similar a las de rocas del Granito Comanja. Otra característica común de estas dos localidades es la presencia de abundante turmalina en vetas o diseminada. Estas similitudes permiten suponer que hacia la parte central de México los procesos de generación de magmas fueron distintos, en comparación con la zona hacia el este en la que afloran las rocas de alto Ba-Sr.

La presencia de abundante turmalina en rocas intrusivas se ha asociado con la fusión parcial de rocas metasedimentarias, las cuales comúnmente están enriquecidas en boro, o a la infiltración de fluidos derivados de metasedimentos en un régimen extensional frágil, como el que se tiene durante el colapso orogénico (Marshall y Jiang, 2011; Van Hinsberg et al., 2011). El carácter hiperaluminoso, reducido y la presencia de abundante turmalina

en las rocas del Eoceno temprano de la Mesa Central (Granito Comanja y Peñón Blanco) sugieren un origen por fusión parcial de la corteza favorecida por el colapso gravitacional.

En resumen, para la región estudiada, se destacan dos tipos de magmas para el Eoceno temprano. Los magmas del Granito Comanja que se localizan más cerca de la paleotrinchera, son más secos, reducidos y de bajo Ba-Sr, y los magmas de La Encarnación-Quetzalapa que se emplazaron a mayor distancia con respecto a la paleotrinchera y que son oxidados, más hidratados y se caracterizan por tener alto Ba-Sr (Fig. 5.10). Estas características podrían ser el resultado de fusión cortical debido al colapso orogénico en la región de la Sierra de Guanajuato y la fusión del manto litosférico metasomatizado promovido por la ruptura de la placa subducida bajo la región de La Encarnación-Quetzalapa. Por otra parte, entre el Eoceno medio y Oligoceno los magmas del Estado de Hidalgo son progresivamente más reducidos y secos lo que podría indicar fuentes en el manto litosférico menos enriquecido debido a la extracción de magmas durante el Eoceno temprano o fuentes en el manto astenosférico.



**Figura 5.13** Distribución de los intrusivos de alto Ba-Sr en el centro de México. Se muestran los principales sistemas de fallas que limitan la Mesa Central: El Sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende (SFTSMA), el sistema de fallas del Bajío (SFB), el sistema de fallas San Luis Tepehuanes (SFSLT) y El Sector Transversal de Parras (STP) y la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). SMOR: Sierra Madre Oriental; SMOc: Sierra Madre Occidental. Figura modificada de Alaniz-Álvarez et al. (2002) Nieto-Samaniego et al. (2005); Ferrari et al. (2005); Ángeles-Moreno et al. (2017); Ángeles-Moreno, (2018); Fitz-Díaz et al. (2018); Ferrari et al. (2018) y la base cartográfica geológico-minera 1:250.000 del Servicio Geológico Mexicano.

## 6 Conclusiones

A partir del estudio detallado de campo, petrografía, geocronología y geoquímica de las rocas intrusivas de la Sierra de los Mármoles y zonas aledañas, y del Granito Comanja localizados en la porción sur del centro de México, se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- Fechamientos isotópicos U-Pb de rocas de la Sierra de los Mármoles y zonas aledañas permitieron definir dos eventos magmáticos. El primer evento ubicado durante el Ypresiano que corresponde a las rocas de La Encarnación (Sierra de los Mármoles, Hgo.) y Quetzalapa (Quetzalapa, Hgo.). El segundo evento se ubica durante el Luteciano y corresponde a rocas de San Nicolás (Sierra de los Mármoles, Hgo.). Adicionalmente, se identificó un evento de magmatismo intrusivo del Oligoceno temprano en el área de Nicolás Flores, Hgo.
- Los intrusivos del Eoceno temprano que afloran en la Sierra de los Mármoles y Quetzalapa son de composición intermedia, con rocas granodioríticas, cuarzo-mozodioríticas, cuarzo-monzoníticas y granitos de feldespato alcalino. Adicionalmente, en la zona de Quetzalapa afloran horblenditas y lamprófidos que representan las rocas más primitivas encontradas. Por otra parte, las variaciones texturales y composicionales (menor tamaño de cristales, mayor contenido de biotita y presencia de enclaves microgranulares) permitieron clasificar a los intrusivos del Eoceno medio de San Nicolás como una facie magmática diferente.
- El Granito Comanja es un cuerpo intrusivo de composición silícica, compuesto por granodioritas, granitos y granitos de feldespato alcalino, textural y composicionalmente homogéneo, intruido por diques aplíticos, diques de composición granodiorítica y por vetas de turmalina.
- Las condiciones de cristalización y profundidad de emplazamiento calculadas para las rocas del Eoceno temprano de La Encarnación y el Granito Comanja muestran condiciones de cristalización diferentes en cada región. En las rocas de La Encarnación se obtuvieron dos rangos de presión y temperatura. El primero con



valores altos obtenidos en cristales de magnesiohastingsita (434-546 MPa, 899-932 °C) que evidencian procesos de cristalización temprana a profundidad. El segundo rango obtenido en hornblendas magnésicas (93-243 MPa, 725-813 °C) corresponden a valores menores de presión y temperatura que representan procesos de cristalización en niveles someros. Por otro lado, en las rocas del Granito Comanja los valores de presión y temperatura obtenidos en hornblenda magnésica (189-287 MPa, 761-820 °C) son los más altos obtenidos a partir de hornblendas magnésicas en las regiones estudiadas.

- La profundidad de emplazamiento calculada para las rocas de La Encarnación se presenta en dos rangos. El primero entre 21 y 16 km, mientras el segundo varía entre 10.3 y 5.5 km. Por otra parte, el Granito Comanja presenta profundidades entre 13.2 y 7.4 km. Finalmente, la profundidad obtenida para las rocas de San Nicolás está en el rango de 9.9 a 4.6 km.
- Las condiciones *redox* determinadas para los intrusivos del Eoceno temprano de La Encarnación y Quetzalapa permiten establecer que los magmas evolucionaron en condiciones oxidantes sobre el buffer de NNO+2 y posiblemente con mayor contenido de agua, mientras que las rocas del Granito Comanja de edad similar evolucionaron en condiciones más reductoras sobre el buffer de NNO. Por otra parte, en la región de San Nicolás se evidencia una evolución hacia condiciones ligeramente más reductoras, pero entre el buffer de NNO y NNO+2 que se hace aún mayor hacia el Oligoceno.
- Los datos geoquímicos presentados en este trabajo permiten agrupar las rocas del Eoceno temprano de la Sierra de los Mármoles (La Encarnación) y Quetzalapa como granitoides de alto Ba-Sr, mientras las rocas de edad similar del Granito Comanja se clasifican como granitoides de bajo Ba-Sr.
- Para las rocas de alto Ba-Sr, con base en la química de circones y de roca total se estableció que el fraccionamiento de titanita y anfíbol jugó un papel importante durante las etapas de cristalización de los magmas. El fraccionamiento de estas fases también se asocia a las condiciones oxidantes y a altos contenidos de agua en el magma.

- La generación de los magmas de alto Ba-Sr de La Encarnación y Quetzalapa pueden explicarse por un proceso de fusión del manto litosférico metasomatizado favorecido por la ruptura de la placa subducida bajo la región. Por otro lado, los magmas más secos, reducidos y de bajo Ba-Sr del Granito Comanja podrían ser el resultado de la fusión parcial de la corteza favorecida por el colapso gravitacional.

## 7 Referencias Bibliográficas

- Aguirre-Díaz, G. J., McDowell, F., 1991**, The volcanic section at Nazas, Durango, Mexico and the possibility of widespread Eocene volcanism in the Sierra Madre Occidental: *Journal of Geophysical Research*, 96 (B8), 13373-13388.
- Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., Reyes-Zaragoza, M.A., Ojeda-García, A.C., Orozco-Esquivel, M.T., Vasallo, L.F., 2001**, Estratigrafía y deformación extensional en la región San Miguel de Allende-Querétaro, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18, 129-148.
- Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., Orozco-Esquivel, M.T., Vasallo, L.F., Xu, S., 2002**, El sistema de fallas Taxco - San Miguel de Allende: Implicaciones en la deformación post-Eocénica del centro de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 55 (1), 12-29.
- Albinson, T., 1988**, Geologic reconstruction of paleosurfaces in the Sombrerete, Colorada, and Fresnillo district, Zacatecas state, Mexico: *Economic Geology*, 83, 1647-1667.
- Anderson, J.L., 1996**, Status of thermobarometry in granitic batholiths: *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 87, 125-138.
- Anderson, J. L., Barth, A. P., Wooden, J. L., Mazdab, F., 2008**, Thermometers and thermobarometers in granitic systems: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69, 121-142.
- Angeles-Moreno E., Nieto-Samaniego A. F., Ruiz-González F. J., Levresse G., Alaniz-Alvarez S. A., Olmos-Moya, M. de J.P., Xu, S., Miranda-Avilés, R., 2017**, The transition between shortening and extensional regimes in central Mexico recorded in the tourmaline veins of the Comanja Granite: *Journal of South American Earth Sciences*, 73, 65-77.
- Ángeles-Moreno E., 2018**, La evolución tectónica cenozoica de las Sierras de Guanajuato y Codornices, México: Querétaro, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Tesis doctoral, 206 p.

- Annen, C., Blundy, J. D., Sparks, R. S. J., 2006**, The genesis of intermediate and silicic magmas in deep crustal hot zones: *Journal of Petrology*, 47(3), 505-539.
- Aranda-Gómez, J.J., Luhr, J.F., Housh T.B., Valdez-Moreno G., Chávez-Cabello, G., 2005**, El volcanismo tipo intraplaca del Cenozoico tardío en el centro y norte de México: una revisión: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario, 57 (3), 187-225.
- Aranda-Gómez, J. J., Molina-Garza, R., McDowell, F. W., Vasallo-Morales, L. F., Ortega-Rivera, M. A., Solorio-Munguía, J. G., Aguillón-Robles, A., 2007**, The relationships between volcanism and extension in the Mesa Central: the case of Pinos, Zacatecas, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24(2), 216-233.
- Atherton, M. P., Ghani, A. A., 2002**, Slab breakoff: a model for Caledonian, Late Granite syn-collisional magmatism in the orthotectonic (metamorphic) zone of Scotland and Donegal, Ireland: *Lithos*, 62, 65-85.
- Ballouard, C., Poujol, M., Boulvais, P., Branquet, Y., Tartèse, R., Vigneresse, J. L., 2016**, Nb-Ta fractionation in peraluminous granites: A marker of the magmatic-hydrothermal transition: *Geology*, 44(3), 231-234.
- Barbarin, B., 1999**, A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments: *Lithos*, 46, 605-626.
- Barclay, J., Carmichael, I.S.E., 2004**, A hornblende basalt from western Mexico: Water saturated phase relations constrain a pressure-temperature window of eruptibility: *Journal of Petrology*, 45, 485-506.
- Best, M. G., 2003**, *Igneous and metamorphic petrology*, Blackwell Publishing. 758.
- Blackburn, T., Ferrier, K. L., Perron, J. T., 2018**, Coupled feedbacks between mountain erosion rate, elevation, crustal temperature, and density: *Earth and Planetary Science Letters*, 498, 377-386.
- Bosi, F., Biagioni, C., Pasero, M., 2019**, Nomenclature and classification of the spinel supergroup: *European Journal of Mineralogy*, 31, 183-192.
- Botero, P. A., 2011**, Origen y evolución de la falla de El Bajío en su sector noroeste: Querétaro, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Tesis de Maestría, 113 p.

- Botero-Santa, P.A., Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, Á.F., López Martínez, M., Levresse, G., Xu, S., Ortega-Obregón, C., 2015**, Origen y desarrollo de la cuenca El Bajío en el sector central de la Faja Volcánica Transmexicana: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32 (1), 84-98.
- Bruand, E., Storey, C., Fowler, M., 2014**, Accessory mineral chemistry of high Ba–Sr granites from northern Scotland: constraints on petrogenesis and records of whole-rock signature: *Journal of Petrology*, 55(8), 1619-1651.
- Burbank, D. W., 2002**, Rates of erosion and their implications for exhumation: *Mineralogical Magazine*, 66(1), 25-52.
- Burnham, A. D., Berry, A. J., Wood, B. J., Cibin, G., 2012**, The oxidation states of niobium and tantalum in mantle melts: *Chemical Geology*, 330-331, 228-232.
- Centeno-Garcia, E., 2017**, Mesozoic tectono-magmatic evolution of Mexico: An overview: *Ore Geology Reviews*, 81, 1035-1052.
- Chappell, B. W., White, A. J. R., 2001**, Two contrasting granite types: 25 years later: *Australian Journal of Earth Sciences*, 48, 489-499.
- Cherniak, D. J., Watson, E. B., 2003**, Diffusion in zircon: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1), 113-143.
- Chiodi, M., Monod, O., Busnardo, R., Gaspard, D., Sánchez, A., Yta, M., 1988**, Une discordance ante albiennne datée par une fauned'Ammonites et de Brachiopodes de type téthysien au Mexique central: *Geobios*, 21(2), 125-135.
- Choe, W. H., Jwa, Y. J., 2004**, Petrological and geochemical evidences for magma mixing in the Palgongsan Pluton: *Geosciences Journal*, 8(4), 343-354.
- Clark, K.F., Foster, C.T., Damon, P.E., 1982**, Cenozoic mineral deposits and subduction-related magmatic arcs in Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 93, 533-544.
- Coney, P.J., Reynolds, S.J., 1977**, Cordilleran Benioff zones: *Nature*, 270, 403-406.
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O., Kinny, P., 2003**, Atlas of zircon textures: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1), 469-500.
- Cox, K. G., Bell J. D., Pankhurst, R. J., 1979**, The interpretation of igneous rocks: Chapman and Hall, 459.

- Cuéllar-Cárdenas, M. A., Nieto-Samaniego, Á. F., Levresse, G., Alaniz-Álvarez, S. A., Solari, L., Ortega-Obregón, C., López-Martínez, M., 2012**, Límites temporales de la deformación por acortamiento Laramide en el centro de México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(1), 179-203.
- Damon, P. E., Shafiqullah, M., Clark K., 1983**, Geochronology of the porphyry copper deposits and related mineralization of Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20 (6), 1052-1071.
- Davidson, J.P., Morgan, D.J., Charlier, B.L.A., Harlou, R., Hora, J.M., 2007**, Microsampling and isotopic analysis of igneous rocks: Implications for the study of magmatic systems: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35, 273-311.
- Davies, J. H., von Blanckenburg, F., 1995**, Slab breakoff: a model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens: *Earth and Planetary Science Letters*, 129(1-4), 85-102.
- Debon, F., Le Fort, P., 1983**, A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations: *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 73(3), 135-149.
- De Cserna, Z., 1960**, Orogenesis in time and space in Mexico: *Geologische Rundschau*, 50, 595-605.
- De Cserna, Z., 1976**, Geology of the Fresnillo area, Zacatecas, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 87(8), 1191-1199.
- De la Garza, G., 2010**, Estudio petrográfico y geoquímico de la porción sur del intrusivo Rocamontes, Coahuila y Zacatecas, México. Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis de Licenciatura, 115 p.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., Marchal, M., 1980**, A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses—its relationships with current nomenclature: *Chemical Geology*, 29, 183-210.
- Dewey, J. F., 1988**, Extensional collapse of orogens: *Tectonics*, 7(6), 1123-1139.
- Dickin, A., 2018**, Lead isotopes, en Dickin, A., *Radiogenic Isotope Geology*: Cambridge, Cambridge University Press, 99-133, doi:10.1017/9781316163009.006.

- Dungan, M.A., Davidson, J.P., 2004**, Partial assimilative recycling of the mafic plutonic roots of arc volcanoes: An example from the Chilean Andes: *Geology*, 32, 773-776.
- Echegoyén Sánchez, J., Cantero Pérez, E., Guerrero Álvarez, H., Calixto, J.M., 1975**, Estudio geológico preliminar de la zona de Arperos, Gto. a Comanja de Corona, Jal.: Guanajuato, México, Consejo de Recursos Naturales no Renovables, residencia Guanajuato, Reporte técnico, 14 p.
- English, J. M., Johnston, S. T., 2004**, The Laramide orogeny: What were the driving forces?: *International Geology Review*, 46, 833-838.
- Faure, G., Mensing, T. M., 2005**, *Isotopes: principles and applications*: Hoboken, New Jersey, Wiley, 897 p.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Bryan, S., 2005**, Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario, 57(3), 343-378.
- Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Bryan, S. E., Lopez-Martinez, M., Silva-Fragoso, A., 2018**, Cenozoic magmatism and extension in western Mexico: Linking the Sierra Madre Occidental silicic large igneous province and the Comondú Group with the Gulf of California rift: *Earth-Science Reviews*, 183, 115-152.
- Ferry, J. M., Watson, E. B., 2007**, New thermodynamic models and revised calibrations for the Ti-in-zircon and Zr-in-rutile thermometers: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 154, 429-437.
- Fitz-Díaz, E., Tolson, G., Hudleston, P., Bolaños-Rodríguez, D., Ortega-Flores, B., Vásquez Serrano, A., 2012**, The role of folding in the development of the Mexican fold-and-thrust belt: *Geosphere*, 8(4), 931-949.
- Fitz-Díaz, E., Hudleston, P., Tolson, G., Van Der Pluijm, B., 2014**, Progressive, episodic deformation in the Mexican Fold–Thrust Belt (central Mexico): evidence from isotopic dating of folds and faults: *International Geology Review*, 56(6), 734-755.
- Fitz-Díaz, E., Lawton, T. F., Juárez-Arriaga, E., Chávez-Cabello, G., 2018**, The Cretaceous-Paleogene Mexican orogen: Structure, basin development, magmatism and tectonics: *Earth-Science Reviews*, 183, 56-84.

- Fix, J.E., 1975**, The crustal and upper mantle of central Mexico: *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 43, 453-499.
- Fowler, M. B., Henney, P. J., 1996**, Mixed Caledonian appinite magmas: implications for lamprophyre fractionation and high Ba-Sr granite genesis: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 126, 199-215.
- Fowler, M. B., Henney, P. J., Darbyshire, D. P. F., Greenwood, P. B., 2001**, Petrogenesis of high Ba–Sr granites: The Rogart pluton, Sutherland: *Journal of the Geological Society, London*, 158, 521-534.
- Fowler, M. B., Kocks, H., Darbyshire, D. P. F., Greenwood, P. B., 2008**, Petrogenesis of high Ba–Sr plutons from the Northern Highlands Terrane of the British Caledonian Province: *Lithos*, 105, 129-148.
- Franzetti, M., 2009**, Contribution à l'étude des massifs plutoniques de la Tesorera et de la Saucedá, Mexique: Brest, Francia, Université de Bretagne Occidentale, Tesis de Maestría, 41 p.
- Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J., Frost, C. D., 2001**, A geochemical classification for granitic rocks: *Journal of Petrology*, 42(11), 2033-2048.
- Frost, B. R., Frost, C. D., 2008**, Geochemical classification for feldspathic: *Journal of Petrology*, 49(11), 1955-1969.
- Glazner, A. F., Coleman, D. S., Bartley, J. M., 2008**, The tenuous connection between high-silica rhyolites and granodiorite plutons: *Geology*, 36(2), 183-186.
- Gómez-Tuena, A., Díaz-Bravo, B., Vázquez-Duarte, A., Pérez-Arvizu, O., Mori, L., 2014**, Andesite petrogenesis by slab-derived plume pollution of a continental rift: *Geological Society, London, Special Publications*, 385, 65-101.
- Goolaerts, A., Mattielli, N., De Jong, J., Weis, D., Scoates, J.S., 2004**, Hf and Lu isotopic reference values for the zircon standard 91500 by MC-ICP-MS: *Chemical Geology*, 206, 1-9.
- Green, T. H., 1995**, Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system: *Chemical geology*, 120, 347-359.



- Guzmán, J.E., De Cserna, Z., 1963**, Tectonic history of Mexico, in Backbone of the Americas-Tectonic History a Symposium: American Association Petroleum Geologists Memoir, 2, 113-129.
- Hawthorne, F. C., Oberti, R., Harlow, G. E., Maresch, W. V., Martin, R. F., Schumacher, J. C., Welch, M. D., 2012**, Nomenclature of the amphibole supergroup: American Mineralogist, 97, 2031-2048.
- Hibbard, M. J., 1995**, Petrography to petrogenesis: Estados Unidos, Macmillan, 608 p.
- Holland, T., Blundy, J., 1994**, Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry: Contributions to Mineralogy and Petrology, 116(4), 433-447.
- Jasso-Saldaña, J. J., 2010**, Estudio petrográfico y geoquímico de la parte norte del intrusivo Rocamontes, Coahuila y Zacatecas, México: Linares, Nuevo León, Universidad Autónoma de Nuevo León, Tesis de Licenciatura, 115 p.
- Jerram, D. A., Dobson, K. J., Morgan, D. J., Pankhurst, M. J., 2018**, The petrogenesis of magmatic systems: Using igneous textures to understand magmatic processes, en Burchardt, S. (ed), Volcanic and Igneous Plumbing Systems: Elsevier, 191-229.
- Japan International Cooperation Agency (JICA), Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1983**, Report on geological survey of the Pachuca-Zimapán area, central Mexico: México, Reporte consolidado, 138 p.
- Johannes, W., Holtz, F., 1996**, Petrogenesis and experimental petrology of granitic rocks: Berlin, Springer, 335 p.
- Johannes, W., Holtz, F., 2012**, Petrogenesis and experimental petrology of granitic rocks: Springer-Verlag, 347.
- Kerdan. T.P., 1992**, Estructura de la corteza y manto superior en el norte de México (a lo largo del Trópico de Cáncer desde Baja California hasta el Golfo de México): México, Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado, Tesis de maestría, 347 p.
- Lapierre, H., Ortiz, L. E., Abouchami, W., Monod, O., Coulon, C., Zimmermann, J. L., 1992**, A crustal section of an intra-oceanic island arc: The Late Jurassic-Early

Cretaceous Guanajuato magmatic sequence, central Mexico: *Earth and Planetary Science Letters*, 108(1-3), 61-77.

**Levresse, G., Dobarganes-Bueno, J., Nieto-Samaniego, Á. F., 2015**, Magmatic Evolution of Charcas Zn Distal Skarn (resumen), en *Mineral Resources in a Sustainable World*, 13th SGA Biennial Meeting: Nancy, Francia, Proceedings, 137-140 p.

**Loader, M. A., Wilkinson, J. J., Armstrong, R. N., 2017**, The effect of titanite crystallisation on Eu and Ce anomalies in zircon and its implications for the assessment of porphyry Cu deposit fertility: *Earth and Planetary Science Letters*, 472, 107-119.

**Lozano, R., Bernal, J. P., 2005**, Characterization of a new set of eight geochemical reference materials for XRF major and trace element analysis: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(3), 329-344.

**Maniar, P. D., Piccoli, P. M., 1989**, Tectonic discrimination of granitoids: *Geological society of America bulletin*, 101, 635-643.

**Marschall, H. R., Jiang, S. Y., 2011**, Tourmaline isotopes: no element left behind: *Elements*, 7(5), 313-319.

**Martin, H., 1999**, The adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids: *Lithos*, 46(3), 411-429.

**Martínez-Reyes, J., 1992**, Carta geológica-minera (8) Mapa geológico de la Sierra de Guanajuato, 1:100000: Guanajuato, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1 mapa con texto.

**Martini, M., Mori, L., Solari, L., Centeno-García, E., 2011**, Sandstone provenance of the Arperos Basin (Sierra de Guanajuato, central Mexico): Late Jurassic–Early Cretaceous back-arc spreading as the foundation of the Guerrero terrane: *The Journal of Geology*, 119(6), 597-617.

**Martini, M., Fitz, E., Solari, L., Camprubi, A., Hudleston, P. J., Lawton, T. F., Tolson, G., Centeno-García, E., 2012**, The Late Cretaceous fold-thrust belt in the Peña de Bernal-Tamazunchale area and its possible relationship to the accretion of the Guerrero Terrane, en Aranda-Gómez, J. J., Tolson, G., Molina-Garza, R. S. (eds), *The southern Cordillera and beyond: The Geological Society of America Field Guide 25*, 19-38.

- Martini, M., Solé, J., Garduño-Martínez, D. E., Puig, T. P., Omaña, L., 2016**, Evidence for two Cretaceous superposed orogenic belts in central Mexico based on paleontologic and K-Ar geochronologic data from the Sierra de los Cuarzos: *Geosphere*, 12(4), 1257-1270.
- Mascuñano, E., Levresse, G., Cardellach, E., Tritlla, J., Corona-Esquivel, R., Meyzen, C., 2013**, Post-Laramide, Eocene magmatic activity in Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(2), 299-311.
- McDowell, F. W., Keizer, R. P., 1977**, Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlán, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 88, 1479-1487.
- McDowell, F. W., Clabaugh, S. E., 1979**, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico: en Chapin, C. E., Elston, W. E., *Ash-Flow Tuffs: Geological Society of America Special Paper 180*, 113-124.
- Meyer, R. P., Steinhart, J. S., Woolard, G. P., 1958**, Seismic determination of crustal structure in the central plateau of Mexico: *Transactions American Geophysical Union*, 39, 525.
- Middlemost, E. A. K., 1989**, Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks: *Chemical Geology*, 77(1), 19-26.
- Moore, G., Carmichael, I. S. E., 1998**, The hydrous phase equilibria (to 3 kbar) of an andesite and basaltic andesite from western Mexico: constraints on water content and conditions of phenocryst growth: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 130(3-4), 304-319.
- Morán-Zenteno, D. J., Martiny, B., Tolson, G., Solís-Pichardo, G., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M. S., Macías-Romo, C., Martínez-Serrano, R. G., Schaaf, P., Silva-Romo, G., 2000**, Geocronología y características geoquímicas de las rocas magmáticas terciarias de la Sierra Madre del Sur: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53, 27-58.
- Mori, L., Gómez-Tuena, A., Cai, Y., Goldstein, S. L., 2007**, Effects of prolonged flat subduction on the Miocene magmatic record of the central Trans-Mexican Volcanic Belt: *Chemical Geology*, 244, 452-473.

- Mori, L., Gómez-Tuena, A., Schaaf, P., Goldstein, S. L., Pérez-Arvizu, O., Solís-Pichardo, G., 2009**, Lithospheric removal as a trigger for flood basalt magmatism in the Trans-Mexican Volcanic Belt: *Journal of Petrology*, 50(11), 2157-2186.
- Mutch, E. J. F., Blundy, J. D., Tattitch, B. C., Cooper, F. J., Brooker, R. A., 2016**, An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-in-hornblende geobarometer: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 171, 85.
- Nédélec, A., Bouchez, J.L., 2015**, *Granites: petrology, structure, geological setting and metallogeny*, Oxford, 349.
- Nieto-Samaniego, Á. F., Macías-Romo, C., Alaniz-Álvarez S. A., 1996**, Nuevas Edades Isotópicas de la Cubierta Volcánica Cenozoica de la Parte Meridional de la Mesa Central, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(1), 117-122.
- Nieto-Samaniego, Á. F., Ferrari, L., Alaniz-Álvarez, S. A., Labarthe-Hernández, G., Rosas-Elguera, J., 1999**, Variation of cenozoic extensión and volcanism across the southern Sierra Madre Occidental volcanic province, México: *Geological Society of America Bulletin*, 111, 347-363.
- Nieto-Samaniego, Á. F., Alaniz-Álvarez, S. A., Camprubí í Cano, A., 2005**, La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica: *Boletín de la Sociedad Geológica mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario*, 57(3), 285-318.
- Nieto-Samaniego, A. F., Olmos-Moya, M. J. P., Levresse, G., Alaniz-Alvarez, S. A., Abdullin, F., del Pilar-Martínez, A. P., Xu, S., 2019**, Thermochronology and exhumation rates of granitic intrusions at Mesa Central, Mexico: *International Geology Review*, 61, 1-9.
- Orozco-Esquivel, M. T., Nieto-Samaniego, Á. F., Alaniz-Álvarez, S. A., 2002**, Origin of rhyolitic lavas in the Mesa Central, Mexico, by crustal melting related to extension: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 118, 37-56.
- Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Morán-Zenteno, D. J., Solari, L., Weber, B., Luna-González, L., 2018**, The pre-Mesozoic metamorphic basement of Mexico, 1.5 billion years of crustal evolution: *Earth-Science Reviews*, 183, 2-37.

- Ortíz-Hernández, L. E., Chiodi, M., Lapierre, H., Monod, O., Calvet, P., 1992**, El arco intraoceánico alóctono (Cretácico Inferior) de Guanajuato-características petrográficas, geoquímicas, estructurales e isotópicas del complejo filoniano y de las lavas basálticas asociadas, implicaciones geodinámicas: *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 9(2), 126-145.
- Ortiz Hernández, L. E., Acevedo Sandoval, O. A., Flores Castro, K., 2003**, Early Cretaceous intraplate seamounts from Guanajuato, central Mexico: geochemical and mineralogical data: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(1), 27-40.
- Pearce, J. A., 1982**, Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries, en Thorpe, R. S. (ed), *Andesites: John Wiley and Sons*, 525-548.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G., 1984**, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks: *Journal of Petrology*, 25(4), 956-983.
- Pearce, J. A., Bender, J. F., De Long, S. E., Kidd, W. S. F., Low, P. J., Güner, Y., Saroglu, F., Yilmaz, Y., Moobath, S., Mitchell, J. G., 1990**, Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44(1-2), 189-229.
- Pearce, J., 1996**, Sources and settings of granitic rocks: *Episodes*, 19(4), 120-125.
- Peccerillo, A., Taylor, S. R., 1976**, Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Petersen, M.A., Montiel-Méndez, D., 2009**, Geología del Cerro San Pedro distrito minero de metales base y preciosos San Luis Potosí, México, en Clark, K. F., Salas-Liz, G. A., Cubillos-Estrada, R. (eds), *Geología Económica de México: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A.C. y Servicio Geológico Mexicano*, 760-768.
- Pinto-Linares, P. J., Levresse, G., Tritlla, J., Valencia, V. A., Torres-Aguilera, J. M., González, M., Estrada, D., 2008**, Transitional adakite-like to calc-alkaline magmas in a continental extensional setting at La Paz Au-Cu skarn deposits, Mesa Central, Mexico: metallogenic implications: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(1), 39-58.

- Putirka, K. D., 2008**, Thermometers and barometers for volcanic systems: Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 69, 61-120.
- Qian, Q., Chung, S. L., Lee, T. Y., Wen, D. J., 2003**, Mesozoic high-Ba–Sr granitoids from North China: geochemical characteristics and geological implications: Terra Nova, 15(4), 272-278.
- Quintero-Legorreta, O., 1992**, Geología de la región de Comanja, estados de Guanajuato y Jalisco: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 10(1), 6-25.
- Ramírez-Peña, C. F., Chávez-Cabello, G., 2017**, Age and evolution of thin-skinned deformation in Zacatecas, Mexico: Sevier orogeny evidence in the Mexican Fold-Thrust Belt: Journal of South American Earth Science, 76, 101-114.
- Ridolfi, F., Renzulli, A., Puerini, M., 2010**, Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes: contributions to mineralogy and petrology, 160, 45-66.
- Ridolfi, F., Renzulli, A., 2012**, Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1,130°C and 2.2 GPa: Contributions to Mineralogy and Petrology, 163, 877-895.
- Rivera, J., Ponce, L., 1986**, Estructura de la corteza al oriente de la Sierra Madre Occidental, México, basada en la velocidad del grupo de las ondas Rayleigh: Geofísica Internacional, 25, 383-402.
- Roldán-Quintana, J., 1991**, Geology and chemical composition of the Jaralito and Aconchi batholiths in east-central Sonora, México, en Pérez-Segura, E., Jacques-Ayala, C. (eds), Studies of Sonoran Geology: Geological Society of America, Special Paper, 254, 69-80.
- Rollinson, H. R., 1993**, Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation: Essex, Inglaterra, Longman Scientific & Technical, 352 p.
- Rosales-Lagarde, L., Centeno-García, E., Dostal, J., Sour-Tovar, F., Ochoa-Camarillo, H., Quiroz-Barroso, S., 2005**, The Tuzancoa Formation: Evidence of an Early

Permian submarine continental arc in east-central Mexico: *International Geology Review*, 47(9), 901-919.

**Rubatto, D., 2002**, Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism: *chemical geology*, 184, 123-138.

**Ruiz-González F. J., 2015**, Estudio de las vetas de turmalina que registran la historia de exhumación del Granito Comanja, Sierra de Guanajuato, México, Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Maestría, 128 p.

**Schiller, D., Finger, F., 2019**, Application of Ti-in-zircon thermometry to granite studies: problems and possible solutions: *Contributions to mineralogy and petrology*, 174, 51.

**Shand, S. J., 1943**, Eruptive rocks: Their genesis, composition, and classification, with a chapter on meteorites: Inglaterra, T. Murby & Co, 444 p.

**Siegel, C., Bryan, S. E., Allen, C. M., Gust, D. A., 2018**, Use and abuse of Zircon-based thermometers: A critical review and a recommended approach to identify antecrystic zircons: *Earth Science Review*, 176, 87-116.

**Sláma, J., Košler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Matthew, S.A., Horstwood, M.S., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N., Whitehouse, M.J., 2008**, Plešovice zircon- a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 249(1-2), 1-35.

**Solari, L. A., Gómez-Tuena, A., Bernal, J. P., Pérez-Arvizu, O., Tanner, M., 2009**, U-Pb Zircon Geochronology with an Integrated LA-ICP-MS Microanalytical Workstation: Achievements in precision and accuracy: *Geostandards and Geoanalytical Research*, 34(1), 5-18.

**Sosa-Valdés, R., Chávez-Cabello, G., Weber, B., Velasco-Tapia, F., 2011**, Geocronología U-Pb del Cinturón de Intrusivos de Concepción del Oro, Zacatecas (resumen), en XXI Congreso Nacional de Geoquímica: Monclova, Coahuila: Piedad-Sánchez, N., Rosales-Sosa, M.G., Santoyo-Gutiérrez, E. R., Guevara-García, M. (eds), *Actas INAGEQ número especial*, 17(1), 174.

- Stein, G., Lapierre, H., Monod, O., Zimmermann, J. L., Vidal, R., 1994**, Petrology of some Mexican Mesozoic-Cenozoic plutons: Sources and tectonic environments: *Journal of South American Earth Sciences*, 7(1), 1-7.
- Stepanov, A. S., Hermann, J., 2013**, Fractionation of Nb and Ta by biotite and phengite: Implications for the “missing Nb paradox”: *Geology*, 41(3), 303-306.
- Stepanov, A., Mavrogenes, J.A., Meffre, S., Davidson, P., 2014**, The key role of mica during igneous concentration of tantalum: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 167, 1009.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989**, Chemical and Isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes: Geological Society, London, Special Publications, 42, 313-345.
- Suter, M., 1984**, Cordilleran deformation along the eastern edge of the Valles-San Luis Potosí carbonate platform, Sierra Madre Oriental fold-thrust belt, east-central Mexico: *Geological Society of American Bulletin*, 95, 1387-1397.
- Swanson, E. R., Keizer, R. P., Lyons, J. I., Clabaugh, S. E., 1978**, Tertiary volcanism and caldera development near Durango City, Sierra Madre Occidental, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 89, 1000-1012.
- Tarney, J., Jones, C. E., 1994**, Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models: *Journal of the Geological Society*, 151, 855-868.
- Tera, F., Wasserburg, G. J., 1972**, U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks: *Earth and Planetary Science Letters*, 14(3), 281-304.
- Torres, R., Ruiz, J., Patchett, P. J., Grajales, J. M., 1999**, Permo-Triassic continental arc in eastern Mexico: Tectonic implications for reconstructions of southern North America, en Bartolini, C., Wilson, J. L., Lawton T. F. (eds) *Mesozoic Sedimentary and Tectonic history of North-Central Mexico*: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Papers, 191-196.
- Trail, D., Watson, E. B., Tailby, N. D., 2012**, Ce and Eu anomalies in zircon as proxies for the oxidation state of magmas: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 97, 70-87.



- Tristán-González, M., Aguillón-Robles, A., Barboza-Gudiño, J. R., Cruz-Márquez, J., García-Arreola, M. E., Bellon, H., Francetti, M., Labarthe-Hernández, G., 2015,** Características geoquímicas y significado tectónico del complejo de diques y domos félsicos del Paleoceno-Eoceno de La Tesorera, Zacatecas, en la Mesa Central, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(3), 455-474.
- Turner, S., George, R., Jerram, D.A., Carpenter, N., Hawkesworth, C.J., 2003,** Case studies of plagioclase growth and residence times in island arc lavas from Tonga and Lesser Antilles, and a model to reconcile discordant age information: *Earth and Planetary Science Letters*, 214, 279-294.
- Ünal, A., Altunkaynak, Ş., 2018,** Nature and genesis of potassic high BaSr granitoids associated with syn-convergent extension in NW Turkey: *Lithos*, 316-317, 261-277.
- Valencia-Moreno, M., Ruiz, J., Barton, M. D., Patchett, P. J., Zürcher, L., Hodkinson, D. G., Roldán-Quintana, J., 2001,** A chemical and isotopic study of the Laramide granitic belt of northwestern Mexico: Identification of the southern edge of the North American Precambrian basement: *Geological Society of America Bulletin*, 113(11), 1409-1422.
- van Hinsberg, V. J., Henry, D. J., Dutrow, B. L., 2011,** Tourmaline as a petrologic forensic mineral: A unique recorder of its geologic past: *Elements*, 7(5), 327-332.
- Vassallo, L. F., Arkhipova, N. A., Shatagin, N. N., Sousa, J. E., Solorio, J. G., Ortega, A., 2004,** Mineralogy, age and regional control setting of La Negra and Zimapan skarn ore deposits, central part of Mexico (resumen), en *Depósitos Minerales en México: nuevas perspectivas y avances en su estudio: GEOS, Unión Geofísica Mexicana*, 24(2), 294 p.
- Velasco-Tapia, F., González-Guzmán, R., Chávez-Cabello, G., Lozano-Serna, J., Valencia-Moreno, M., 2011,** Estudio petrográfico y geoquímico del Complejo Plutónico El Peñuelo (Cinturón de Intrusivos de Concepción del Oro), noreste de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(2), 183-199.
- Vermeesch, P., 2018,** IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology: *Geoscience Frontiers*, 9, 1479-1493.
- Villaseca, C., Barbero, L., Herreros, V., 1998,** A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts: *Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh*, 89(2), 113-119.

- Wetherill, G. W., 1956**, An interpretation of the Rhodesia and Witwatersrand age patterns: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 9(5-6), 290-292.
- Whalen, J. B., Currie, K. L., Chappell, B. W., 1987**, A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95, 407-419.
- Whitney, D. L., Evans, B. W., 2010**, Abbreviations for names of rock-forming minerals: *American Mineralogist*, 95, 185-187.
- Wiedenberck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J.C., Spiegel, W., 1995**, Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses: *Geostandards and Geoanalytical Research*, 19(1), 1-23.
- Wilson, B. M., 2007**, *Igneous petrogenesis a global tectonic approach*: Springer Science & Business Media, 466 p.
- Winter, J. D., 2014**, *An introduction to igneous and metamorphic petrology*: Essex, Inglaterra, Pearson Education Limited, 738 p.
- Wones, D. R., 1989**, Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks: *American Mineralogist*, 74(7-8), 744-749.
- Ye, H. M., Li, X. H., Li, Z. X., Zhang, C. L., 2008**, Age and origin of high Ba–Sr appinite–granites at the northwestern margin of the Tibet Plateau: Implications for early Paleozoic tectonic evolution of the Western Kunlun orogenic belt: *Gondwana Research*, 13, 126-138.
- Yta, M., Chiodi, M., 1987**, Nueva hipótesis sobre la evolución magmático-tectónica y relación metalogenética del granito Comanja, Comanja de Corona, Jal: México D.F, Consejo de Recursos Minerales, Archivo técnico 140400, 30 pp.
- Zou, X., Qin, K., Han, X., Li, G., Evans, N. J., Li, Z., Yang, W., 2019**, Insight into zircon REE oxy-barometers: A lattice strain model perspective: *Earth and Planetary Science Letters*, 506, 87-96.

## **8 Anexos**

- 8.1 Composición modal
- 8.2 Datos analíticos de microsonda
- 8.3 Datos analíticos U-Pb
- 8.4 Datos analíticos de elementos traza en circón
- 8.5 Análisis geoquímicos

Anexo 1-1. Composición modal de los Intrusivos de La Encarnación, San Nicolás, Nicolás Flores, Quetzalapa y Granito Comanja.																								
Unidad	Clasificación Mineralógica	Muestra	Localidad de referencia	Zona	Coordenadas (m)		Composición modal (%)														QAP (%)			
					Este	Norte	Qz	Pl	Or	Bt	Amp	Ttn	Ap	Zrn	Cpx	Tur	Aln	Opx	Op	Tot	Qz	Or	Pl	Tot
Intrusivos de la Sierra de los Mármoles	Granito de feldespato alcalino	ZP-01	Puerto Vigas	14Q	478210	2304793	25.3	5.7	60.4	2.5	-	6.1	<1	<1	-	-	-	-	-	100	27.7	66.1	6.2	100
	Granodiorita	ZP-02	Puerto Vigas	14Q	478210	2304793	25.8	50	8.8	-	8.8	0.2	<1	<1	3.8	-	-	-	2.6	100	30.5	10.4	59.1	100
	Cuarzo-Monzodiorita	ZP-03	Puerto Vigas	14Q	478442	2305161	12.6	52.4	11.1	-	7.1	3.5	<1	<1	9.8	-	-	-	3.5	100	16.6	14.6	68.9	100
	Cuarzo-monzonita	ZP-04	Villa Juárez	14Q	479252	2306789	9.2	41.8	26.5	4.4	3.5	2.6	<1	<1	9.3	-	-	-	2.7	100	11.9	34.2	53.9	100
	Cuarzo-Monzodiorita	ZP-05	Villa Juárez	14Q	479366	2306396	14.7	42.3	19.7	-	7.5	1.5	<1	<1	11.5	-	-	-	2.8	100	19.2	25.7	55.1	100
	Granodiorita	ZP-06	Villa Juárez	14Q	479369	2306397	16.4	40.7	15.2	5.8	4.2	2.8	<1	<1	11.5	-	-	-	3.4	100	22.7	21.0	56.3	100
	Granodiorita	ZP-07	El Cobre	14Q	480861	2309413	19.4	55.8	9.4	0.2	8.2	0.6	<1	<1	4	-	-	-	2.4	100	22.9	11.1	66.0	100
	Tonalita	ZP-08	San Nicolás	14Q	482382	2316626	22.6	50.4	3.4	11.6	5.8	-	<1	<1	3	-	-	-	3	99.8	29.6	4.5	66.0	100
	Granodiorita	ZP-09	San Nicolás	14Q	481204	2316017	24.6	40.5	19.8	1.3	5.2	-	<1	<1	7.4	-	-	-	1.2	100	29.0	23.3	47.7	100
	Basalto	ZP-11	Puerto Vigas	14Q	477325	2304243	3.2	71.6	7.3	2.1	4.1	-	-	-	-	-	-	10.3	1.4	100	3.9	8.9	87.2	100
	Granodiorita	ZP-12	Puerto Vigas	14Q	477325	2304243	23.4	44.7	14.1	10.2	1.8	-	<1	<1	4.1	-	-	-	1.7	100	28.5	17.2	54.4	100
	Granodiorita	ZP-13	San Nicolás	14Q	481204	2316017	20.1	48.4	9.3	15.3	1.1	-	<1	<1	4.1	-	-	-	1.7	100	25.8	12.0	62.2	100
	Granito Comanja	Granito	SGPC-1	Comanja de Corona	14Q	210881	2363343	No se realizó lámina delgada																
Granito		SGPC-2	Comanja de Corona	14Q	210881	2363343	25.3	25.3	40.2	8.5	0.3	-	<1	<1	-	-	-	-	0.4	100	27.9	44.3	27.9	100
Granito		SGPC-2-1	Comanja de Corona	14Q	210881	2363343	26.1	19.6	45.9	7.3	0.4	-	<1	<1	-	-	-	-	0.7	100	28.5	50.1	21.4	100
Granito		SGPC-3	Comanja de Corona	14Q	210881	2363343	No se realizó lámina delgada																	

<b>Granito Comanja</b>	Granito	SGPC-4	Camino San Juan de Otates	14Q	242668	2338738	No se realizó lámina delgada																	
	Granito de feldespato alcalino	SGPC-5	Camino San Juan de Otates	14Q	242668	2338738	21.4	6.2	68.1	2.8	-	-	<1	<1	-	-	-	-	1.2	99.7	22.4	71.2	6.5	100
	Granito	SGPC-06	Vía Cerro Verde	14Q	242090	2338209	30.6	20.5	41.9	5.6	-	-	<1	<1	-	-	-	-	1.4	100	32.9	45.1	22.0	100
	Granodiorita	SGPC-07	Vía Cerro Verde	14Q	243720	2338556	34.2	37.8	19.6	8.2	0.2	-	<1	<1	-	-	-	-	100	37.3	21.4	41.3	100	
	Granito	SGPC-08	Vía Cerro Verde	14Q	243526	2339113	27.9	30.5	26.5	9.6	3.4	-	<1	<1	-	0.5	-	1.6	100	32.9	31.2	35.9	100	
	Granodiorita	SGPC-09	Vía Cerro Verde	14Q	243526	2339113	22.6	37.7	16.2	17.1	4.1	-	<1	<1	-	-	-	-	2.3	100	29.5	21.2	49.3	100
	Granodiorita	SGPC-10	Vía Cerro Verde	14Q	243526	2339113	23.4	35.2	15.7	17.9	5.7	-	<1	<1	-	-	-	-	2.1	100	31.5	21.1	47.4	100
	Granito	SGPC-11	Camino San Juan de Otates	14Q	242539	2338759	28.4	37.1	20.5	8.1	-	-	<1	<1	-	3.4	-	-	2.5	100	33.0	23.8	43.1	100
	Granitoide rico en cuarzo	SGPC-12	Camino San Juan de Otates	14Q	242539	2338759	60.4	12.3	24.1	-	-	-	-	-	-	3.2	-	-	-	100	62.4	12.7	24.9	100
	Granito	SGPC-13	Camino San Juan de Otates	14Q	242004	2339629	25.1	33.7	28.9	10.4	-	-	<1	<1	-	-	-	-	1.9	100	28.6	33.0	38.4	100
Riolita	SGPC-14	Camino San Juan de Otates	14Q	242004	2339629	55.6	14.1	30.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	55.6	30.3	14.1	100	
Granito de feldespato alcalino	SGPC-15	La Estancia	14Q	249157	2333488	22.3	7.1	66.5	4.1	-	-	<1	<1	-	-	-	-	100	23.3	69.3	7.4	100		
<b>Intrusivos de Nicolás Flores</b>	Tonalita	NF-01	Agua Limpia	14Q	486688	229926	18.3	50.3	4.4	8.2	5.2	-	<1	<1	10.8	-	-	-	2.8	100	25.1	6.0	68.9	100
	Tonalita	NF-02	Agua Limpia	14Q	487194	2299509	17.6	51.2	4.1	7.3	5.8	-	<1	<1	10.8	-	-	-	3.2	100	24.1	5.6	70.2	100
	Tonalita	NF-03	Agua Limpia	14Q	486398	2299260	18.2	57.4	6.1	-	4.1	-	<1	<1	11.8	-	-	-	2.4	100	22.3	7.5	70.3	100

<b>Intrusivos de Quetzalapa</b>	Cuarzo- Monzodiorita	QZL-01	Quetzalapa	14Q	495744	2306149	10.4	53.2	8.6	5.3	14.2	5.3	<1	<1	-	-	-	-	2.8	99.8	14.4	11.9	73.7	100
	Hornblendita	QZL-02	Quetzalapa	14Q	495744	2306149	-	5.3	-	-	84.6	-	-	-	-	-	-	10.1	-	100	-	-	-	-
	Granito de feldespato alcalino	QZL-03	Quetzalapa	14Q	495744	2306149	47.5	4.3	42.1	-	2.5	2.5	<1	<1	2.9	-	-	-	0.6	102.4	50.6	44.8	4.6	100
	Hornblendita	QZL-04	Quetzalapa	14Q	495744	2306149	-	6.3	-	-	82.8	-	-	-	-	-	-	10.6	0.3	100	-	-	-	-
	Lamprofido	QZL-05	Quetzalapa	14Q	495744	2306149	-	40.6	30.8	28.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-

**Anexo 2-1. Resultados del análisis químico de horblenda en microsonda electrónica. Muestra Zp-02**

Análisis Id	Hbl 6	Hbl-c- 8	Hbl-c- 12	Hbl-c- 14	Hbl-c- 19	Hbl-c- 20	Hbl-c- 31	Hbl-c- 10	Hbl-c- 23	Hbl-b- 9
SiO2	43.241	42.909	42.818	43.052	41.207	43.428	42.696	48.616	48.149	48.872
TiO2	2.189	2.382	2.278	2.462	2.29	1.925	2.287	1.745	1.36	1.225
Al2O3	10.517	10.889	10.843	10.583	11.731	10.477	11.153	6.62	7.367	6.399
Cr2O3	0.004	0.018	0.022	0.017	0.001	0.015	0	0.021	0.014	0.001
MnO	0.414	0.461	0.456	0.489	0.502	0.474	0.442	0.525	0.594	0.736
FeO	16.253	15.735	17.254	16.143	18.493	17.144	16.828	12.405	14.948	13.485
NiO	0	0.009	0	0	0	0.006	0.026	0.009	0	0.019
MgO	11.705	12.094	11.453	12.147	9.777	11.831	11.472	15.579	14.209	14.958
CaO	11.601	11.437	11.338	11.614	11.396	11.43	11.462	11.233	11.541	11.515
Na2O	1.476	1.608	1.656	1.621	1.654	1.695	1.684	1.327	1.371	1.146
K2O	1.211	1.184	1.296	1.225	1.621	1.296	1.139	0.637	0.69	0.48
F	0.562	0.119	0.353	0.385	0	0.382	0.383	0.332	0.09	0.301
<b>Total</b>	<b>99.173</b>	<b>98.845</b>	<b>99.767</b>	<b>99.738</b>	<b>98.672</b>	<b>100.103</b>	<b>99.572</b>	<b>99.049</b>	<b>100.333</b>	<b>99.137</b>
Análisis Id	Hbl-b- 24	Hbl-(plgb21)- 18	Hbl-b- 15	Hbl 4	Hbl-c- 13	Hbl-c- 22	Hbl-c- 17	Hbl 5	Hbl 3	Hbl-c- 26
SiO2	49.505	48.04	51.306	49.821	49.402	50.105	50.392	49.493	50.247	52.21
TiO2	1.029	1.198	0.916	1.014	1.055	1.105	0.898	1.094	1.022	0.424
Al2O3	5.931	6.58	4.629	5.542	6.031	5.284	5.101	5.735	5.149	3.962
Cr2O3	0.013	0	0.032	0.004	0.009	0	0.019	0.014	0	0.032
MnO	0.576	0.491	0.682	0.581	0.547	0.568	0.506	0.482	0.401	0.511
FeO	13.657	14.775	12.354	13.787	14.162	12.846	13.823	13.315	13.834	12.561
NiO	0.013	0	0.028	0	0	0	0	0.034	0	0.006
MgO	15.15	14.175	16.463	15.478	14.905	15.899	15.522	14.813	15.662	16.599
CaO	11.445	11.427	11.676	11.691	11.587	11.919	11.599	11.738	11.8	11.59
Na2O	1.126	1.205	0.983	1.087	1.034	1.001	0.979	1.024	0.99	0.839
K2O	0.534	0.617	0.399	0.515	0.529	0.473	0.411	0.541	0.436	0.277
F	0.329	0.179	0.273	0.539	0.388	0.602	0.12	0.241	0.627	0.571
<b>Total</b>	<b>99.308</b>	<b>98.687</b>	<b>99.741</b>	<b>100.059</b>	<b>99.649</b>	<b>99.802</b>	<b>99.37</b>	<b>98.524</b>	<b>100.168</b>	<b>99.582</b>
Análisis Id	Hbl-(plgb37)- 28	Hbl-c- 25	Hbl-c- 16	Hbl 7	Hbl (plgb3)1	Hbl-b- 27	Hbl-(plgc37)-30			
SiO2	53.276	51.102	50.065	47.762	49.141	52.331	51.237			
TiO2	0.388	0.873	0.669	1.732	1.002	0.583	0.74			
Al2O3	3.609	4.788	5.249	7.257	5.393	3.832	4.42			
Cr2O3	0	0.012	0.04	0.009	0.007	0	0.004			
MnO	0.331	0.562	0.524	0.486	0.69	0.535	0.866			
FeO	12.328	13.744	13.744	14.734	13.498	12.529	11.954			
NiO	0.028	0	0	0.039	0	0	0			
MgO	17.004	16.194	15.524	14.011	15.454	16.613	16.534			
CaO	12.035	11.62	11.822	11.227	11.492	11.755	11.126			
Na2O	0.581	1.028	0.989	1.443	1.003	0.847	0.992			
K2O	0.261	0.351	0.397	0.667	0.54	0.289	0.396			
F	0.422	0	0.299	0.298	0.211	0.302	0.121			
<b>Total</b>	<b>100.263</b>	<b>100.274</b>	<b>99.322</b>	<b>99.665</b>	<b>98.431</b>	<b>99.616</b>	<b>98.39</b>			

**Anexo 2-2. Resultados del análisis químico de horblenda en microsonda electrónica. Muestra Zp-07**

Análisis Id	hbl-(plg57b)-56	hbl-(plg58b)-57	hbl-(plg59b)-58	hbl(plgb48)-43	hbl(plgb49)-44	hbl-b-102	hbl-b-103	hbl-b-104	hbl-c-92	hbl-b-95
SiO2	52.023	50.313	52.199	51.59	52.936	51.955	50.88	52.297	51.927	49.214
TiO2	0.786	0.996	0.669	0.741	0.423	0.648	0.81	0.645	0.71	0.943
Al2O3	4.095	4.746	3.925	3.871	3.08	4.116	4.277	3.615	3.926	5.59
Cr2O3	0	0.006	0	0	0	0.015	0	0.018	0	0
MnO	0.667	0.719	0.81	0.665	0.541	0.733	0.572	0.762	0.696	0.667
FeO	11.982	12.082	12.13	11.864	11.035	11.893	12.255	11.273	12.34	12.601
NiO	0	0.019	0	0	0	0.026	0	0.032	0.015	0
MgO	17.098	16.786	17.164	16.736	17.481	16.826	16.742	17.393	16.713	16.05
CaO	11.602	11.315	11.444	11.888	11.831	11.669	11.859	11.49	11.659	11.662
Na2O	0.885	0.986	0.887	0.777	0.564	0.843	0.959	0.751	0.854	1.094
K2O	0.323	0.476	0.294	0.343	0.22	0.329	0.333	0.299	0.302	0.612
F	0.03	0.182	0.061	0.456	0.578	0.514	0.362	0.485	0.212	0.572
<b>Total</b>	<b>99.491</b>	<b>98.626</b>	<b>99.583</b>	<b>98.931</b>	<b>98.689</b>	<b>99.567</b>	<b>99.049</b>	<b>99.06</b>	<b>99.354</b>	<b>99.005</b>
Análisis Id	hbl(plgb51)-45	hbl-(plgb63)-66	hbl-(plgb64)-67	hbl-(plgb67)-68	hbl-b-101	hbl-b-106	hbl-b-107	hbl-b-108	hbl-c-96	hbl-c-91
SiO2	52.684	51.499	52.075	51.824	51.588	51.847	51.071	52.777	51.405	50.921
TiO2	0.485	0.974	0.505	0.599	0.83	0.569	0.758	0.507	0.703	0.992
Al2O3	3.612	4.077	3.68	3.728	4.123	3.803	4.16	3.313	4.055	4.506
Cr2O3	0.013	0.023	0	0.015	0.004	0.022	0	0.015	0.017	0
MnO	0.711	0.644	0.573	0.749	0.695	0.757	0.653	0.587	0.648	0.678
FeO	12.118	11.656	11.636	11.316	12.112	12.584	12.168	11.771	11.937	12.514
NiO	0.006	0.047	0.006	0.045	0	0.019	0.009	0	0	0
MgO	17.014	17.414	16.904	17.1	17.408	16.67	16.731	17.396	16.996	16.254
CaO	11.805	11.304	11.658	11.978	11.665	11.731	12.066	11.829	11.89	11.826
Na2O	0.729	0.982	0.769	0.792	0.786	0.801	0.83	0.639	0.813	0.856
K2O	0.285	0.342	0.281	0.306	0.405	0.192	0.392	0.241	0.349	0.353
F	0.303	0.694	0.454	0.061	0.393	0.422	0.393	0.424	0.424	0.061
<b>Total</b>	<b>99.765</b>	<b>99.656</b>	<b>98.541</b>	<b>98.513</b>	<b>100.009</b>	<b>99.417</b>	<b>99.231</b>	<b>99.499</b>	<b>99.237</b>	<b>98.961</b>
Análisis Id	hbl-(plgb68)-69	hbl-b-110	hbl-b-111	hbl-b-113	hbl-b-46	hbl-b-48	hbl-b-51	hbl-b-52	hbl-c-97	hbl-c-59
SiO2	52.419	52.189	51.368	52.685	52.061	51.86	50.911	52.675	51.922	51.484
TiO2	0.712	0.825	0.922	0.503	0.467	0.525	0.554	0.694	0.82	0.967
Al2O3	3.842	4.112	4.772	3.423	3.61	3.983	4.412	3.609	3.852	4.577
Cr2O3	0.02	0.038	0	0.006	0	0.009	0.005	0.003	0	0.011
MnO	0.569	0.628	0.618	0.553	0.645	0.54	0.71	0.564	0.71	0.654
FeO	10.41	11.946	12.394	11.43	12.133	12.479	13.003	12.025	11.479	11.941
NiO	0.002	0	0	0.006	0	0	0	0	0.041	0.043
MgO	17.546	17.081	16.209	17.578	16.745	16.532	16.109	16.962	17.297	16.874
CaO	11.846	11.819	11.592	12.03	11.547	11.856	11.685	11.768	11.732	11.616
Na2O	0.724	0.772	0.864	0.68	0.827	0.715	0.714	0.733	0.839	0.948
K2O	0.322	0.329	0.33	0.267	0.264	0.322	0.377	0.327	0.355	0.398
F	0.306	0.273	0.121	0.333	0.454	0.363	0.332	0.243	0.425	0.424
<b>Total</b>	<b>98.718</b>	<b>100.012</b>	<b>99.19</b>	<b>99.494</b>	<b>98.753</b>	<b>99.184</b>	<b>98.812</b>	<b>99.603</b>	<b>99.472</b>	<b>99.937</b>



<b>Análisis Id</b>	<b>hbl-b-61</b>	<b>hbl-b-62</b>	<b>hbl-b-63</b>	<b>hbl-b-74</b>	<b>hbl-b-75</b>	<b>hbl-b-81</b>	<b>hbl-b-83</b>	<b>hbl-b-85</b>	<b>hbl-b-89</b>	<b>hbl-b-90</b>	<b>hbl-b-93</b>	<b>hbl-b-94</b>	<b>hbl-c-88</b>
SiO2	52.03	53.17	52.67	50.50	51.91	52.11	52.48	51.33	51.35	50.46	51.88	50.95	52.11
TiO2	0.754	0.611	0.378	0.914	0.784	0.664	0.706	0.844	0.852	0.934	0.576	0.861	0.597
Al2O3	4.03	3.318	3.252	4.977	4.11	3.952	3.627	4.317	4.233	4.763	4.052	4.386	3.751
Cr2O3	0	0.037	0	0.009	0.022	0	0	0	0	0.017	0.023	0.006	0.001
MnO	0.615	0.786	0.705	0.639	0.545	0.658	0.834	0.763	0.725	0.696	0.767	0.606	0.83
FeO	11.668	11.492	11.823	13.114	12	12.407	11.713	11.965	12.147	12.839	12.636	12.019	12.067
NiO	0	0.011	0	0	0.004	0.009	0	0.024	0.026	0	0	0	0.002
MgO	17.111	17.536	16.894	16.463	16.75	16.985	17.248	17.041	16.853	16.376	16.752	16.477	16.894
CaO	11.737	11.468	11.597	11.495	11.895	11.868	11.623	11.733	11.827	11.746	11.72	11.773	11.754
Na2O	0.759	0.744	0.753	1.004	0.736	0.79	0.735	0.977	0.915	0.989	0.763	0.885	0.763
K2O	0.286	0.237	0.261	0.455	0.334	0.285	0.273	0.379	0.387	0.407	0.343	0.306	0.372
F	0.273	0.364	0.424	0.151	0.03	0.182	0.243	0.515	0.394	0.121	0.423	0.484	0.364
<b>Total</b>	<b>99.267</b>	<b>99.781</b>	<b>98.759</b>	<b>99.724</b>	<b>99.121</b>	<b>99.912</b>	<b>99.491</b>	<b>99.891</b>	<b>99.712</b>	<b>99.349</b>	<b>99.941</b>	<b>98.757</b>	<b>99.513</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>hbl-b-55</b>	<b>hbl-b-98</b>	<b>hbl-c-100</b>	<b>hbl-c-105</b>	<b>hbl-c-109</b>	<b>hbl-c-112</b>	<b>hbl-c-114</b>	<b>hbl-c-115</b>	<b>hbl-c-47</b>	<b>hbl-c-50</b>	<b>hbl-c-53</b>	<b>hbl-c-54</b>	<b>hbl-c-87</b>
SiO2	52.774	51.84	51.119	52.37	51.262	52.03	51.863	51.68	51.568	52.182	52.017	53.092	51.558
TiO2	0.655	0.682	0.929	0.555	0.75	0.727	0.826	0.589	0.81	0.605	0.844	0.438	0.648
Al2O3	3.426	4.061	4.296	3.417	4.043	3.633	3.804	3.826	3.749	3.821	3.978	3.39	4.116
Cr2O3	0	0.029	0.016	0.006	0.009	0.009	0.007	0	0.023	0	0.01	0.02	0.009
MnO	0.677	0.795	0.757	0.521	0.77	0.732	0.77	0.689	0.607	0.724	0.753	0.649	0.715
FeO	12.201	11.655	11.499	12.031	12.244	11.935	11.544	12.397	12.257	13.008	11.792	11.675	11.803
NiO	0	0	0.022	0.013	0	0	0	0	0	0	0.026	0.011	0.065
MgO	17.379	17.308	16.893	17.112	16.405	16.954	17.201	16.921	16.507	16.449	17.198	17.646	17.102
CaO	11.894	11.685	11.671	11.794	11.753	11.413	11.706	11.791	11.871	11.437	11.678	11.935	11.51
Na2O	0.706	0.994	0.997	0.61	0.763	0.824	0.784	0.803	0.853	0.748	0.929	0.68	0.88
K2O	0.257	0.366	0.387	0.236	0.35	0.296	0.327	0.324	0.311	0.322	0.334	0.277	0.336
F	0	0.515	0.243	0.393	0.363	0.272	0.304	0.121	0.485	0.03	0.304	0.061	0.393
<b>Total</b>	<b>99.969</b>	<b>99.93</b>	<b>98.829</b>	<b>99.058</b>	<b>98.712</b>	<b>98.825</b>	<b>99.136</b>	<b>99.141</b>	<b>99.041</b>	<b>99.326</b>	<b>99.863</b>	<b>99.874</b>	<b>99.135</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>hbl-c-64</b>	<b>hbl-c-65</b>	<b>hbl-c-70</b>	<b>hbl-c-71</b>	<b>hbl-c-76</b>	<b>hbl-c-77</b>	<b>hbl-c-78</b>	<b>hbl-c-80</b>	<b>hbl-c-82</b>	<b>hbl-c-86</b>			
SiO2	52.987	51.27	51.832	51.998	50.935	51.935	50.582	52.351	51.52	52.811			
TiO2	0.445	1.043	0.816	0.633	0.919	0.609	1.051	0.508	0.983	0.503			
Al2O3	3.62	4.218	3.86	3.728	4.219	3.968	4.54	3.566	4.444	3.282			
Cr2O3	0.004	0.003	0.014	0.001	0	0.005	0.002	0.007	0.015	0.019			
MnO	0.687	0.734	0.54	0.682	0.733	0.72	0.586	0.725	0.663	0.698			
FeO	12.284	12.272	11.998	11.276	12.113	11.722	12.402	11.865	12.201	11.401			
NiO	0.052	0	0	0	0.03	0	0.002	0	0	0.009			
MgO	16.814	16.674	17.167	17.931	16.313	17.042	16.504	16.899	16.72	17.419			
CaO	11.43	11.317	11.724	11.933	11.856	11.857	11.721	11.631	11.835	12.22			
Na2O	0.752	0.955	0.866	0.881	0.937	0.704	1.012	0.799	1.004	0.71			
K2O	0.258	0.356	0.346	0.324	0.338	0.303	0.379	0.236	0.395	0.3			
F	0.543	0.393	0.273	0.515	0.273	0.274	0.302	0.152	0.334	0.061			
<b>Total</b>	<b>99.876</b>	<b>99.235</b>	<b>99.436</b>	<b>99.902</b>	<b>98.666</b>	<b>99.139</b>	<b>99.083</b>	<b>98.739</b>	<b>100.114</b>	<b>99.433</b>			

<b>Anexo 2-3. Resultados del análisis químico de horblenda en microsonda electrónica. Muestra Zp-08</b>									
<b>Análisis Id</b>	<b>hbl-(plgb100)-127</b>	<b>hbl-(plgb101)-128</b>	<b>hbl-(plgb102)-129</b>	<b>hbl-(plgb103)-130</b>	<b>hbl-(plgb107)-132</b>	<b>hbl-c-137</b>	<b>hbl-c-140</b>	<b>hbl-c-156</b>	<b>hbl-b-155</b>
SiO2	47.573	48.264	48.705	51.388	49.65	48.059	49.091	53.976	52.097
TiO2	1.559	1.203	1.089	0.671	0.852	1.252	1.138	0.33	0.523
Al2O3	7.088	6.563	6.322	4.62	5.615	6.258	6.089	3.765	4.36
Cr2O3	0	0.004	0.019	0	0.007	0	0.014	0	0.025
MnO	0.558	0.604	0.618	0.494	0.502	0.542	0.561	0.687	0.639
FeO	17.722	18.392	17.628	14.118	15.734	19.018	17.861	11.507	13.761
NiO	0	0.041	0	0	0.03	0	0.009	0.006	0.028
MgO	13.001	12.6	13.169	15.525	14.552	12.488	13.184	17.28	15.949
CaO	11.354	10.769	10.94	11.924	11.727	10.974	10.748	12.262	11.637
Na2O	0.954	0.753	0.834	0.485	0.686	0.853	0.873	0.409	0.528
K2O	0.671	0.54	0.516	0.33	0.448	0.584	0.519	0.183	0.298
F	0	0.058	0	0	0.148	0.087	0.058	0	0
<b>Total</b>	<b>100.48</b>	<b>99.791</b>	<b>99.84</b>	<b>99.555</b>	<b>99.951</b>	<b>100.115</b>	<b>100.145</b>	<b>100.405</b>	<b>99.845</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>hbl-(plgb108)-133</b>	<b>hbl-(plgb109)-138</b>	<b>hbl-(plgb110)-139</b>	<b>hbl-(plgb117)-145</b>	<b>hbl-(plgb118)-146</b>	<b>hbl-c-142</b>	<b>hbl-c-143</b>	<b>hbl-c-136</b>	<b>hbl-c-135</b>
SiO2	49.202	50.118	51.395	50.948	48.59	50.742	49.703	49.789	49.022
TiO2	1.025	0.9	0.623	0.719	1.372	0.831	1.05	1.009	1.13
Al2O3	6.011	5.897	4.988	5.141	6.209	4.97	6.037	5.891	6.011
Cr2O3	0	0	0.002	0	0	0.014	0	0.011	0.044
MnO	0.666	0.652	0.592	0.577	0.548	0.596	0.669	0.622	0.739
FeO	15.688	15.066	14.227	14.331	16.544	15.738	16.634	18.392	17.596
NiO	0	0	0.047	0	0	0.034	0.011	0.019	0.026
MgO	14.105	14.961	15.71	15.378	13.343	15.003	14.047	13.569	13.638
CaO	11.536	11.52	11.85	11.738	11.523	12.021	11.267	10.781	10.904
Na2O	0.79	0.627	0.546	0.554	0.762	0.599	0.72	0.723	0.865
K2O	0.503	0.418	0.376	0.334	0.571	0.402	0.455	0.438	0.518
F	0	0.415	0	0	0	0.059	0.088	0.174	0.117
<b>Total</b>	<b>99.526</b>	<b>100.574</b>	<b>100.356</b>	<b>99.72</b>	<b>99.462</b>	<b>101.009</b>	<b>100.681</b>	<b>101.418</b>	<b>100.61</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>hbl-(plgb119)-147</b>	<b>hbl-(plgb120)-148</b>	<b>hbl-(plgb126)-150</b>	<b>hbl-(plgb127)-151</b>	<b>hbl-(plgb128)-152</b>	<b>hbl-c-153</b>	<b>hbl-c-154</b>	<b>hbl-c-120</b>	<b>hbl-c-134</b>
SiO2	51.032	48.501	52.39	50.848	52.21	51.075	48.672	49.201	48.016
TiO2	0.721	1.174	0.49	0.547	0.606	0.656	1.196	1.132	1.577
Al2O3	4.573	6.68	4.374	4.71	4.01	4.587	6.28	5.928	6.931
Cr2O3	0.008	0	0	0	0.024	0	0	0	0
MnO	0.507	0.556	0.573	0.46	0.577	0.511	0.683	0.576	0.473
FeO	14.124	17.071	13.914	14.532	13.604	15.001	17.427	18.69	17.788
NiO	0	0.015	0.045	0.011	0	0.021	0	0	0
MgO	15.575	13.299	15.841	15.036	16.27	15.201	13.036	12.756	12.901
CaO	11.854	11.212	11.947	12.095	11.916	11.875	11.064	10.776	11.059
Na2O	0.475	0.816	0.47	0.591	0.443	0.576	0.779	0.847	0.906
K2O	0.316	0.577	0.238	0.317	0.262	0.279	0.551	0.539	0.605
F	0.119	0	0.09	0.208	0.15	0	0.059	0	0
<b>Total</b>	<b>99.304</b>	<b>99.901</b>	<b>100.372</b>	<b>99.355</b>	<b>100.072</b>	<b>99.782</b>	<b>99.747</b>	<b>100.445</b>	<b>100.256</b>

Análisis Id	hbl-(plgb89)-116	hbl-(plgb90)-117	hbl-(plgb96)-118	hbl-(plgb97)-119	hbl-(plgb98)-125	hbl-b-144	hbl-b-149	hbl-c-124	hbl-c-123
SiO2	49.947	47.49	49.243	50.984	49.513	48.844	48.764	48.32	47.564
TiO2	0.948	1.493	1.081	0.705	0.968	1.083	1.22	1.182	1.338
Al2O3	5.644	6.925	5.807	4.751	5.634	6.011	6.303	6.355	7.083
Cr2O3	0.003	0	0.004	0	0	0.009	0.046	0	0.012
MnO	0.56	0.421	0.666	0.574	0.465	0.606	0.631	0.533	0.689
FeO	14.955	18.613	16.586	14.634	16.228	19.197	17.145	19.243	17.834
NiO	0.058	0	0	0.024	0	0	0	0	0.056
MgO	15.022	12.114	13.889	15.239	14.002	12.594	13.454	12.476	12.984
CaO	11.608	11.052	11.015	11.689	11.185	10.736	10.905	10.904	10.769
Na2O	0.684	0.919	0.822	0.483	0.754	0.878	0.843	0.87	0.96
K2O	0.448	0.603	0.474	0.35	0.443	0.502	0.607	0.544	0.638
F	0.119	0.117	0.177	0	0	0.173	0.088	0	0
<b>Total</b>	<b>99.996</b>	<b>99.747</b>	<b>99.764</b>	<b>99.433</b>	<b>99.192</b>	<b>100.633</b>	<b>100.006</b>	<b>100.427</b>	<b>99.927</b>
Análisis Id	hbl-(plgb99)-126	hbl-b-122	hbl-b-141	hbl-c-121					
SiO2	50.408	52.069	51.598	47.873					
TiO2	0.827	0.543	0.719	1.389					
Al2O3	5.276	4.336	4.74	6.825					
Cr2O3	0	0.012	0.037	0.01					
MnO	0.696	0.599	0.432	0.384					
FeO	15.186	14.003	14.231	18.484					
NiO	0	0.017	0.049	0.017					
MgO	15.047	15.88	15.511	12.592					
CaO	11.556	11.931	11.863	10.884					
Na2O	0.7	0.463	0.642	0.95					
K2O	0.439	0.293	0.407	0.534					
F	0.149	0	0.268	0.204					
<b>Total</b>	<b>100.284</b>	<b>100.146</b>	<b>100.497</b>	<b>100.146</b>					

**Anexo 2-4. Resultados del análisis químico de horblenda en microsonda electrónica. Muestra Sgpc-02**

Análisis Id	hbl-(plgb132)-157	hbl-(plgb152)-175	hbl-(plgb155)-176	hbl-b-159	hbl-b-160	hbl-b-161	hbl-b-172
SiO2	46.46	45.73	46.544	46.057	46.658	45.823	47.524
TiO2	0.829	0.894	0.79	0.917	0.826	0.966	1.093
Al2O3	6.539	6.782	6.894	6.685	6.239	6.956	5.909
Cr2O3	0.042	0	0	0.017	0.03	0.001	0.028
MnO	0.798	1.062	1.058	1.08	0.928	1.063	0.911
FeO	23.244	23.462	22.63	23.143	22.789	22.856	21.462
NiO	0	0	0	0	0	0.021	0.021
MgO	9.163	8.853	9.576	9.249	9.696	9.067	10.335
CaO	10.605	10.715	10.46	10.274	10.644	10.61	10.544
Na2O	1.103	1.18	1.033	1.197	1.061	1.104	1.07
K2O	0.604	0.684	0.671	0.655	0.585	0.718	0.542
F	0.141	0.141	0.17	0.423	0.17	0.368	0.286
<b>Total</b>	<b>99.528</b>	<b>99.503</b>	<b>99.826</b>	<b>99.697</b>	<b>99.626</b>	<b>99.553</b>	<b>99.725</b>
Análisis Id	hbl-b-162 Line 002	hbl-b-162 Line 003	hbl-b-162 Line 004	hbl-b-162 Line 007	hbl-b-169	hbl-b-170	hbl-c-158
SiO2	45.532	45.167	45.127	46.083	45.243	45.67	46.211
TiO2	1.63	1.704	1.542	1.381	1.375	1.273	0.884
Al2O3	7.682	7.92	7.684	6.758	7.53	7.463	6.552
Cr2O3	0.007	0.071	0.032	0.049	0.009	0.026	0
MnO	0.749	0.747	0.93	0.822	0.86	1.063	0.998
FeO	21.253	21.906	21.638	21.355	22.031	22.618	23.331
NiO	0	0	0.011	0.03	0.004	0	0
MgO	9.128	9.259	9.19	9.275	9.331	9.332	9.005
CaO	10.874	10.554	10.972	10.739	10.778	10.564	10.467
Na2O	1.302	1.297	1.179	1.161	1.194	1.166	1.163
K2O	0.731	0.8	0.744	0.708	0.755	0.672	0.664
F	0.515	0.257	0.401	0.229	0.342	0.029	0.451
<b>Total</b>	<b>99.403</b>	<b>99.682</b>	<b>99.45</b>	<b>98.59</b>	<b>99.452</b>	<b>99.876</b>	<b>99.726</b>
Análisis Id	hbl-b-162 Line 001	hbl-b-162 Line 005	hbl-b-162 Line 006	hbl-b-165	hbl-b-167	hbl-b-168	hbl-b-173
SiO2	44.14	44.496	46.069	46.412	46.461	47.703	45.481
TiO2	1.987	1.812	1.431	1.274	1.305	0.986	1.477
Al2O3	8.769	8.488	7.29	6.869	7.21	5.958	7.511
Cr2O3	0	0.011	0.012	0	0	0.03	0.009
MnO	0.799	0.877	0.915	1.003	0.781	1.111	0.928
FeO	22.546	22.31	22.199	21.817	21.913	21.688	21.333
NiO	0	0.013	0.013	0.038	0.011	0	0.055
MgO	8.437	8.208	9.276	9.657	9.459	9.993	9.363
CaO	10.871	10.541	10.872	10.805	10.873	10.554	10.725
Na2O	1.46	1.364	1.267	1.124	1.288	0.969	1.224
K2O	0.8	0.847	0.718	0.641	0.706	0.551	0.755
F	0.37	0.057	0.172	0.257	0.626	0	0.229
<b>Total</b>	<b>100.179</b>	<b>99.024</b>	<b>100.234</b>	<b>99.897</b>	<b>100.633</b>	<b>99.543</b>	<b>99.09</b>

<b>Anexo 2-5. Resultados del análisis químico de feldspatos en microsonda electrónica. Muestra Zp-02</b>												
<b>Análisis Id</b>	<b>plg c-2</b>	<b>plg c-4</b>	<b>plg c-5</b>	<b>feld b-16</b>	<b>plg c-7</b>	<b>plg c-9</b>	<b>plg c-10</b>	<b>plg c-20</b>	<b>plg b-13Lin4</b>	<b>plg b-13Lin5</b>	<b>feld b-36</b>	<b>plg c-17</b>
SiO2	56.99	61.74	55.14	65.46	61.28	60.60	60.55	55.04	58.96	60.9	65.31	65.85
Al2O3	28.21	25.37	29.50	18.8	25.66	25.65	25.75	27.46	26.65	25.29	19.06	18.88
FeO	0.29	0.18	0.19	0	0.33	0.20	0.28	0.34	0.42	0.16	0.06	0.12
SrO	0.25	0.09	0.22	0	0.24	0.21	0.14	0.33	0.22	0.1	0.01	0
BaO	0.04	0.05	0.03	0.27	0.11	0.01	0.04	0.03	0.05	0.10	0.24	0.3
CaO	9.34	5.97	10.47	0	6.16	6.51	6.56	8.86	7.39	6.06	0.04	0
Na2O	5.70	7.75	5.02	1.46	7.56	7.35	7.17	6.41	6.88	7.65	1.14	1.53
K2O	0.22	0.14	0.11	14.92	0.27	0.29	0.35	0.23	0.29	0.37	15.81	14.50
<b>Total</b>	<b>101.07</b>	<b>101.33</b>	<b>100.71</b>	<b>100.94</b>	<b>101.66</b>	<b>100.85</b>	<b>100.88</b>	<b>98.74</b>	<b>100.90</b>	<b>100.75</b>	<b>101.71</b>	<b>101.21</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg c-31</b>	<b>plg c-32</b>	<b>plg c-34</b>	<b>plg c-41</b>	<b>plg c-14</b>	<b>plg c-18</b>	<b>plg b-1</b>	<b>plg b-8</b>	<b>plg b-13Lin1</b>	<b>plg b-13Lin4</b>	<b>feld b-39</b>	
SiO2	58.92	59.72	62.04	59.52	58.77	58.53	58.80	64.95	58.22	59.01	64.67	
Al2O3	27.09	25.97	24.34	25.9	27.03	27.13	26.95	22.74	27.03	26.23	19.27	
FeO	0.23	0.22	0.14	0.17	0.29	0.27	0.21	0.22	0.3	0.28	0.07	
SrO	0.18	0.16	0.08	0.27	0.32	0.28	0.23	0.04	0.08	0.23	0	
BaO	0.06	0.05	0.08	0.01	0.08	0.10	0.08	0.02	0.03	0.11	1.13	
CaO	7.90	6.52	5.00	7.24	8.02	8.02	7.79	3.11	8.23	7.59	0.00	
Na2O	6.72	7.36	7.86	6.85	6.45	6.49	6.64	9.59	6.76	6.77	0.7	
K2O	0.25	0.30	0.45	0.19	0.25	0.21	0.20	0.25	0.20	0.26	15.76	
<b>Total</b>	<b>101.39</b>	<b>100.33</b>	<b>100.02</b>	<b>100.19</b>	<b>101.25</b>	<b>101.05</b>	<b>100.93</b>	<b>100.95</b>	<b>100.88</b>	<b>100.50</b>	<b>101.62</b>	
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-12</b>	<b>plg b-21</b>	<b>plg b-29Lin1</b>	<b>plg b-29Lin2</b>	<b>plg b-29Lin3</b>	<b>plg b-29Lin4</b>	<b>plg b-29Lin5</b>	<b>plg b-35</b>	<b>plg b-13Lin5</b>	<b>plg b-15</b>	<b>plg c-6</b>	
SiO2	65.50	62.47	58.30	58.3	59.7	60.30	61.88	64.61	60.97	64.49	56.95	
Al2O3	22.72	23.10	27.18	27.22	26.08	25.86	24.77	23.14	25.09	22.95	28.69	
FeO	0.06	0.16	0.41	0.36	0.20	0.32	0.17	0.21	0.24	0.12	0.35	
SrO	0.00	0.03	0.18	0.11	0.22	0.31	0.04	0.00	0.18	0	0.43	
BaO	0.04	0.03	0.08	0.07	0.08	0.11	0.13	0.01	0.04	0.02	0.05	
CaO	3.12	3.72	8.32	8.38	7.14	6.81	5.33	3.97	6.26	3.63	9.90	
Na2O	9.53	9.56	6.23	6.36	6.98	7.20	7.72	8.84	7.41	9.20	5.64	
K2O	0.27	0.27	0.24	0.25	0.30	0.27	0.37	0.37	0.29	0.22	0.21	
<b>Total</b>	<b>101.26</b>	<b>99.37</b>	<b>100.98</b>	<b>101.09</b>	<b>100.74</b>	<b>101.20</b>	<b>100.4</b>	<b>101.1</b>	<b>100.51</b>	<b>100.64</b>	<b>102.27</b>	
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-38</b>	<b>plg b-40</b>	<b>plg b-43</b>	<b>plg b-44</b>	<b>plg b-46</b>	<b>plg b-13Lin1</b>	<b>plg b-13Lin2</b>	<b>plg b-13Lin3</b>	<b>plg b-19</b>	<b>feld b-29</b>	<b>plg b-42</b>	
SiO2	61.71	67.34	64.21	64.30	63.42	56.07	56.35	58.88	65.29	65.67	65.36	
Al2O3	24.80	21.20	22.86	23.30	23.88	28.20	28.29	26.49	22.77	19.14	19.05	
FeO	0.27	0.23	0.27	0.22	0.23	0.26	0.34	0.27	0.19	0.10	0.18	
SrO	0.13	0.00	0.05	0.01	0.01	0.29	0.29	0.32	0.01	0.10	0.00	
BaO	0.13	0.00	0	0.02	0.00	0.10	0.09	0.08	0.01	0.30	0.27	
CaO	5.64	1.36	3.71	3.78	4.50	9.66	9.75	7.62	3.07	0.01	0.00	
Na2O	7.82	10.58	8.96	8.76	8.63	5.46	5.55	6.73	9.19	1.49	1.03	
K2O	0.35	0.11	0.10	0.24	0.18	0.22	0.25	0.41	0.13	14.81	15.55	
<b>Total</b>	<b>100.88</b>	<b>100.86</b>	<b>100.18</b>	<b>100.66</b>	<b>100.89</b>	<b>100.30</b>	<b>100.94</b>	<b>100.83</b>	<b>100.7</b>	<b>101.65</b>	<b>101.42</b>	

**Anexo 2-6. Resultados del análisis químico de feldespatos en microsonda electrónica. Muestra Zp-07**

Análisis Id	plg c-50	plg c-53	plg c-54	plg c-55 Line 001	plg c-60	plg b-48	plg b-51
SiO2	57.33	56.49	59.12	56.38	58.80	57.44	58.47
Al2O3	27.28	27.93	25.96	27.59	26.47	26.46	26.84
FeO	0.43	0.23	0.41	0.37	0.32	0.45	0.31
SrO	0.24	0.25	0.07	0.32	0.06	0.29	0.15
BaO	0.04	0.11	0.12	0.09	0.06	0.11	0.10
CaO	8.82	9.24	7.13	8.90	7.89	8.36	7.72
Na2O	6.13	5.86	6.89	5.93	6.79	6.40	6.56
K2O	0.34	0.42	0.44	0.32	0.16	0.19	0.23
<b>Total</b>	<b>100.61</b>	<b>100.51</b>	<b>100.12</b>	<b>99.89</b>	<b>100.53</b>	<b>99.70</b>	<b>100.38</b>
Análisis Id	plg b-59	plg b-70 Line 011	plg b-70 Line 012	plg c-55 Line 002	plg b-61	plg b-63	plg b-64
SiO2	64.26	57.81	54.06	56.96	61.80	65.95	61.18
Al2O3	22.73	26.87	29.40	27.09	24.20	21.69	24.24
FeO	0.25	0.43	0.32	0.37	0.11	0.28	0.19
SrO	0.00	0.24	0.05	0.30	0.00	0.00	0.00
BaO	0.02	0.08	0.09	0.06	0.06	0.03	0.09
CaO	3.57	8.41	11.49	8.38	5.10	2.41	5.58
Na2O	8.89	6.07	4.53	5.98	8.21	9.76	8.13
K2O	0.30	0.35	0.18	0.38	0.17	0.38	0.19
<b>Total</b>	<b>100.02</b>	<b>100.26</b>	<b>100.12</b>	<b>99.52</b>	<b>99.63</b>	<b>100.49</b>	<b>99.59</b>
Análisis Id	plg b-70 Line 013	plg b-70 Line 014	feld b-72 Line 002	plg c-55 Line 003	plg b-70 Line 001	plg b-70 Line 002	plg b-70 Line 003
SiO2	57.56	58.59	57.21	58.67	60.40	58.39	58.72
Al2O3	27.01	26.07	26.93	25.98	25.05	26.00	26.29
FeO	0.34	0.37	0.29	0.30	0.26	0.31	0.22
SrO	0.19	0.18	0.15	0.13	0.28	0.23	0.17
BaO	0.09	0.08	0.08	0.07	0.05	0.07	0.03
CaO	8.18	7.29	8.54	7.15	6.50	7.87	7.45
Na2O	6.31	6.70	5.94	6.69	7.34	6.51	6.85
K2O	0.17	0.31	0.45	0.46	0.68	0.39	0.39
<b>Total</b>	<b>99.85</b>	<b>99.58</b>	<b>99.58</b>	<b>99.46</b>	<b>100.56</b>	<b>99.76</b>	<b>100.12</b>
Análisis Id	plg b-70 Line 015	feld b-72 Line 001	feld b-72 Line 003	plg c-55 Line 005	plg b-70 Line 005	plg b-70 Line 006	plg b-70 Line 007
SiO2	64.44	57.65	56.49	59.61	58.73	55.67	58.08
Al2O3	22.78	26.92	27.79	25.41	26.30	28.36	26.59
FeO	0.27	0.28	0.30	0.18	0.22	0.31	0.34
SrO	0.00	0.09	0.21	0.00	0.30	0.05	0.20
BaO	0.00	0.09	0.06	0.07	0.11	0.10	0.12
CaO	3.30	8.28	9.28	6.82	7.57	9.76	7.68
Na2O	9.00	5.79	5.71	7.24	6.52	5.26	6.44
K2O	0.37	0.38	0.38	0.26	0.37	0.25	0.49
<b>Total</b>	<b>100.16</b>	<b>99.47</b>	<b>100.22</b>	<b>99.58</b>	<b>100.11</b>	<b>99.77</b>	<b>99.94</b>

<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-57</b>	<b>plg b-58</b>	<b>feld b-72 Line 004</b>	<b>feld b-72 Line 005</b>	<b>feld b-72 Line 006</b>	<b>feld b-72 Line 007</b>	<b>feld b-72 Line 020</b>
SiO2	66.26	65.53	57.37	59.24	59.00	58.85	65.37
Al2O3	21.19	21.83	26.97	25.87	25.50	26.59	22.05
FeO	0.25	0.35	0.35	0.30	0.34	0.28	0.20
SrO	0.00	0.00	0.13	0.19	0.28	0.11	0.00
BaO	0.00	0.03	0.06	0.07	0.09	0.09	0.04
CaO	1.95	2.60	8.68	7.08	6.67	7.94	2.76
Na2O	10.09	9.47	5.98	6.52	6.67	6.30	9.73
K2O	0.27	0.27	0.49	0.69	0.67	0.59	0.40
<b>Total</b>	<b>100.01</b>	<b>100.08</b>	<b>100.02</b>	<b>99.97</b>	<b>99.22</b>	<b>100.75</b>	<b>100.55</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-67</b>	<b>plg b-68</b>	<b>feld b-72 Line 008</b>	<b>feld b-72 Line 009</b>	<b>feld b-72 Line 010</b>	<b>feld b-72 Line 011</b>	<b>plg b-73</b>
SiO2	65.27	62.78	60.16	58.49	59.66	59.78	63.56
Al2O3	22.10	23.44	25.52	26.28	25.56	25.73	22.95
FeO	0.30	0.28	0.29	0.26	0.27	0.36	0.27
SrO	0.00	0.01	0.21	0.16	0.16	0.24	0.00
BaO	0.00	0.09	0.09	0.10	0.05	0.12	0.06
CaO	2.62	4.31	6.58	7.57	7.10	6.84	3.91
Na2O	9.67	8.44	6.66	6.33	6.78	6.87	8.85
K2O	0.29	0.38	1.01	0.54	0.67	0.80	0.40
<b>Total</b>	<b>100.26</b>	<b>99.74</b>	<b>100.52</b>	<b>99.72</b>	<b>100.25</b>	<b>100.74</b>	<b>99.99</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-70 Line 004</b>	<b>plg b-70 Line 010</b>	<b>feld b-72 Line 012</b>	<b>feld b-72 Line 013</b>	<b>feld b-72 Line 014</b>	<b>feld b-72 Line 015</b>	<b>plg b-76 Line 001</b>
SiO2	57.21	57.85	58.64	54.59	58.47	53.75	54.80
Al2O3	26.92	26.58	26.36	29.49	26.35	29.70	28.61
FeO	0.31	0.29	0.33	0.26	0.26	0.42	0.29
SrO	0.13	0.29	0.20	0.08	0.29	0.18	0.11
BaO	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	0.02	0.04
CaO	8.83	7.89	7.44	11.38	7.95	11.25	10.50
Na2O	6.03	6.41	6.37	4.67	6.72	4.57	4.95
K2O	0.38	0.51	0.58	0.27	0.47	0.25	0.34
<b>Total</b>	<b>99.86</b>	<b>99.89</b>	<b>99.97</b>	<b>100.79</b>	<b>100.56</b>	<b>100.14</b>	<b>99.65</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-70 Line 008</b>	<b>plg b-70 Line 009</b>	<b>feld b-72 Line 016</b>	<b>feld b-72 Line 017</b>	<b>feld b-72 Line 018</b>	<b>feld b-72 Line 019</b>	<b>plg b-76 Line 002</b>
SiO2	60.51	57.07	57.98	58.76	59.68	59.32	54.15
Al2O3	25.29	26.93	27.01	26.77	25.90	25.91	29.02
FeO	0.31	0.23	0.23	0.31	0.28	0.26	0.27
SrO	0.18	0.25	0.24	0.18	0.03	0.24	0.16
BaO	0.09	0.11	0.06	0.13	0.09	0.09	0.05
CaO	6.16	8.51	8.23	7.98	6.79	6.96	10.89
Na2O	7.53	6.04	6.19	6.68	7.17	7.12	4.87
K2O	0.40	0.45	0.40	0.48	0.48	0.36	0.34
<b>Total</b>	<b>100.46</b>	<b>99.59</b>	<b>100.33</b>	<b>101.28</b>	<b>100.42</b>	<b>100.26</b>	<b>99.75</b>

<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-76 Lin003</b>	<b>plg b-76 Lin04</b>	<b>plg b-76 Lin05</b>	<b>plg b-76 Lin06</b>	<b>plg b-76 Lin007</b>	<b>plg b-76 Lin08</b>	<b>plg b-76 Lin09</b>
SiO2	54.68	54.65	54.51	55.06	54.79	54.34	55.21
Al2O3	28.85	28.88	29.02	28.33	28.63	29.01	28.54
FeO	0.31	0.29	0.25	0.25	0.31	0.33	0.16
SrO	0.16	0.19	0.20	0.32	0.11	0.14	0.22
BaO	0.04	0.03	0.02	0.01	0.02	0.08	0.04
CaO	10.35	10.96	10.50	10.36	10.12	10.34	10.30
Na2O	5.14	5.09	5.06	5.12	5.18	5.10	5.27
K2O	0.30	0.33	0.32	0.32	0.30	0.27	0.34
<b>Total</b>	<b>99.83</b>	<b>100.42</b>	<b>99.88</b>	<b>99.77</b>	<b>99.48</b>	<b>99.61</b>	<b>100.09</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-76 Lin010</b>	<b>plg b-76 Lin011</b>	<b>plg b-76 Lin012</b>	<b>plg b-76 Lin013</b>	<b>plg b-76 Lin014</b>	<b>plg b-76 Lin015</b>	<b>feld b-71</b>
SiO2	54.92	56.33	55.92	56.51	56.43	56.85	65.21
Al2O3	28.74	27.65	28.05	27.81	28.09	27.44	18.83
FeO	0.33	0.27	0.34	0.15	0.28	0.27	0.11
SrO	0.33	0.27	0.34	0.19	0.18	0.19	0.02
BaO	0.08	0.06	0.04	0.06	0.06	0.07	0.04
CaO	10.25	9.12	9.58	9.39	9.24	8.81	0.13
Na2O	5.27	5.86	5.71	6.09	5.79	5.88	1.66
K2O	0.31	0.28	0.20	0.28	0.30	0.23	14.95
<b>Total</b>	<b>100.22</b>	<b>99.84</b>	<b>100.19</b>	<b>100.49</b>	<b>100.36</b>	<b>99.74</b>	<b>100.96</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-78</b>	<b>plg b-80</b>	<b>plg b-83</b>	<b>feld b-52</b>	<b>feld b-62</b>	<b>feld b-65</b>	<b>feld b-74</b>
SiO2	64.90	62.33	65.85	65.08	65.14	64.70	64.48
Al2O3	22.20	23.50	21.64	19.15	18.68	18.91	18.90
FeO	0.14	0.24	0.17	0.10	0.07	0.11	0.15
SrO	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.08	0.03	0.02	0.81	0.04	0.71	0.64
CaO	2.94	4.66	2.14	0.04	0.04	0.10	0.00
Na2O	9.40	8.67	9.89	1.63	1.47	1.78	0.70
K2O	0.17	0.31	0.26	14.56	15.12	14.40	15.70
<b>Total</b>	<b>99.86</b>	<b>99.75</b>	<b>99.97</b>	<b>101.36</b>	<b>100.56</b>	<b>100.69</b>	<b>100.57</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>feld b-79</b>	<b>feld b-81</b>	<b>feld b-84</b>	<b>feld b-86</b>			
SiO2	65.88	63.68	65.20	64.95			
Al2O3	18.75	18.33	18.61	18.84			
FeO	0.14	0.11	0.16	0.05			
SrO	0.00	0.01	0.02	0.09			
BaO	0.04	0.10	0.06	0.18			
CaO	0.02	0.05	0.03	0.06			
Na2O	1.74	1.10	1.28	1.46			
K2O	14.79	14.99	15.34	15.09			
<b>Total</b>	<b>101.35</b>	<b>98.36</b>	<b>100.70</b>	<b>100.71</b>			



**Anexo 2-7. Resultados del análisis químico de feldspatos en microsonda electrónica. Muestra Zp-08**

Análisis Id	plg b-106 Line 007	plg b-90	plg b-91 Line 001	plg b-91 Line 002	plg b-91 Line 003	plg b-91 Line 004	plg b-91 Line 005
SiO2	65.37	60.42	55.79	56.41	56.40	55.74	56.49
Al2O3	19.09	25.88	28.92	28.26	28.22	28.57	27.76
FeO	0.12	0.25	0.30	0.32	0.27	0.30	0.28
SrO	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.02
BaO	0.85	0.06	0.06	0.01	0.04	0.03	0.06
CaO	0.08	6.77	10.29	9.70	9.80	10.28	9.67
Na2O	1.26	7.12	5.14	5.66	5.39	5.15	5.57
K2O	15.12	0.42	0.24	0.30	0.26	0.20	0.28
Total	101.93	100.92	100.74	100.66	100.38	100.30	100.12
Análisis Id	plg b-91 Line 011	plg b-91 Line 012	plg b-91 Line 013	plg b-91 Line 014	plg b-91 Line 015	plg b-91 Line 016	plg b-91 Line 017
SiO2	56.52	53.80	55.67	56.12	55.14	57.84	56.79
Al2O3	28.34	29.95	29.09	28.54	29.10	27.83	27.56
FeO	0.23	0.28	0.29	0.26	0.28	0.20	0.24
SrO	0.01	0.04	0.11	0.09	0.00	0.00	0.00
BaO	0.03	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.01
CaO	10.14	11.87	10.57	9.97	10.89	8.76	9.17
Na2O	5.36	4.31	5.02	5.62	5.00	6.05	5.78
K2O	0.28	0.16	0.21	0.23	0.23	0.30	0.26
Total	100.91	100.44	101.00	100.90	100.68	101.03	99.82
Análisis Id	plg b-98	plg b-99	plg b-100	plg b-101	plg b-103	plg c-104	plg b-105
SiO2	54.97	62.12	58.59	61.96	59.93	56.45	62.06
Al2O3	29.31	24.84	26.58	24.78	26.13	28.22	24.56
FeO	0.34	0.18	0.25	0.30	0.23	0.23	0.33
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
BaO	0.01	0.04	0.00	0.02	0.06	0.03	0.02
CaO	10.79	5.49	7.69	5.81	7.44	9.67	5.72
Na2O	5.06	8.07	6.85	7.86	6.63	5.53	7.65
K2O	0.17	0.30	0.25	0.36	0.30	0.23	0.36
Total	100.65	101.03	100.21	101.08	100.76	100.35	100.69
Análisis Id	plg b-106 Line 008	plg b-106 Line 009	plg b-106 Line 010	plg b-106 Line 011	plg b-106 Line 012	plg b-106 Line 013	plg b-106 Line 014
SiO2	56.98	57.36	56.88	56.66	56.26	55.99	60.10
Al2O3	28.12	27.94	28.20	28.40	28.55	28.76	25.45
FeO	0.29	0.31	0.30	0.28	0.22	0.34	0.28
SrO	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
BaO	0.06	0.04	0.11	0.05	0.06	0.03	0.05
CaO	9.62	8.97	9.41	9.67	9.91	10.20	6.70
Na2O	5.53	5.90	5.43	5.41	5.29	5.48	7.32
K2O	0.32	0.29	0.45	0.22	0.28	0.27	0.39
Total	100.96	100.80	100.77	100.70	100.58	101.10	100.29
Análisis Id	plg b-91 Line 006	plg b-91 Line 008	plg b-91 Line 010	plg b-108	plg b-109	plg b-110	plg b-128
SiO2	56.81	54.65	54.11	59.36	61.73	62.38	56.88
Al2O3	28.05	29.60	29.72	26.74	25.18	24.93	28.10

FeO	0.16	0.25	0.35	0.36	0.32	0.08	0.17
SrO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03
BaO	0.06	0.04	0.03	0.06	0.02	0.02	0.01
CaO	9.47	11.31	11.71	7.29	6.01	5.38	9.42
Na2O	5.82	4.58	4.33	6.75	7.84	7.92	5.62
K2O	0.23	0.16	0.17	0.30	0.24	0.12	0.20
<b>Total</b>	<b>100.59</b>	<b>100.58</b>	<b>100.42</b>	<b>100.85</b>	<b>101.33</b>	<b>100.82</b>	<b>100.44</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-91 Line 019</b>	<b>plg b-91 Line 020</b>	<b>plg b-97</b>	<b>plg b-118</b>	<b>plg b-119</b>	<b>plg b-120</b>	<b>feld b-93</b>
SiO2	55.14	55.17	60.64	55.89	60.85	62.90	65.64
Al2O3	28.40	29.24	25.27	28.69	25.43	24.02	19.21
FeO	0.32	0.22	0.31	0.25	0.22	0.27	0.18
SrO	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.08
BaO	0.04	0.04	0.02	0.01	0.00	0.02	0.30
CaO	9.76	10.80	6.33	10.11	6.15	4.91	0.03
Na2O	6.02	4.95	7.46	5.26	7.53	8.20	1.02
K2O	0.22	0.21	0.31	0.21	0.23	0.48	15.58
<b>Total</b>	<b>99.90</b>	<b>100.62</b>	<b>100.37</b>	<b>100.43</b>	<b>100.40</b>	<b>100.80</b>	<b>102.02</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-106 Line 003</b>	<b>plg b-106 Line 004</b>	<b>plg b-106 Line 005</b>	<b>plg b-129 Line 002</b>	<b>plg b-129 Line 003</b>	<b>plg b-129 Line 004</b>	<b>feld b-94</b>
SiO2	57.54	58.93	60.36	62.27	61.89	62.27	65.56
Al2O3	27.62	26.69	25.62	24.44	24.28	24.63	19.19
FeO	0.34	0.22	0.20	0.16	0.06	0.19	0.07
SrO	0.03	0.07	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06
BaO	0.04	0.02	0.09	0.04	0.04	0.04	0.35
CaO	8.84	8.11	6.68	5.28	5.10	5.30	0.00
Na2O	5.88	6.22	7.06	7.88	7.63	7.87	0.75
K2O	0.32	0.36	0.44	0.43	0.53	0.40	15.90
<b>Total</b>	<b>100.60</b>	<b>100.61</b>	<b>100.51</b>	<b>100.50</b>	<b>99.53</b>	<b>100.69</b>	<b>101.88</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-106 Line 015</b>	<b>plg b-107</b>	<b>plg b-129 Line 008</b>	<b>plg b-129 Line 009</b>	<b>plg b-129 Line 010</b>	<b>plg b-129 Line 011</b>	<b>feld b-111</b>
SiO2	61.90	58.74	56.70	55.77	56.70	55.57	65.18
Al2O3	24.67	26.49	27.98	29.03	28.33	28.64	18.98
FeO	0.08	0.39	0.14	0.29	0.19	0.21	0.06
SrO	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
BaO	0.04	0.06	0.10	0.09	0.07	0.09	0.33
CaO	5.68	7.77	9.47	10.69	9.71	10.38	0.03
Na2O	7.59	6.67	5.85	4.91	5.48	5.15	0.84
K2O	0.46	0.24	0.24	0.22	0.23	0.20	15.73
<b>Total</b>	<b>100.50</b>	<b>100.35</b>	<b>100.47</b>	<b>100.99</b>	<b>100.70</b>	<b>100.24</b>	<b>101.16</b>

<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-112</b>	<b>plg b-113</b>	<b>plg b-116</b>	<b>plg b-117</b>	<b>plg b-129 Line 015</b>	<b>feld b-114</b>
SiO2	60.76	59.73	61.00	55.99	63.18	65.43
Al2O3	25.58	26.55	25.72	28.69	23.77	19.21
FeO	0.08	0.11	0.21	0.31	0.21	0.00
SrO	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00
BaO	0.02	0.00	0.04	0.03	0.03	0.37
CaO	6.58	7.53	6.57	10.07	4.60	0.00
Na2O	7.35	6.65	7.28	5.29	8.29	0.63
K2O	0.27	0.29	0.31	0.18	0.52	16.26
<b>Total</b>	<b>100.65</b>	<b>100.89</b>	<b>101.13</b>	<b>100.56</b>	<b>100.60</b>	<b>101.89</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-121</b>	<b>plg b-124</b>	<b>plg b-125</b>	<b>plg b-126</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 005</b>	<b>feld b-115</b>
SiO2	61.09	57.16	58.21	62.43	54.98	65.22
Al2O3	24.69	28.04	27.51	24.81	29.18	18.79
FeO	0.22	0.17	0.13	0.31	0.18	0.10
SrO	0.00	0.03	0.16	0.00	0.00	0.06
BaO	0.03	0.08	0.11	0.02	0.10	0.25
CaO	5.78	9.31	8.57	5.34	10.70	0.02
Na2O	7.77	5.92	5.70	7.63	5.00	0.73
K2O	0.52	0.27	0.27	0.43	0.26	15.80
<b>Total</b>	<b>100.10</b>	<b>100.97</b>	<b>100.65</b>	<b>100.97</b>	<b>100.40</b>	<b>100.98</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-129 Line 005</b>	<b>plg b-129 Line 006</b>	<b>plg b-129 Line 007</b>	<b>plg b-129 Line 001</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 009</b>	<b>feld b-122</b>
SiO2	55.42	54.79	56.48	62.17	54.01	65.60
Al2O3	29.08	29.87	27.80	24.44	30.08	19.10
FeO	0.15	0.22	0.20	0.13	0.18	0.10
SrO	0.00	0.00	0.07	0.02	0.00	0.00
BaO	0.05	0.08	0.06	0.00	0.03	0.39
CaO	10.44	11.05	9.43	5.21	11.55	0.00
Na2O	4.92	4.78	5.81	8.08	4.47	1.25
K2O	0.28	0.19	0.25	0.25	0.13	15.29
<b>Total</b>	<b>100.34</b>	<b>100.97</b>	<b>100.11</b>	<b>100.30</b>	<b>100.44</b>	<b>101.73</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-129 Line 012</b>	<b>plg b-129 Line 013</b>	<b>plg b-129 Line 014</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 002</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 013</b>	<b>plg b-89</b>
SiO2	56.92	56.97	60.98	55.75	54.95	61.29
Al2O3	28.06	28.00	24.98	28.58	29.27	25.33
FeO	0.25	0.00	0.25	0.19	0.13	0.35
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
BaO	0.07	0.03	0.03	0.07	0.04	0.05
CaO	9.41	9.17	5.95	10.21	10.78	5.99
Na2O	5.95	5.90	7.37	5.02	5.04	7.42
K2O	0.24	0.12	0.37	0.23	0.17	0.28
<b>Total</b>	<b>100.90</b>	<b>100.19</b>	<b>99.94</b>	<b>100.05</b>	<b>100.43</b>	<b>100.71</b>

<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 001</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 003</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 004</b>
SiO2	55.37	55.82	55.64
Al2O3	28.59	28.93	28.86
FeO	0.26	0.21	0.33
SrO	0.00	0.00	0.00
BaO	0.09	0.06	0.05
CaO	10.33	10.08	10.42
Na2O	5.22	5.20	4.94
K2O	0.30	0.25	0.25
<b>Total</b>	<b>100.14</b>	<b>100.55</b>	<b>100.49</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 006</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 007</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 008</b>
SiO2	51.41	52.31	54.55
Al2O3	31.96	31.42	29.48
FeO	0.24	0.23	0.26
SrO	0.00	0.00	0.00
BaO	0.02	0.05	0.06
CaO	13.96	12.86	10.87
Na2O	3.40	3.81	4.92
K2O	0.16	0.15	0.19
<b>Total</b>	<b>101.15</b>	<b>100.82</b>	<b>100.30</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 010</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 011</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 012</b>
SiO2	55.51	55.60	55.91
Al2O3	28.77	28.60	29.12
FeO	0.21	0.20	0.19
SrO	0.00	0.00	0.01
BaO	0.05	0.06	0.09
CaO	10.41	10.21	10.36
Na2O	4.98	5.08	5.12
K2O	0.20	0.19	0.22
<b>Total</b>	<b>100.13</b>	<b>99.93</b>	<b>101.02</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 014</b>	<b>plg b-130 Line 016 Line 015</b>	<b>plg b-106 Line 002</b>
SiO2	56.50	60.29	65.04
Al2O3	28.54	25.59	18.66
FeO	0.20	0.24	0.14
SrO	0.00	0.00	0.00
BaO	0.07	0.09	1.10
CaO	9.88	6.52	0.09
Na2O	5.84	7.29	0.84
K2O	0.23	0.38	15.36
<b>Total</b>	<b>101.27</b>	<b>100.39</b>	<b>101.22</b>

**Anexo 2.8. Resultados del análisis químico de feldespatos en microsonda electrónica. Muestra Sgpc-02**

Análisis Id	plg b-131	plg b-132	plg b-135	plg b-136	feld b-138 Line 001	feld b-138 Line 002	feld b-138 Line 003	feld b-138 Line 004	feld b-137
SiO2	64.30	62.62	64.50	63.52	62.79	60.73	61.20	62.11	64.92
Al2O3	22.50	23.65	22.68	23.00	23.49	24.65	24.54	23.81	18.89
FeO	0.34	0.08	0.08	0.10	0.08	0.12	0.14	0.20	0.03
SrO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
BaO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.07	0.04	0.03
CaO	3.31	4.34	3.23	3.41	4.40	5.67	5.59	5.06	0.01
Na2O	9.04	8.30	9.33	9.01	8.35	7.70	7.60	7.56	1.29
K2O	0.37	0.40	0.22	0.39	0.50	0.52	0.56	0.80	15.46
<b>Total</b>	<b>99.871</b>	<b>99.398</b>	<b>100.057</b>	<b>99.438</b>	<b>99.651</b>	<b>99.446</b>	<b>99.708</b>	<b>99.599</b>	<b>100.61</b>
Análisis Id	feld c-139	plg b-141	plg b-142	plg b-144	feld b-138 Line 005	feld b-138 Line 007	feld b-138 Line 008	feld b-138 Line 009	feld c-147
SiO2	59.52	62.20	63.68	61.27	61.17	61.05	61.62	61.65	66.33
Al2O3	25.52	24.11	22.86	24.74	24.29	24.53	24.03	23.97	19.12
FeO	0.08	0.15	0.12	0.00	0.07	0.15	0.16	0.13	0.04
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
BaO	0.06	0.00	0.00	0.08	0.07	0.03	0.04	0.03	0.36
CaO	6.95	5.27	3.78	5.65	5.43	5.75	5.25	5.10	0.17
Na2O	6.87	7.89	8.71	7.54	7.58	7.40	7.59	7.91	4.04
K2O	0.46	0.24	0.25	0.43	0.77	0.74	0.93	0.97	10.75
<b>Total</b>	<b>99.469</b>	<b>99.85</b>	<b>99.408</b>	<b>99.707</b>	<b>99.379</b>	<b>99.684</b>	<b>99.611</b>	<b>99.750</b>	<b>100.81</b>
Análisis Id	feld b-145	plg b-149	plg b-160	feld b-148	feld b-138 Line 010	feld b-138 Line 011	feld b-138 Line 012	feld b-138 Line 013	feld b-150
SiO2	62.78	61.45	63.28	65.71	61.13	61.96	62.23	61.92	65.57
Al2O3	23.30	24.45	23.47	19.22	23.61	23.99	24.03	24.07	18.95
FeO	0.08	0.14	0.13	0.07	0.07	0.02	0.19	0.16	0.13
SrO	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.02	0.00	0.02	0.03	0.02	0.04	0.07	0.04	0.04
CaO	4.26	5.50	4.31	0.08	4.60	5.29	4.94	5.04	0.06
Na2O	8.38	7.74	8.73	3.76	7.53	7.92	7.69	7.52	2.02
K2O	0.31	0.34	0.41	11.64	0.85	0.56	0.67	0.64	14.07
<b>Total</b>	<b>99.128</b>	<b>99.611</b>	<b>100.353</b>		<b>97.814</b>	<b>99.770</b>	<b>99.824</b>	<b>99.380</b>	<b>100.85</b>
Análisis Id	feld b-134	feld c-140	feld b-146	feld b-133	feld b-138 Line 014	feld b-138 Line 017	feld b-138 Line 018	feld b-138 Line 020	feld b-154
SiO2	65.17	64.41	64.99	65.17	62.10	61.54	61.66	61.01	65.12
Al2O3	19.01	18.69	18.80	19.01	23.85	24.11	24.16	24.76	19.01
FeO	0.00	0.00	0.05	0.00	0.10	0.12	0.16	0.09	0.09
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
BaO	0.06	0.27	0.02	0.06	0.06	0.02	0.03	0.01	0.04
CaO	0.00	0.03	0.03	0.00	5.00	5.55	5.14	5.67	0.06
Na2O	1.05	0.55	1.65	1.05	7.83	7.73	7.41	7.60	1.29
K2O	15.60	16.45	15.14	15.60	0.73	0.73	0.84	0.62	15.39
<b>Total</b>	<b>100.89</b>	<b>100.39</b>	<b>100.68</b>	<b>100.89</b>	<b>99.669</b>	<b>99.802</b>	<b>99.382</b>	<b>99.754</b>	<b>101.00</b>
Análisis Id	feld b-151 Line 001	feld b-151 Line 003	feld b-151 Line 004	feld b-151 Line 005	feld b-151 Line 006	feld b-151 Line 007	feld b-151 Line 008		
SiO2	61.64	61.96	62.54	62.07	61.29	62.42	61.78		
Al2O3	24.15	23.76	23.87	24.14	24.57	23.60	24.43		

FeO	0.03	0.19	0.20	0.13	0.05	0.11	0.19
SrO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.01
BaO	0.02	0.04	0.04	0.00	0.06	0.07	0.04
CaO	5.22	5.13	5.04	4.99	5.79	4.69	5.23
Na2O	7.47	7.50	7.69	7.52	7.36	7.70	7.44
K2O	0.78	0.77	0.77	0.82	0.69	0.86	0.72
<b>Total</b>	<b>99.304</b>	<b>99.351</b>	<b>100.140</b>	<b>99.685</b>	<b>99.800</b>	<b>99.514</b>	<b>99.837</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>feld b-151 Line 009</b>	<b>feld b-151 Line 010</b>	<b>feld b-151 Line 011</b>	<b>feld b-151 Line 012</b>	<b>feld b-151 Line 013</b>	<b>feld b-151 Line 014</b>	<b>feld b-151 Line 015</b>
SiO2	60.52	61.57	61.77	61.07	61.61	61.02	62.49
Al2O3	23.34	23.98	24.28	24.97	24.10	24.85	23.90
FeO	0.10	0.16	0.13	0.16	0.01	0.08	0.00
SrO	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00
BaO	0.06	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.03
CaO	5.95	5.46	5.40	5.73	5.29	5.64	4.65
Na2O	7.40	7.59	7.90	7.68	7.80	7.55	8.30
K2O	0.73	0.66	0.72	0.67	0.34	0.45	0.51
<b>Total</b>	<b>98.088</b>	<b>99.440</b>	<b>100.258</b>	<b>100.301</b>	<b>99.211</b>	<b>99.581</b>	<b>99.878</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>feld b-151 Line 016</b>	<b>feld b-151 Line 017</b>	<b>feld b-151 Line 018</b>	<b>feld b-151 Line 019</b>	<b>feld b-151 Line 020</b>	<b>plg b-152</b>	<b>plg b-153</b>
SiO2	62.21	59.75	60.98	61.60	62.25	63.92	64.16
Al2O3	24.26	24.63	24.93	24.52	24.43	22.48	22.80
FeO	0.12	0.15	0.01	0.09	0.08	0.35	0.12
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
BaO	0.01	0.03	0.05	0.05	0.03	0.01	0.00
CaO	5.17	6.05	5.85	5.28	5.42	3.41	3.55
Na2O	7.70	7.40	7.25	7.70	7.66	9.16	8.92
K2O	0.53	0.56	0.52	0.52	0.54	0.24	0.55
<b>Total</b>	<b>99.999</b>	<b>98.581</b>	<b>99.581</b>	<b>99.770</b>	<b>100.406</b>	<b>99.567</b>	<b>100.096</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>feld b-157</b>	<b>feld b-158</b>	<b>feld b-161</b>	<b>feld b-162</b>	<b>plg b-155</b>	<b>plg b-156</b>	<b>plg b-159</b>
SiO2	64.47	64.70	63.14	66.31	64.10	64.10	63.71
Al2O3	18.81	18.68	18.17	19.14	22.75	22.76	22.80
FeO	0.24	0.25	0.11	0.03	0.25	0.04	0.00
SrO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.37	0.08	0.12	0.02	0.01	0.04	0.00
CaO	0.02	0.04	0.05	0.14	3.53	3.58	3.60
Na2O	0.43	1.60	1.72	3.75	8.57	8.82	8.97
K2O	16.59	14.76	13.54	11.86	0.35	0.32	0.25
<b>Total</b>	<b>100.92</b>	<b>100.11</b>	<b>96.87</b>	<b>101.26</b>	<b>99.567</b>	<b>99.671</b>	<b>99.325</b>

**Anexo 2-9. Resultados del análisis químico de minerales opacos en microsonda electrónica. Muestra Zp-02**

Análisis Id	oc37	oc77	ob78	ob38	oc89	ob86	oc73	oc66	oc32	ob28	oc93	ob61	ob2	oc36	ob11	oc79	oc47	oc90	oc96
SiO2	0	0.005	0	0.033	0.007	0.06	0.02	0.04	0.027	0.028	0.02	0.033	0.031	0	0.03	0.044	0.059	0	0.029
TiO2	49.89	44.404	44.189	1.367	0.724	0.541	0.538	0.476	0.47	0.369	0.348	0.302	0.294	0.276	0.264	0.261	0.241	0.229	0.227
Al2O3	0.034	0	0	0.008	0.036	0.185	0.028	0.107	0.254	0.042	0.216	0	0.148	0.082	0.12	0.269	0.024	0.233	0.089
Cr2O3	0.008	0.012	0	0.002	0.047	0.021	0.063	0.02	0.038	0.031	0.033	0.068	0.045	0.044	0.054	0.077	0.04	0.14	0.051
FeO	41.039	50.996	50.18	90.831	91.356	89.513	83.865	91.975	91.492	90.047	90.456	90.159	90.883	92.27	92.384	93.477	90.862	90.043	91.183
MnO	7.55	2.536	2.806	0.181	0.282	0.21	0.152	0.142	0.194	0.049	0	0.053	0.11	0.163	0.177	0.174	0.088	0.152	0.094
NiO	0	0.008	0.008	0.035	0	0.025	0.054	0.008	0	0.033	0	0.064	0	0.014	0	0	0	0	0
MgO	0.139	0.165	0.163	0.024	0.018	0.016	0.028	0.07	0.016	0	0.032	0	0.04	0	0.019	0.038	0.026	0.044	0.009
CaO	0	0.001	0.214	0.06	0.062	0.171	0.133	0	0	0.126	0	0.132	0.04	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>98.66</b>	<b>98.126</b>	<b>97.346</b>	<b>92.481</b>	<b>92.47</b>	<b>90.571</b>	<b>84.748</b>	<b>92.838</b>	<b>92.491</b>	<b>90.599</b>	<b>91.105</b>	<b>90.679</b>	<b>91.551</b>	<b>92.849</b>	<b>93.048</b>	<b>94.34</b>	<b>91.34</b>	<b>90.841</b>	<b>91.682</b>
Análisis Id	oc16	oc74	oc83	oc1	oc14	oc65	oc92	oc49	oc81	oc39	oc48	oc34	ob3	ob69	oc10	ob51	oc53	oc5	oc20
SiO2	0.046	0.05	0	0.039	0.063	0.013	0.042	0.013	0.026	0.021	0.057	0.005	0.067	0.046	0.002	0.054	0	0	0.018
TiO2	0.224	0.223	0.217	0.21	0.199	0.188	0.188	0.187	0.184	0.182	0.173	0.171	0.17	0.167	0.166	0.164	0.159	0.157	0.155
Al2O3	0.058	0.017	0.097	0.104	0.005	0.141	0.148	0.201	0.154	0.061	0.245	0.061	0.068	0.024	0.101	0.097	0.194	0.16	0.049
Cr2O3	0.062	0.015	0.068	0.08	0.032	0.037	0.076	0.055	0.039	0.06	0.036	0.025	0.034	0.013	0.053	0.079	0.05	0.039	0.061
FeO	91.199	85.497	85.785	91.941	92.616	90.219	89.212	88.99	89.709	91.184	91.247	93.165	92.581	91.377	90.937	90.081	91.147	92.056	91.526
MnO	0.34	0.116	0.169	0.172	0.159	0.306	0.089	0.181	0.152	0.119	0.132	0.194	0.009	0.102	0.274	0.247	0.19	0.181	0.176
NiO	0	0.027	0	0	0	0	0.039	0.012	0	0.018	0.006	0.023	0	0	0.016	0.043	0	0.035	
MgO	0.012	0.049	0.019	0.009	0.038	0.054	0.042	0.005	0.003	0.007	0.007	0.061	0.033	0.047	0.036	0.01	0.01	0	0.024
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>91.941</b>	<b>85.994</b>	<b>86.355</b>	<b>92.555</b>	<b>93.112</b>	<b>90.958</b>	<b>89.836</b>	<b>89.644</b>	<b>90.267</b>	<b>91.652</b>	<b>91.903</b>	<b>93.705</b>	<b>92.962</b>	<b>91.776</b>	<b>91.569</b>	<b>90.748</b>	<b>91.793</b>	<b>92.593</b>	<b>92.044</b>
Análisis Id	ob60	oc45	oc52	oc97	oc26	ob85	oc87	oc75	oc4	oc13	ob98	oc94	oc40	ob17	ob67	oc59	oc29	oc95	oc54
SiO2	0.024	0.007	0.04	0.007	0.085	0.033	0.029	0.016	0.019	0.005	0.035	0.016	0.026	0.008	0.033	0.038	0.079	0.02	0.037
TiO2	0.148	0.145	0.145	0.14	0.138	0.138	0.138	0.136	0.135	0.135	0.128	0.127	0.122	0.121	0.12	0.117	0.117	0.114	
Al2O3	0.041	0.087	0.111	0.073	0.124	0	0.08	0.065	0.049	0.213	0.07	0.235	0.028	0.075	0.062	0.029	0.078	0.056	0.037
Cr2O3	0.035	0.04	0.069	0.025	0.038	0.066	0.053	0.016	0.04	0.062	0.06	0.048	0.053	0.038	0.051	0.026	0.069	0.073	0.079
FeO	90.563	91.702	91.263	91.134	91.105	87.563	90.538	95.385	91.402	89.815	90.892	93.93	91.514	92.447	91.491	89.442	90.541	90.28	88.583
MnO	0.154	0.093	0.251	0.058	0.357	0.116	0.268	0.25	0.097	0.159	0.192	0.224	0.212	0.185	0.071	0.137	0.221	0.242	0.291
NiO	0.014	0	0.016	0.039	0.037	0	0.056	0.014	0	0	0.002	0.015	0	0	0	0	0	0	
MgO	0	0.016	0.019	0.009	0.031	0.033	0.012	0.024	0.033	0.066	0.014	0.002	0	0.01	0.031	0.031	0.036	0.018	0.01
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>90.979</b>	<b>92.09</b>	<b>91.914</b>	<b>91.485</b>	<b>91.915</b>	<b>87.949</b>	<b>91.174</b>	<b>95.906</b>	<b>91.775</b>	<b>90.455</b>	<b>91.4</b>	<b>94.598</b>	<b>91.96</b>	<b>92.885</b>	<b>91.86</b>	<b>89.823</b>	<b>91.141</b>	<b>90.806</b>	<b>89.151</b>
Análisis Id	oc62	oc56	oc80	ob7	oc33	oc88	oc9	oc63	oc91	ob50	oc55	ob46	ob82	ob6	oc58	oc57	oc19	oc64	ob68
SiO2	0.027	0.092	0.093	0.062	0.046	0.047	0.043	0.067	0.074	0.048	0	0.047	0.068	0.045	0	0.024	0.025	0	0.012
TiO2	0.114	0.113	0.113	0.112	0.108	0.106	0.105	0.104	0.101	0.1	0.094	0.093	0.092	0.091	0.091	0.087	0.084	0.084	0.081
Al2O3	0.197	0.198	0.303	0.088	0.149	0.039	0.068	0.048	0.075	0.158	0.078	0.032	0.044	0.11	0	0.038	0.003	0.027	0.003
Cr2O3	0.013	0.07	0.057	0.05	0.055	0.059	0.049	0.013	0.063	0.039	0.032	0.057	0.034	0.044	0.05	0.046	0	0.028	0.064
FeO	91.283	90.287	92.283	92.673	91.836	87.754	88.977	90.257	88.646	87.964	88.694	91.292	89.822	92.073	90.416	90.928	91.157	88.446	93.488
MnO	0.182	0.212	0.067	0.075	0.137	0.143	0.335	0.151	0.107	0.176	0.163	0.154	0.107	0.04	0.15	0.203	0.146	0.164	0.213
NiO	0	0	0	0.033	0	0	0	0	0	0	0.035	0	0	0	0.004	0.014	0	0.037	
MgO	0.01	0.009	0	0	0	0.007	0.042	0.016	0.016	0.033	0.033	0.023	0.012	0	0.038	0	0.01	0.03	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.064	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>91.826</b>	<b>90.981</b>	<b>92.916</b>	<b>93.093</b>	<b>92.331</b>	<b>88.155</b>	<b>89.619</b>	<b>90.656</b>	<b>89.082</b>	<b>88.518</b>	<b>89.129</b>	<b>91.698</b>	<b>90.179</b>	<b>92.403</b>	<b>90.749</b>	<b>91.34</b>	<b>91.425</b>	<b>88.779</b>	<b>93.898</b>

<b>Análisis Id</b>	<b>ob84</b>	<b>oc8</b>	<b>ob30</b>	<b>ob70</b>	<b>oc43</b>	<b>oc12</b>	<b>oc27</b>	<b>ob21</b>	<b>oc42</b>	<b>oc41</b>	<b>oc31</b>	<b>ob72 Line 001</b>	<b>ob72 Line 004</b>	<b>ob72 Line 005</b>
<b>SiO2</b>	0.024	0.031	0.037	0.029	0.014	0.001	0.045	0.066	0.019	0.026	0.088	0	0.037	0.066
<b>TiO2</b>	0.081	0.077	0.075	0.074	0.07	0.066	0.065	0.063	0.061	0.059	0.056	0.09	0.058	0.171
<b>Al2O3</b>	0.023	0.166	0.024	0.031	0.077	0.073	0.078	0.023	0.06	0.13	0.01	0.093	0.106	0.081
<b>Cr2O3</b>	0.032	0.029	0.057	0.042	0.056	0.046	0.046	0.052	0.027	0.033	0.04	0.083	0.051	0.024
<b>FeO</b>	89.509	92.179	90.181	91.138	91.257	91.302	90.056	91.1	91.848	90.949	90.361	92.188	93.102	90.153
<b>MnO</b>	0.027	0.146	0.172	0.191	0.181	0.146	0.159	0.203	0.207	0.225	0.168	0.214	0.299	0.174
<b>NiO</b>	0	0	0.018	0	0	0	0	0.006	0	0	0	0.043	0	0.064
<b>MgO</b>	0.01	0.005	0.038	0.037	0.043	0	0.038	0.038	0.005	0	0	0	0.052	0.026
<b>CaO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.034
<b>Total</b>	89.706	92.633	90.602	91.542	91.698	91.634	90.487	91.551	92.227	91.422	90.723	92.711	93.705	90.759
<b>Análisis Id</b>	<b>oc15</b>	<b>oc25</b>	<b>oc24</b>	<b>ob23</b>	<b>oc35</b>	<b>oc44</b>	<b>ob71</b>	<b>oc18</b>	<b>ob22</b>	<b>oc76</b>	<b>ob72 Line 002</b>	<b>ob72 Line 003</b>		
<b>SiO2</b>	0.076	0.071	0.05	0.064	0.048	0.061	0.057	0.007	0.064	0.004	0	0.035		
<b>TiO2</b>	0.017	0.007	0	0.054	0.054	0.054	0.044	0.04	0.026	0.023	0.219	0.185		
<b>Al2O3</b>	0.037	0.008	0.054	0.054	0.092	0.047	0.017	0.067	0	0.006	0.079	0.074		
<b>Cr2O3</b>	0.007	0.033	0.034	0.071	0.059	0.06	0.028	0.067	0.043	0.045	0.058	0.069		
<b>FeO</b>	91.87	92.402	91.272	90.575	90.557	91.05	89.205	91.624	90.945	93.642	92.109	92.484		
<b>MnO</b>	0.141	0.101	0.168	0.079	0.256	0.243	0.191	0.168	0.199	0.236	0.307	0.263		
<b>NiO</b>	0	0	0	0.084	0.027	0	0.021	0.016	0.029	0.004	0	0		
<b>MgO</b>	0.073	0.029	0.023	0.01	0.042	0.005	0.045	0	0.031	0.03	0.035	0.026		
<b>CaO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>Total</b>	92.221	92.651	91.601	90.991	91.135	91.52	89.608	91.989	91.337	93.99	92.807	93.136		



<b>Anexo 2-10. Resultados del análisis químico de minerales opacos en microsonda electrónica. Muestra Zp-07</b>																	
<b>Análisis Id</b>	<b>ob110</b>	<b>oc108</b>	<b>oc107</b>	<b>oc143</b>	<b>oc142</b>	<b>ob109</b>	<b>ob151</b>	<b>ob136</b>	<b>ob127</b>	<b>ob147</b>	<b>ob133</b>	<b>ob132</b>	<b>ob118</b>	<b>ob128</b>	<b>oc105</b>	<b>ob123</b>	<b>ob117</b>
SiO2	0.007	0	0.015	0	4.543	0.006	0.052	0.058	0.016	0.04	0.072	0	0.054	0	0.043	0.002	0.012
TiO2	49.4	48.259	45.808	44.121	3.588	0.909	0.75	0.483	0.456	0.285	0.263	0.245	0.24	0.22	0.212	0.204	0.198
Al2O3	0.002	0.014	0.011	0	0.777	0.06	0.048	0.041	0.078	0.099	0.066	0.084	0.018	0.113	0.083	0.083	0.039
Cr2O3	0.029	0.022	0	0.013	0.041	0.069	0.06	0.032	0.027	0.099	0.053	0.037	0.03	0.077	0.055	0.041	0.034
FeO	37.208	39.711	42.956	48.589	79.792	89.511	92.86	90.351	92.557	91.335	87.614	88.635	91.522	91.732	90.881	90.89	91.586
MnO	11.928	9.49	8.654	5.79	0.468	0.188	0.054	0.103	0.04	0.04	0.13	0.112	0.004	0.103	0.139	0.094	0.071
NiO	0	0.004	0.01	0	0	0.023	0.008	0.01	0	0	0.006	0	0	0	0.008	0.012	0.075
MgO	0.016	0.034	0.071	0.008	0.261	0.051	0.06	0	0.011	0.03	0.019	0.033	0.004	0.018	0.046	0	0.012
CaO	0.016	0	0	0	0.059	0	0.177	0.159	0.141	0	0.015	0	0.038	0	0	0	0.039
<b>Total</b>	<b>98.606</b>	<b>97.534</b>	<b>97.525</b>	<b>98.521</b>	<b>89.529</b>	<b>90.817</b>	<b>94.069</b>	<b>91.237</b>	<b>93.326</b>	<b>91.928</b>	<b>88.238</b>	<b>89.146</b>	<b>91.91</b>	<b>92.263</b>	<b>91.467</b>	<b>91.326</b>	<b>92.066</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>oc116</b>	<b>oc129</b>	<b>oc135</b>	<b>oc122</b>	<b>oc99</b>	<b>oc102</b>	<b>oc134</b>	<b>oc141</b>	<b>oc131</b>	<b>oc106</b>	<b>oc121</b>	<b>ob112</b>	<b>oc115</b>	<b>ob104</b>	<b>oc130</b>	<b>ob123</b>	<b>ob117</b>
SiO2	0.011	0.038	0	0	0.062	0.028	0	0.07	0.026	0.023	0.012	0.022	0.022	0.035	0.042	0	0.023
TiO2	0.195	0.136	0.133	0.128	0.108	0.108	0.108	0.108	0.101	0.094	0.094	0.083	0.081	0.078	0.078	0.078	0.075
Al2O3	0.034	0.113	0.109	0.122	0.004	0.053	0.104	0.04	0.114	0.048	0.073	0.061	0.161	0	0.086	0.078	0.055
Cr2O3	0.041	0.037	0.057	0.054	0.051	0.024	0.087	0.075	0.056	0.071	0.052	0.064	0.073	0.042	0.053	0.041	0.051
FeO	91.345	90.504	91.141	90.621	91.986	90.473	88.064	90.041	88.26	89.76	89.849	88.975	91.765	89.694	88.396	92.055	91.263
MnO	0.031	0.09	0.157	0.009	0.161	0.013	0.085	0.144	0.018	0.125	0.094	0.054	0.089	0.072	0.121	0.148	0
NiO	0.023	0	0	0.027	0	0	0	0.015	0.023	0	0.04	0.033	0.048	0	0	0.013	0
MgO	0.012	0.018	0.014	0.002	0.011	0.044	0.049	0	0	0	0	0.018	0	0.04	0.011	0	0.007
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>91.692</b>	<b>90.936</b>	<b>91.611</b>	<b>90.963</b>	<b>92.383</b>	<b>90.743</b>	<b>88.497</b>	<b>90.493</b>	<b>88.598</b>	<b>90.121</b>	<b>90.214</b>	<b>89.31</b>	<b>92.239</b>	<b>89.961</b>	<b>88.787</b>	<b>92.413</b>	<b>91.474</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>oc138</b>	<b>oc111</b>	<b>oc126</b>	<b>oc145</b>	<b>oc101</b>	<b>oc150</b>	<b>oc120</b>	<b>oc144</b>	<b>oc114</b>	<b>oc119</b>	<b>oc137</b>	<b>oc103</b>	<b>oc146</b>	<b>ob113</b>	<b>oc140</b>	<b>ob100</b>	<b>ob124</b>
SiO2	0.079	0.025	0	0.032	0	0.061	0.011	0.038	0.038	0.002	0.04	0.047	0	0.038	0.037	0.018	0.042
TiO2	0.074	0.073	0.073	0.071	0.069	0.066	0.064	0.064	0.062	0.06	0.06	0.05	0.037	0.035	0.028	0.021	0.004
Al2O3	0.025	0.084	0.117	0.066	0.03	0.027	0.057	0	0.101	0.044	0.064	0.073	0.06	0.039	0.113	0.058	0.035
Cr2O3	0.075	0.044	0.057	0.081	0.052	0.038	0.043	0.048	0.063	0.049	0.056	0.038	0.083	0.049	0.054	0.035	0.036
FeO	92.688	91.481	92.379	89.813	91.089	91.534	89.636	91.129	90.875	92.016	92.953	91.072	91.319	91.988	91.411	93.073	91.912
MnO	0.036	0.054	0.058	0.027	0.072	0.04	0.058	0.058	0.161	0.202	0.054	0.022	0.009	0.094	0.027	0.013	0.103
NiO	0	0.01	0.017	0.01	0.006	0.006	0.025	0	0.035	0	0.017	0.004	0.033	0.039	0	0.023	0
MgO	0.018	0.002	0.083	0.012	0.018	0.035	0.019	0	0.04	0.005	0.011	0.002	0	0.005	0.012	0.014	0.012
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>92.995</b>	<b>91.773</b>	<b>92.784</b>	<b>90.112</b>	<b>91.336</b>	<b>91.807</b>	<b>89.913</b>	<b>91.337</b>	<b>91.375</b>	<b>92.378</b>	<b>93.255</b>	<b>91.308</b>	<b>91.541</b>	<b>92.287</b>	<b>91.682</b>	<b>93.255</b>	<b>92.144</b>
<b>Análisis Id</b>	<b>oc125</b>	<b>oc139</b>															
SiO2	0.036	0.032															
TiO2	0	0															
Al2O3	0	0															
Cr2O3	0	0.088															
FeO	61.317	92.114															
MnO	0	0.116															
NiO	0.05	0															
MgO	0	0															
CaO	0	0															
<b>Total</b>	<b>61.403</b>	<b>92.35</b>															

<b>Anexo 2-11. Resultados del análisis químico de minerales opacos en microsonda electrónica. Muestra Zp-08</b>																	
<b>Análisis Id</b>	<b>oc198</b>	<b>ob175</b>	<b>oc155</b>	<b>oc187</b>	<b>oc177</b>	<b>oc176</b>	<b>oc188</b>	<b>oc169</b>	<b>ob189</b>	<b>oc164</b>	<b>oc172</b>	<b>oc200</b>	<b>oc197</b>	<b>oc192</b>	<b>oc184</b>	<b>ob186</b>	<b>oc181</b>
<b>SiO2</b>	0.017	0	0.028	0.016	0.009	0.052	0	0.027	0	0.003	0	0.008	0.03	0.079	0	38.468	0.063
<b>TiO2</b>	51.104	50.464	50.347	49.511	49.448	49.43	49.351	49.259	49.23	49.032	48.996	48.798	48.53	48.38	47.701	3.81	0.808
<b>Al2O3</b>	0	0.01	0.004	0.01	0	0	0	0	0.005	0.022	0	0.008	0.024	0.031	0	2.034	0.585
<b>Cr2O3</b>	0.051	0.007	0	0.032	0.011	0.029	0	0	0.018	0.024	0	0.016	0	0.012	0	0.027	0.032
<b>FeO</b>	41.315	41.442	42.57	43.968	45.697	44.431	44.236	43.937	43.461	46.022	45.425	44.95	42.871	47.994	48.661	11.28	88.311
<b>MnO</b>	6.282	5.321	6.064	3.796	5.611	4.554	6.08	3.999	5.722	3.115	3.808	3.905	4.789	2.656	0.558	0.685	0.224
<b>NiO</b>	0.017	0	0.023	0.023	0	0.023	0	0	0	0	0	0.015	0	0	0.08	0.046	0.05
<b>MgO</b>	0.099	0.091	0.068	0.2	0.106	0.266	0.05	0.338	0.011	0.377	0.218	0.192	0.24	0.215	1.2	5.709	0.033
<b>CaO</b>	0	0.007	0	0	0	0	0	0	0.108	0	0.004	0	0.029	0	0	11.552	0
<b>Total</b>	98.885	97.342	99.104	97.556	100.882	98.785	99.717	97.56	98.555	98.595	98.451	97.892	96.513	99.367	98.2	73.611	90.106
<b>Análisis Id</b>	<b>ob156</b>	<b>oc160</b>	<b>ob157</b>	<b>oc185</b>	<b>oc191</b>	<b>oc174</b>	<b>oc153</b>	<b>oc173</b>	<b>oc199</b>	<b>oc180</b>	<b>ob170</b>	<b>oc159</b>	<b>oc168</b>	<b>oc196</b>	<b>oc158</b>	<b>oc154</b>	<b>oc166</b>
<b>SiO2</b>	0.04	0.048	0.056	0	0.028	0.049	0.057	0.001	0.043	0.042	0	0.049	0.072	0.029	0.036	0	0
<b>TiO2</b>	0.801	0.607	0.599	0.599	0.325	0.286	0.224	0.208	0.206	0.199	0.192	0.187	0.183	0.183	0.149	0.135	0.133
<b>Al2O3</b>	0.069	0.327	0.051	0.234	0.227	0.143	0.186	0.051	0.131	0.108	0.308	0.214	0.349	0.318	0.174	0.138	0.165
<b>Cr2O3</b>	0.024	0.101	0.041	0.086	0.069	0.063	0.001	0.006	0.086	0.019	0.036	0.056	0.034	0.027	0.072	0.036	0.067
<b>FeO</b>	90.919	89.62	90.985	90.714	92.613	89.923	91.531	92.235	91.51	90.147	89.711	91.966	90.368	88.887	90.599	89.052	92.607
<b>MnO</b>	0.076	0.157	0.171	0.058	0.058	0	0.108	0.04	0.072	0.054	0	0.081	0.085	0.067	0.09	0.049	0
<b>NiO</b>	0.04	0.013	0	0	0	0.087	0	0.056	0.008	0	0	0	0.004	0	0	0	0
<b>MgO</b>	0.004	0.035	0.011	0.019	0.06	0.005	0.021	0.014	0	0.021	0.018	0.025	0	0.026	0.037	0.018	0.012
<b>CaO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	91.973	90.908	91.914	91.71	93.38	90.556	92.128	92.611	92.056	90.59	90.265	92.578	91.095	89.537	91.157	89.428	92.984
<b>Análisis Id</b>	<b>oc161</b>	<b>oc167</b>	<b>oc178</b>	<b>oc183</b>	<b>ob171</b>	<b>oc165</b>	<b>oc163</b>	<b>oc162</b>	<b>oc194</b>	<b>oc152</b>	<b>oc179</b>	<b>oc201</b>	<b>oc190</b>	<b>oc193</b>	<b>oc195</b>	<b>oc182</b>	
<b>SiO2</b>	0.053	0.005	0	0.061	0.011	0.019	0.064	0.051	0.058	0.016	0.02	0.028	0.065	0.054	0.038	0.013	
<b>TiO2</b>	0.128	0.126	0.114	0.094	0.087	0.082	0.073	0.066	0.064	0.062	0.057	0.05	0.041	0.034	0.034	0.016	
<b>Al2O3</b>	0.1	0.156	0.187	0.148	0.218	0.205	0.166	0.286	0.127	0.108	0.14	0.274	0.122	0.074	0.101	0.129	
<b>Cr2O3</b>	0.055	0.05	0.001	0.017	0.059	0.073	0.056	0.059	0.032	0.039	0.037	0.062	0.034	0.078	0.016	0.043	
<b>FeO</b>	91.128	93.958	90.692	89.627	91.224	90.217	91.554	90.434	92.554	91.533	91.683	92.863	92.518	91.182	90.884	89.428	
<b>MnO</b>	0.067	0.121	0.013	0.004	0.009	0	0.022	0.157	0.049	0.112	0.022	0.081	0.085	0.09	0	0.094	
<b>NiO</b>	0	0	0	0.017	0.035	0	0.002	0	0.025	0.027	0.004	0	0	0	0	0.021	
<b>MgO</b>	0	0.014	0.021	0.011	0.007	0.021	0.012	0.025	0.004	0	0.009	0.072	0.04	0	0	0.005	
<b>CaO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Total</b>	91.531	94.43	91.028	89.979	91.65	90.617	91.949	91.081	92.913	91.897	91.972	93.43	92.905	91.512	91.073	89.749	

**Anexo 2-12. Resultados del análisis químico de minerales opacos en microsonda electrónica. Muestra Sgpc-02**

Análisis Id	oc213	oc212	oc202	oc211	oc216	oc203	oc207	oc210	oc209	oc215	oc204	oc214	oc205	oc208	oc206
SiO2	0.072	0.083	0.03	0	0.036	37.286	0.082	0.06	0.082	0.023	35.666	0.059	1.184	1.518	34.862
TiO2	49.969	49.853	49.472	4.943	2.752	1.679	1.001	0.488	0.305	0.261	0.246	0.22	0.207	0.177	0.076
Al2O3	0	0	0.005	0.323	0.133	5.358	0.581	0.257	0.147	0.156	14.05	0.282	0.19	0.296	0
Cr2O3	0	0.017	0	0.13	0.071	0	0.209	0.101	0.155	0.09	0	0.072	0.096	0.167	0
FeO	33.164	37.048	39.897	84.724	88.574	10.431	88.75	88.768	90.087	90.376	26.034	91.94	87.763	87.487	0.569
MnO	13.86	11.921	8.796	1.365	0.445	0.158	0.058	0	0	0.103	0.521	0.112	0.193	0	0
NiO	0.036	0	0	0	0	0	0.004	0	0.025	0	0.044	0	0.048	0.033	0.04
MgO	0	0	0.024	0	0.021	3.219	0.014	0.033	0.011	0	4.694	0.011	0.005	0.291	0.03
CaO	0.03	0.021	0	0	0.05	0.026	0.005	0	0	0.054	8.311	0	0.304	0.398	0.103
Total	97.131	98.943	98.224	91.485	92.082	58.157	90.704	89.707	90.812	91.063	89.566	92.696	89.99	90.367	35.68

Anexo 3-1. Datos U-Pb en circón con método LA-ICPMS de la muestra zp-12. Coordenadas en anexo 1-1																					
Punto análisis				RELACIONES CORREGIDAS									EIDADES CORREGIDAS								
	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s abs	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s abs	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %
Circón-01	120.8	100	0.83	0.080	0.0120	0.0900	0.0160	0.0086	0.0004	0.0034	0.0005	0.16	55.3	2.6	87.0	14.0	1010.0	300.0	55.3	2.6	36.4
Circón-02	75.6	44.1	0.58	0.108	0.0200	0.1390	0.0290	0.0097	0.0006	0.0062	0.0006	0.18	62.4	3.6	130.0	25.0	1670.0	320.0	62.4	3.6	52.0
Circón-03	71	40.2	0.57	0.099	0.0210	0.1140	0.0220	0.0091	0.0006	0.0052	0.0009	0.00	58.1	4.0	108.0	19.0	1390.0	350.0	58.1	4.0	46.2
Circón-04	125	97	0.78	0.083	0.0120	0.1000	0.0160	0.0085	0.0005	0.0032	0.0004	0.25	54.6	2.9	96.0	15.0	1160.0	270.0	54.6	2.9	43.1
Circón-05	178.2	163.9	0.92	0.056	0.0170	0.0590	0.0200	0.0077	0.0004	0.0032	0.0006	-0.08	49.2	2.7	58.0	18.0	460.0	370.0	49.2	2.7	15.2
Circón-06	208.8	191.6	0.92	0.067	0.0110	0.0660	0.0120	0.0076	0.0004	0.0027	0.0003	0.03	48.9	2.4	64.5	11.0	740.0	270.0	48.9	2.4	24.2
Circón-07	80.3	49.3	0.61	0.108	0.0220	0.1120	0.0320	0.0083	0.0006	0.0048	0.0010	-0.03	53.1	3.6	106.0	27.0	1530.0	310.0	53.1	3.6	49.9
Circón-08	147.6	126	0.85	0.080	0.0190	0.0870	0.0220	0.0081	0.0005	0.0033	0.0006	-0.06	51.9	2.9	84.0	19.0	910.0	370.0	51.9	2.9	38.2
Circón-09	67.52	36.95	0.55	0.087	0.0190	0.1170	0.0260	0.0097	0.0007	0.0045	0.0007	0.24	62.3	4.3	109.0	23.0	890.0	320.0	62.3	4.3	42.8
Circón-10	335	501	1.50	0.062	0.0075	0.0670	0.0087	0.0079	0.0003	0.0028	0.0002	0.03	51.0	1.8	65.7	8.3	640.0	240.0	51.0	1.8	22.4
Circón-11	324	393	1.21	0.049	0.0083	0.0535	0.0084	0.0077	0.0002	0.0024	0.0002	0.05	49.4	1.4	52.6	8.0	220.0	260.0	49.4	1.4	6.1
Circón-12	134.2	115.6	0.86	0.076	0.0140	0.0870	0.0160	0.0081	0.0004	0.0032	0.0004	0.00	51.9	2.4	83.0	15.0	830.0	310.0	51.9	2.4	37.5
Circón-13	113.1	64.4	0.57	0.104	0.0150	0.1100	0.0200	0.0084	0.0004	0.0042	0.0007	0.30	54.2	2.4	111.0	18.0	1550.0	260.0	54.2	2.4	51.2
Circón-14	219.4	284.2	1.30	0.173	0.0210	0.2170	0.0310	0.0093	0.0004	0.0045	0.0005	0.02	59.8	2.4	198.0	24.0	2540.0	190.0	59.8	2.4	69.8
Circón-15	164.8	156.2	0.95	0.058	0.0140	0.0670	0.0180	0.0084	0.0004	0.0036	0.0004	-0.16	54.2	2.7	65.0	16.0	350.0	370.0	54.2	2.7	16.6
Circón-16	122.5	85.4	0.70	0.135	0.0270	0.1670	0.0420	0.0087	0.0005	0.0055	0.0012	0.17	55.5	3.3	159.0	33.0	2200.0	210.0	55.5	3.3	65.1
Circón-17	203.1	184.5	0.91	0.068	0.0097	0.0778	0.0130	0.0084	0.0003	0.0031	0.0003	0.09	53.9	2.1	77.3	12.0	790.0	260.0	53.9	2.1	30.3
Circón-18	68.6	43.6	0.64	0.117	0.0220	0.1380	0.0280	0.0088	0.0005	0.0052	0.0007	0.02	56.7	3.1	133.0	23.0	1890.0	300.0	56.7	3.1	57.4
Circón-19	108.4	73.5	0.68	0.083	0.0190	0.0900	0.0190	0.0081	0.0004	0.0032	0.0005	-0.01	52.2	2.7	87.0	19.0	950.0	390.0	52.2	2.7	40.0
Circón-20	73.1	45.3	0.62	0.116	0.0300	0.1290	0.0470	0.0089	0.0006	0.0057	0.0015	0.03	57.1	4.1	121.0	37.0	1840.0	320.0	57.1	4.1	52.8
Circón-21	137	214	1.56	0.076	0.0140	0.0830	0.0160	0.0081	0.0004	0.0025	0.0003	0.02	52.1	2.4	79.0	15.0	990.0	320.0	52.1	2.4	34.1
Circón-22	87.2	58.7	0.67	0.095	0.0160	0.1110	0.0200	0.0093	0.0004	0.0045	0.0007	0.19	59.6	2.5	106.0	18.0	1290.0	310.0	59.6	2.5	43.8
Circón-23	184.5	172	0.93	0.088	0.0120	0.0900	0.0150	0.0083	0.0004	0.0038	0.0004	0.29	53.3	2.2	94.0	13.0	1120.0	250.0	53.3	2.2	43.3

<b>Circón-24</b>	159.4	108.7	0.68	0.070	0.0210	0.0720	0.0210	0.0075	0.0004	0.0035	0.0005	0.08	48.4	2.7	70.0	19.0	590.0	450.0	48.4	2.7	30.9
<b>Circón-25</b>	83.5	55.4	0.66	0.239	0.0300	0.3730	0.0490	0.0111	0.0007	0.0114	0.0012	0.04	71.1	4.1	316.0	33.0	3210.0	160.0	71.1	4.1	77.5
<b>Circón-26</b>	101.4	64	0.63	0.100	0.0180	0.1200	0.0270	0.0093	0.0005	0.0047	0.0008	0.06	59.6	3.3	113.0	23.0	1490.0	320.0	59.6	3.3	47.3
<b>Circón-27</b>	108.4	91.9	0.85	0.091	0.0220	0.1060	0.0290	0.0086	0.0004	0.0037	0.0009	0.21	54.9	2.8	101.0	25.0	1460.0	300.0	54.9	2.8	45.6
<b>Circón-28</b>	169.6	166	0.98	0.094	0.0180	0.1140	0.0230	0.0088	0.0004	0.0036	0.0004	0.00	56.7	2.4	108.0	20.0	1290.0	310.0	56.7	2.4	47.5
<b>Circón-29</b>	122.4	99.5	0.81	0.106	0.0190	0.1240	0.0240	0.0082	0.0005	0.0041	0.0007	0.11	52.3	3.0	117.0	21.0	1640.0	310.0	52.3	3.0	55.3
<b>Circón-30</b>	802	628	0.78	0.061	0.0082	0.0635	0.0086	0.0076	0.0003	0.0024	0.0003	0.17	49.0	1.6	63.5	8.0	590.0	200.0	49.0	1.6	22.8
<b>Circón-31</b>	117	82.2	0.70	0.085	0.0180	0.1000	0.0170	0.0083	0.0005	0.0041	0.0005	0.02	53.1	3.0	99.0	15.0	1220.0	320.0	53.1	3.0	46.4
<b>Circón-32</b>	123	139.6	1.13	0.167	0.0320	0.1880	0.0520	0.0087	0.0006	0.0045	0.0013	0.06	56.0	4.1	171.0	40.0	2410.0	300.0	56.0	4.1	67.3
<b>Circón-33</b>	130.2	107.1	0.82	0.138	0.0280	0.1750	0.0430	0.0097	0.0005	0.0051	0.0009	0.20	61.9	3.1	162.0	33.0	2110.0	290.0	61.9	3.1	61.8
<b>Circón-34</b>	432.1	805	1.86	0.089	0.0097	0.1020	0.0110	0.0082	0.0003	0.0030	0.0002	0.03	52.5	1.7	98.0	9.4	1400.0	190.0	52.5	1.7	46.4
<b>Circón-35</b>	470	948	2.02	0.063	0.0089	0.0716	0.0110	0.0085	0.0003	0.0028	0.0002	-0.21	54.4	2.0	69.9	10.0	530.0	290.0	54.4	2.0	22.2
<b>Circón-36</b>	68.7	37.4	0.54	0.116	0.0220	0.1440	0.0290	0.0090	0.0006	0.0051	0.0009	0.19	57.7	4.1	134.0	26.0	1820.0	490.0	57.7	4.1	56.9
<b>Circón-37</b>	64.7	35.2	0.54	0.107	0.0310	0.1140	0.0330	0.0093	0.0006	0.0057	0.0010	-0.3	59.9	3.7	107	30	1110	500	59.9	3.40	44.01
<b>Circón-38</b>	110	66.8	0.61	0.099	0.0220	0.1080	0.0250	0.0085	0.0005	0.0049	0.0009	-0.1	54.3	3.4	103	21	1540	330	54.3	3.0	47.28
<b>Circón-39</b>	136.4	102.1	0.75	0.106	0.0180	0.1180	0.0220	0.0087	0.0005	0.0042	0.0006	0.07	55.9	3	112	19	1570	290	55.9	3.0	50.08
<b>Circón-40</b>	132.8	77.7	0.59	0.087	0.0140	0.0940	0.0170	0.0082	0.0005	0.0039	0.0005	-0.1	52.4	3	90	15	1200	340	52.4	3.0	41.77
<b>Zp-12</b>	283	376	1.33	0.108	0.0094	0.1300	0.0120	0.0088	0.0003	0.0036	0.0003	0.29	56.4	1.9	124	11	1720	160	56.4	1.9	54.51
<b>zp-12_1</b>	174	161	0.93	0.079	0.0088	0.0950	0.0110	0.0090	0.0003	0.0036	0.0003	0.38	57.9	1.9	91.7	10	1150	220	57.9	1.9	36.85
<b>zp-12_2</b>	112.7	51.1	0.45	0.176	0.0200	0.2350	0.0260	0.0093	0.0004	0.0091	0.0007	0.16	59.9	2.2	213	21	2600	210	59.9	2.20	71.87
<b>zp-12_3</b>	192.5	194.4	1.01	0.069	0.0095	0.0717	0.0092	0.0078	0.0002	0.0028	0.0002	0.15	49.8	1.6	72.2	9.3	760	300	49.8	1.60	31.02
<b>zp-12_4</b>	114.2	99.1	0.87	0.101	0.0058	0.1261	0.0079	0.0090	0.0003	0.0044	0.0003	0.12	57.6	2	120.4	7.1	1630	120	57.6	2.0	52.15
<b>zp-12_5</b>	127.5	95.2	0.75	0.052	0.0130	0.0560	0.0140	0.0079	0.0004	0.0027	0.0003	0.03	50.6	2.2	55	13	200	460	50.6	2.20	8
<b>zp-12_6</b>	194	201	1.04	0.048	0.0059	0.0564	0.0061	0.0084	0.0002	0.0028	0.0002	0.38	53.6	1.4	55.6	5.9	120	240	53.6	1.40	3.597
<b>zp-12_7</b>	165	105	0.64	0.169	0.0190	0.2100	0.0210	0.0095	0.0004	0.0075	0.0008	0.19	61.2	2.6	193	18	2520	190	61.2	2.60	68.29
<b>zp-12_8</b>	131	127.4	0.97	0.128	0.0160	0.1570	0.0150	0.0093	0.0003	0.0047	0.0004	0.41	59.7	2.2	154	16	2030	220	59.7	2.20	61.23
<b>zp-12_9</b>	280.6	164.7	0.59	0.068	0.0064	0.0757	0.0072	0.0080	0.0002	0.0029	0.0002	0.05	51.6	1.5	74	6.8	820	200	51.6	1.50	30.27
<b>zp-12_10</b>	163.3	131	0.8	0.064	0.0072	0.0682	0.0074	0.0082	0.0003	0.0028	0.0002	0.1	52.4	1.8	66.8	7	660	240	52.4	1.80	21.55

zp-12_11	150.8	121.7	0.81	0.104	0.0065	0.1267	0.0077	0.0087	0.0003	0.0041	0.0003	0.02	55.7	1.6	120.9	6.9	1710	120	55.7	1.60	53.92
zp-12_12	63.6	32.87	0.52	0.106	0.0170	0.1300	0.0210	0.0089	0.0004	0.0059	0.0008	0.21	57	2.4	123	19	1720	290	57	2.40	53.65
Zp-12_13	83.1	52.6	0.63	0.109	0.0120	0.1290	0.0140	0.0087	0.0003	0.0049	0.0005	0.16	55.9	2.1	122	12	1680	200	55.9	2.1	54.18

**Anexo 3-2. Datos U-Pb en circón con método LA-ICPMS de la muestra zp-05. Coordenadas en anexo 1-1**

Punto análisis				RELACIONES CORREGIDAS									EIDADES CORREGIDAS								
	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s abs	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s abs	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %
Circón-01	166.9	204.00	1.22	0.101	0.0160	0.1180	0.0200	0.0084	0.0004	0.0036	0.0005	0.17	54.0	2.5	115.0	17.0	1670.0	250.0	54.0	2.5	53.0
Circón-02	152.1	158.10	1.04	0.082	0.0160	0.0960	0.0180	0.0084	0.0004	0.0034	0.0004	-0.06	54.1	2.4	92.0	16.0	1190.0	300.0	54.1	2.4	41.2
Circón-03	112.4	103.00	0.92	0.104	0.0230	0.1280	0.0250	0.0089	0.0005	0.0047	0.0006	-0.24	57.3	3.1	121.0	23.0	1550.0	350.0	57.3	3.1	52.6
Circón-04	99.6	76.80	0.77	0.115	0.0230	0.1350	0.0290	0.0089	0.0005	0.0049	0.0006	0.29	56.9	3.4	126.0	25.0	1640.0	340.0	56.9	3.4	54.8
Circón-05	168	221.00	1.32	0.100	0.0140	0.1260	0.0200	0.0097	0.0004	0.0049	0.0005	-0.21	62.0	2.6	119.0	17.0	1350.0	280.0	62.0	2.6	47.9
Circón-06	99.5	66.50	0.67	0.092	0.0220	0.0980	0.0320	0.0083	0.0006	0.0040	0.0007	0.05	53.4	3.8	94.0	27.0	1370.0	360.0	53.4	3.8	43.2
Circón-07	96.6	83.00	0.86	0.123	0.0170	0.1510	0.0190	0.0091	0.0004	0.0048	0.0005	-0.17	58.3	2.6	146.0	16.0	1960.0	200.0	58.3	2.6	60.1
Circón-08	91.2	41.50	0.46	0.140	0.0250	0.1770	0.0310	0.0095	0.0005	0.0074	0.0011	-0.15	60.8	3.4	163.0	26.0	2160.0	280.0	60.8	3.4	62.7
Circón-09	119	134.00	1.13	0.097	0.0190	0.1070	0.0210	0.0082	0.0005	0.0037	0.0004	-0.01	52.7	3.4	106.0	19.0	1440.0	340.0	52.7	3.4	50.3
Circón-10	151.4	184.80	1.22	0.087	0.0160	0.0940	0.0190	0.0082	0.0005	0.0030	0.0006	0.19	52.7	3.2	90.0	17.0	1230.0	300.0	52.7	3.2	41.4
Circón-11	84.4	66.90	0.79	0.116	0.0190	0.1310	0.0250	0.0089	0.0006	0.0042	0.0007	0.13	57.3	3.7	124.0	21.0	1710.0	280.0	57.3	3.7	53.8
Circón-12	151.6	160.70	1.06	0.099	0.0230	0.1150	0.0320	0.0085	0.0004	0.0031	0.0009	0.18	54.4	2.3	108.0	27.0	1230.0	330.0	54.4	2.3	49.6
Circón-13	70.2	45.40	0.65	0.163	0.0350	0.1920	0.0480	0.0087	0.0007	0.0067	0.0013	0.03	55.5	4.6	175.0	39.0	2440.0	240.0	55.5	4.6	68.3
Circón-14	84.6	63.80	0.75	0.106	0.0190	0.1300	0.0240	0.0089	0.0005	0.0040	0.0006	-0.09	57.0	3.0	122.0	22.0	1590.0	320.0	57.0	3.0	53.3
Circón-15	63.6	41.60	0.65	0.108	0.0230	0.1180	0.0250	0.0085	0.0006	0.0046	0.0007	0.01	54.6	4.1	111.0	22.0	1590.0	350.0	54.6	4.1	50.8
Circón-16	111.7	74.60	0.67	0.101	0.0220	0.1250	0.0310	0.0088	0.0005	0.0047	0.0009	-0.10	56.6	3.4	118.0	26.0	1660.0	240.0	56.6	3.4	52.0
Circón-17	103.4	70.10	0.68	0.138	0.0220	0.1700	0.0350	0.0095	0.0006	0.0063	0.0009	0.02	61.2	3.9	157.0	29.0	2210.0	210.0	61.2	3.9	61.0
Circón-18	273	405.00	1.48	0.139	0.0170	0.1680	0.0210	0.0089	0.0003	0.0038	0.0003	0.58	57.2	2.0	156.0	18.0	2180.0	220.0	57.2	2.0	63.3
Circón-19	103.5	99.50	0.96	0.123	0.0300	0.1310	0.0400	0.0082	0.0005	0.0045	0.0009	-0.23	52.9	3.5	128.0	33.0	1440.0	390.0	52.9	3.5	58.7
Circón-20	271	158.40	0.58	0.098	0.0110	0.1360	0.0160	0.0099	0.0003	0.0048	0.0008	0.28	64.1	1.9	129.0	14.0	1560.0	200.0	64.1	1.9	50.3

Circón-21	120.6	94.40	0.78	0.108	0.0170	0.1270	0.0170	0.0084	0.0004	0.0040	0.0006	0.06	54.1	2.8	121.0	15.0	1810.0	220.0	54.1	2.8	55.3
Circón-22	111.7	87.00	0.78	0.106	0.0200	0.1190	0.0290	0.0086	0.0005	0.0044	0.0007	-0.05	54.9	3.4	112.0	25.0	1620.0	350.0	54.9	3.4	51.0
Circón-23	137.9	155.40	1.13	0.121	0.0170	0.1340	0.0230	0.0085	0.0005	0.0036	0.0005	0.11	54.7	2.9	129.0	20.0	1830.0	240.0	54.7	2.9	57.6
Circón-24	168.2	205.00	1.22	0.094	0.0270	0.1100	0.0430	0.0085	0.0007	0.0034	0.0011	0.35	54.5	4.3	104.0	37.0	1300.0	350.0	54.5	4.3	47.6
Circón-25	357	434.00	1.22	0.086	0.0310	0.0920	0.0600	0.0084	0.0008	0.0030	0.0015	-0.24	54.0	4.8	89.0	44.0	1250.0	340.0	54.0	4.8	39.3
Circón-26	195	179.40	0.92	0.102	0.0140	0.1120	0.0160	0.0083	0.0004	0.0034	0.0004	0.02	53.5	2.2	107.0	14.0	1510.0	230.0	53.5	2.2	50.0
Circón-27	72.2	56.10	0.78	0.096	0.0200	0.1260	0.0270	0.0094	0.0004	0.0041	0.0006	0.21	60.0	2.8	118.0	24.0	1130.0	290.0	60.0	2.8	49.2
Circón-28	123.1	108.50	0.88	0.126	0.0220	0.1560	0.0270	0.0087	0.0005	0.0034	0.0006	0.09	56.0	3.0	145.0	23.0	1980.0	250.0	56.0	3.0	61.4
Circón-29	118	88.50	0.75	0.179	0.0270	0.2500	0.0440	0.0100	0.0006	0.0083	0.0011	-0.13	64.2	3.7	223.0	35.0	2540.0	230.0	64.2	3.7	71.2
Circón-30	149.6	163.00	1.09	0.090	0.0170	0.0990	0.0230	0.0082	0.0005	0.0028	0.0006	0.31	52.4	3.0	96.0	20.0	1280.0	270.0	52.4	3.0	45.4
Circón-31	644	1770.00	2.75	0.089	0.0200	0.0913	0.0310	0.0075	0.0003	0.0026	0.0006	0.16	48.4	2.2	88.5	26.0	1390.0	270.0	48.4	2.2	45.3
Circón-32	140.9	177.00	1.26	0.085	0.0260	0.0990	0.0390	0.0082	0.0006	0.0032	0.0006	0.09	52.7	3.8	95.0	32.0	1190.0	380.0	52.7	3.8	44.5
Circón-33	102.5	81.50	0.80	0.102	0.0230	0.1290	0.0310	0.0089	0.0005	0.0044	0.0009	0.21	57.2	3.2	121.0	26.0	1620.0	310.0	57.2	3.2	52.7
Circón-34	115.7	106.10	0.92	0.110	0.0230	0.1220	0.0280	0.0080	0.0005	0.0044	0.0005	0.05	51.6	3.3	114.0	26.0	1820.0	320.0	51.6	3.3	54.7
Circón-35	115.5	157.00	1.36	0.131	0.0210	0.1620	0.0270	0.0094	0.0004	0.0052	0.0006	0.04	60.3	2.5	159.0	23.0	2010.0	250.0	60.3	2.5	62.1
Circón-36	97	88.80	0.92	0.090	0.0170	0.1080	0.0220	0.0092	0.0004	0.0042	0.0005	-0.14	59.2	2.7	102.0	19.0	1250.0	330.0	59.2	2.7	42.0
Circón-37	130.1	133.40	1.03	0.102	0.0210	0.1130	0.0240	0.0082	0.0005	0.0033	0.0004	-0.1	52.8	2.9	110	22	1660	330	52.8	2.9	52
Circón-38	276	385.00	1.39	0.083	0.0110	0.1030	0.0120	0.0090	0.0003	0.0035	0.0003	-0.2	57.8	1.8	99	11	1180	270	57.8	1.8	41.616
Circón-39	126.5	133.30	1.05	0.092	0.0180	0.1100	0.0250	0.0092	0.0004	0.0038	0.0007	-0.3	58.9	2.5	105	22	1170	360	58.9	2.5	43.905
Circón-40	69.7	54.30	0.78	0.094	0.0200	0.1190	0.0290	0.0094	0.0007	0.0042	0.0006	-0	60.4	4.3	111	25	1010	480	60.4	4.3	45.586
Circón-41	116.8	114.30	0.98	0.096	0.0160	0.1110	0.0170	0.0089	0.0005	0.0033	0.0005	-0.2	56.8	2.8	105	16	1230	360	56.8	2.8	45.905
Zp-05	90.46	72.76	0.8	0.069	0.0084	0.0765	0.0094	0.0083	0.0004	0.0030	0.0004	0.21	53	2.5	74.6	8.8	740	240	53	2.5	28.954
zp-05_1	73.13	46.24	0.63	0.111	0.0140	0.1420	0.0170	0.0095	0.0005	0.0058	0.0005	0.27	60.7	3.2	134	15	1780	220	60.7	3.2	54.701
zp-05_2	124.8	103.80	0.83	0.073	0.0087	0.0850	0.0110	0.0084	0.0003	0.0033	0.0003	0.27	53.6	1.7	82	10	1050	260	53.6	1.7	34.634
zp-05_3	142.5	104.70	0.73	0.081	0.0071	0.1014	0.0096	0.0090	0.0003	0.0040	0.0002	0.1	58	2	97.7	8.8	1150	170	58	2.0	40.635
zp-05_4	84.9	49.70	0.59	0.095	0.0130	0.1250	0.0170	0.0092	0.0004	0.0048	0.0004	0.08	58.8	2.7	119	15	1500	270	58.8	2.7	50.588
zp-05_5	95.4	97.70	1.02	0.053	0.0077	0.0646	0.0100	0.0090	0.0004	0.0031	0.0003	0.3	57.5	2.5	63.3	9.6	410	270	57.5	2.5	9.1627
zp-05_6	125.2	117.70	0.94	0.065	0.0086	0.0765	0.0100	0.0084	0.0003	0.0030	0.0002	0.15	54	1.7	74.4	9.5	600	280	54	1.7	27.419

zp-05_7	104.9	79.70	0.76	0.109	0.0120	0.1320	0.0140	0.0090	0.0004	0.0046	0.0005	0.07	57.7	2.2	128	14	1620	260	57.7	2.2	54.922
zp-05_8	105.7	79.80	0.75	0.087	0.0110	0.1080	0.0120	0.0090	0.0003	0.0042	0.0003	0.21	57.7	2	104	11	1310	240	57.7	2.0	44.519
zp-05_9	124.9	105.90	0.85	0.088	0.0079	0.1082	0.0094	0.0089	0.0003	0.0037	0.0002	0.05	57.2	1.9	105.3	8.4	1410	180	57.2	1.9	45.679
zp-05_10	358	821.00	2.29	0.069	0.0055	0.0900	0.0074	0.0093	0.0003	0.0034	0.0003	0.09	59.9	1.7	87.4	6.9	910	190	59.9	1.7	31.465
zp-05_11	188	267.00	1.42	0.076	0.0063	0.0889	0.0071	0.0087	0.0002	0.0029	0.0002	0.02	55.7	1.5	86.4	6.7	1020	190	55.7	2.0	35.532
zp-05_12	180.6	204.50	1.13	0.089	0.0130	0.0980	0.0140	0.0084	0.0002	0.0033	0.0002	0.01	53.7	1.4	95	13	1300	270	53.7	1.4	43.474
zp-05_13	104.8	80.80	0.77	0.0601	0.008	0.0693	0.008	0.00852	3E-04	0.00295	0.0002	0.02	54.7	2.1	67.8	7.6	490	260	54.7	2.1	19.322
Zp-05_14	178	167.00	0.94	0.0631	0.005	0.0787	0.007	0.00846	3E-04	0.00298	0.0002	0.04	54.3	1.8	76.8	6.6	850	180	54.3	1.8	29.297

### Anexo 3-3. Datos U-Pb en circón con método LA-ICPMS de la muestra zp-06. Coordenadas en anexo 1-1

Punto análisis	RELACIONES CORREGIDAS			EIDADES CORREGIDAS																	
	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s abs	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s abs	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %
Circón-01	142	119.00	0.84	0.138	0.0230	0.1760	0.0290	0.0092	0.0005	0.0059	0.0007	-0.026	58.8	3.0	162.0	24.0	2130.0	260.0	58.8	3.0	63.70
Circón-02	115.5	83.30	0.72	0.172	0.0280	0.1920	0.0410	0.0085	0.0007	0.0062	0.0012	-0.107	54.5	4.2	177.0	33.0	2500.0	220.0	54.5	4.2	69.21
Circón-03	187	158.40	0.85	0.197	0.0310	0.2700	0.0430	0.0099	0.0005	0.0074	0.0012	-0.228	63.4	3.4	241.0	32.0	2810.0	190.0	63.4	3.4	73.69
Circón-04	106.7	73.50	0.69	0.189	0.0200	0.2480	0.0280	0.0091	0.0005	0.0083	0.0009	0.318	58.6	3.3	227.0	23.0	2770.0	160.0	58.6	3.3	74.19
Circón-05	64.6	38.99	0.60	0.186	0.0350	0.2510	0.0560	0.0099	0.0007	0.0098	0.0018	0.014	63.6	4.2	229.0	41.0	2680.0	280.0	63.6	4.2	72.23
Circón-06	138.4	127.00	0.92	0.128	0.0200	0.1450	0.0270	0.0085	0.0004	0.0048	0.0006	0.161	54.7	2.5	137.0	22.0	2040.0	210.0	54.7	2.5	60.07
Circón-07	69.4	35.91	0.52	0.147	0.0300	0.1800	0.0410	0.0091	0.0007	0.0090	0.0016	0.126	58.6	4.2	163.0	34.0	2240.0	340.0	58.6	4.2	64.05
Circón-08	70.8	42.81	0.60	0.223	0.0280	0.3420	0.0450	0.0113	0.0006	0.0103	0.0016	0.127	72.5	4.0	301.0	33.0	2930.0	200.0	72.5	4.0	75.91
Circón-09	113.1	73.90	0.65	0.176	0.0270	0.2250	0.0340	0.0100	0.0005	0.0069	0.0007	-0.168	63.9	3.2	202.0	28.0	2500.0	270.0	63.9	3.2	68.37
Circón-10	90.8	60.80	0.67	0.226	0.0210	0.2920	0.0340	0.0101	0.0006	0.0114	0.0011	0.028	64.5	3.8	278.0	26.0	3000.0	150.0	64.5	3.8	76.80
Circón-11	124.8	100.80	0.81	0.225	0.0250	0.2910	0.0480	0.0098	0.0007	0.0085	0.0014	0.094	62.9	4.3	257.0	34.0	2910.0	180.0	62.9	4.3	75.53
Circón-12	121.5	98.80	0.81	0.251	0.0240	0.3520	0.0390	0.0103	0.0005	0.0084	0.0011	-0.138	65.9	3.4	308.0	29.0	3210.0	160.0	65.9	3.4	78.60
Circón-13	109.4	102.40	0.94	0.405	0.0250	0.9770	0.0860	0.0172	0.0009	0.0192	0.0030	0.391	109.9	5.5	689.0	43.0	3922.0	94.0	109.9	5.5	84.05
Circón-14	92.8	60.90	0.66	0.339	0.0270	0.5780	0.0490	0.0126	0.0007	0.0152	0.0012	0.202	80.7	4.1	464.0	29.0	3620.0	130.0	80.7	4.1	82.61
Circón-15	112.4	82.20	0.73	0.127	0.0130	0.1620	0.0190	0.0099	0.0005	0.0059	0.0006	0.085	63.2	2.9	164.0	16.0	2040.0	210.0	63.2	2.9	61.46
Circón-16	81.2	59.70	0.74	0.092	0.0190	0.1160	0.0240	0.0094	0.0005	0.0042	0.0006	-0.045	60.0	2.9	109.0	21.0	1390.0	340.0	60.0	2.9	44.95



<b>Circón-17</b>	79.2	53.00	0.67	0.113	0.0250	0.1100	0.0350	0.0084	0.0007	0.0052	0.0011	-0.203	54.0	4.2	112.0	29.0	1090.0	330.0	54.0	4.2	51.79
<b>Circón-18</b>	129	41.27	0.32	0.061	0.0120	0.2930	0.0300	0.0374	0.0022	0.0132	0.0013	-0.083	236.7	14.0	270.0	22.0	500.0	250.0	236.7	236.7	12.33
<b>Circón-19</b>	195.8	124.50	0.64	0.100	0.0220	0.1120	0.0390	0.0086	0.0005	0.0044	0.0013	0.226	55.4	3.0	107.0	31.0	1550.0	290.0	55.4	3.0	48.22
<b>Circón-20</b>	113.9	89.40	0.78	0.079	0.0170	0.0950	0.0190	0.0088	0.0004	0.0031	0.0006	-0.165	56.7	2.8	91.0	17.0	1040.0	360.0	56.7	2.8	37.69
<b>Circón-21</b>	92.1	58.60	0.64	0.128	0.0180	0.1610	0.0230	0.0089	0.0005	0.0053	0.0006	0.068	57.2	3.4	149.0	20.0	1930.0	260.0	57.2	3.4	61.61
<b>Circón-22</b>	109.3	88.70	0.81	0.227	0.0220	0.3530	0.0400	0.0115	0.0005	0.0092	0.0011	-0.202	74.0	3.0	306.0	28.0	3080.0	150.0	74.0	3.0	75.82
<b>Circón-23</b>	84.2	70.00	0.83	0.709	0.0330	6.2600	0.5700	0.0624	0.0050	0.1350	0.0240	0.534	390.0	30	2008.0	88.0	4760.0	72.0	390.0	30	80.58
<b>Circón-24</b>	224	105.00	0.47	0.114	0.0280	0.1630	0.0450	0.0108	0.0006	0.0067	0.0012	0.155	69.1	3.5	152.0	35.0	1840.0	320.0	69.1	3.5	54.54
<b>Circón-25</b>	131.8	90.60	0.69	0.335	0.0240	0.6340	0.0520	0.0137	0.0006	0.0177	0.0016	0.316	87.9	3.8	494.0	31.0	3650.0	100.0	87.9	3.8	82.21
<b>Circón-26</b>	168	154.60	0.92	0.337	0.0270	0.6260	0.0700	0.0135	0.0009	0.0133	0.0022	0.240	86.3	5.4	492.0	38.0	3690.0	110.0	86.3	5.4	82.46
<b>Circón-27</b>	97	68.90	0.71	0.207	0.0270	0.2850	0.0410	0.0103	0.0005	0.0083	0.0007	-0.186	66.0	3.2	262.0	31.0	2850.0	210.0	66.0	3.2	74.81
<b>Circón-28</b>	126.2	181.00	1.43	0.120	0.0200	0.1470	0.0330	0.0088	0.0004	0.0035	0.0007	0.074	56.5	2.8	141.0	27.0	1940.0	240.0	56.5	2.8	59.93
<b>Circón-29</b>	111.9	88.90	0.79	0.116	0.0190	0.1480	0.0260	0.0096	0.0005	0.0046	0.0005	0.090	61.3	2.9	138.0	23.0	1850.0	270.0	61.3	2.9	55.58
<b>Circón-30</b>	133	103.10	0.78	0.087	0.0210	0.1010	0.0250	0.0085	0.0004	0.0043	0.0007	-0.319	54.7	2.3	101.0	24.0	1170.0	310.0	54.7	2.3	45.84
<b>Circón-31</b>	191.7	232.00	1.21	0.127	0.0210	0.1580	0.0310	0.0092	0.0005	0.0045	0.0007	0.152	59.3	2.9	148.0	27.0	1970.0	230.0	59.3	2.9	59.93
<b>Circón-32</b>	203.3	173.10	0.85	0.097	0.0140	0.1130	0.0220	0.0085	0.0004	0.0035	0.0006	0.232	54.3	2.8	108.0	19.0	1560.0	220.0	54.3	2.8	49.72
<b>Circón-33</b>	128.8	122.80	0.95	0.099	0.0170	0.1280	0.0230	0.0097	0.0004	0.0044	0.0005	-0.003	62.0	2.7	124.0	20.0	1320.0	340.0	62.0	2.7	50.00
<b>Circón-34</b>	121.6	73.40	0.60	0.133	0.0240	0.1560	0.0390	0.0089	0.0006	0.0061	0.0010	0.170	57.2	3.5	145.0	32.0	2010.0	240.0	57.2	3.5	60.55
<b>Circón-35</b>	101.7	80.00	0.79	0.088	0.0160	0.0940	0.0170	0.0086	0.0006	0.0039	0.0004	-0.138	55.1	3.5	93.0	16.0	1250.0	350.0	55.1	3.5	40.75
<b>Circón-36</b>	222	530.00	2.39	0.107	0.0230	0.1230	0.0340	0.0084	0.0004	0.0030	0.0009	0.626	53.6	2.8	117.0	27.0	1780.0	220.0	53.6	2.8	54.19
<b>Circón-37</b>	99.4	92.30	0.93	0.274	0.0280	0.4990	0.0600	0.0129	0.0007	0.0128	0.0016	0.352	82.7	4.3	407	39	3300	140	82.7	4.3	79.68
<b>Circón-38</b>	100	64.80	0.65	0.135	0.0240	0.1540	0.0300	0.0091	0.0006	0.0052	0.0007	-0.092	58.3	3.9	155	26	1810	300	58.3	3.9	62.39
<b>Circón-39</b>	96.55	54.60	0.57	0.131	0.0180	0.1550	0.0280	0.0082	0.0005	0.0049	0.0006	0.512	52.8	3.2	145	23	2050	210	52.8	3.2	63.59
<b>Circón-40</b>	89.5	66.20	0.74	0.116	0.0200	0.1340	0.0280	0.0094	0.0004	0.0050	0.0006	-0.160	60.6	2.8	126	25	1660	310	60.6	2.8	51.90
<b>Circón-41</b>	148	174.00	1.18	0.083	0.0160	0.0950	0.0210	0.0084	0.0004	0.0036	0.0005	0.077	54.2	2.6	92	18	1300	260	54.2	2.6	41.09
<b>Zp-06</b>	159.2	166.00	1.04	0.117	0.0092	0.1480	0.0120	0.0092	0.0003	0.0045	0.0003	0.197	58.9	1.7	140	11	1880	140	58.9	1.7	57.93
<b>zp-06_1</b>	139.6	145.70	1.04	0.135	0.0110	0.1740	0.0140	0.0094	0.0003	0.0048	0.0003	0.059	60	1.7	162	12	2180	150	60	1.7	62.96
<b>zp-06_2</b>	181.2	152.20	0.84	0.127	0.0082	0.1602	0.0110	0.0089	0.0003	0.0047	0.0003	0.164	56.9	1.6	150.6	9.2	2050	120	56.9	1.6	62.22

zp-06_3	86.6	68.60	0.79	0.105	0.0110	0.1350	0.0140	0.0094	0.0004	0.0049	0.0003	0.035	60.2	2.3	128	12	1660	200	60.2	2.3	52.97
zp-06_4	96.4	66.90	0.69	0.067	0.0099	0.0780	0.0110	0.0087	0.0003	0.0036	0.0004	0.261	55.9	1.8	79	11	720	320	55.9	1.8	29.24
zp-06_5	150.4	120.30	0.8	0.077	0.0120	0.0890	0.0150	0.0081	0.0003	0.0034	0.0002	0.164	52.3	2	86	14	1170	320	52.3	2.0	39.19
zp-06_6	163.1	162.30	1	0.053	0.0093	0.0562	0.0083	0.0082	0.0003	0.0027	0.0002	0.559	52.3	1.6	55.4	8	250	350	52.3	1.6	5.60
zp-06_7	145.3	144.90	1	0.060	0.0078	0.0693	0.0086	0.0084	0.0003	0.0027	0.0002	0.085	53.8	1.8	69.6	7.6	660	270	53.8	2.0	22.70
zp-06_8	117.2	105.28	0.9	0.104	0.0120	0.1270	0.0170	0.0090	0.0004	0.0042	0.0003	0.397	57.5	2.3	124	16	1680	240	57.5	2.3	53.63
zp-06_9	145.9	153.90	1.05	0.104	0.0074	0.1215	0.0087	0.0086	0.0003	0.0036	0.0003	0.282	55.2	1.7	116.3	7.8	1730	130	55.2	1.7	52.54
zp-06_10	123.8	92.80	0.75	0.112	0.0087	0.1310	0.0110	0.0087	0.0003	0.0049	0.0003	0.006	56	1.9	126.5	9	1850	140	56	1.9	55.73
zp-06_11	107.6	76.20	0.71	0.070	0.0072	0.0901	0.0097	0.0090	0.0003	0.0037	0.0003	0.111	57.8	2.2	87.2	9	900	240	57.8	1.9	33.72
zp-06_12	113	90.00	0.8	0.053	0.0073	0.0586	0.0080	0.0080	0.0003	0.0028	0.0004	0.005	51.5	1.9	57.7	7.7	330	260	51.5	1.9	10.75
zp-06_13	87.9	50.85	0.58	0.0529	0.009	0.0575	0.009	0.00799	3E-04	0.0028	4E-04	0.167	51.3	1.8	56.5	8.7	350	320	51.3	1.8	9.20

**Anexo 3-4. Datos U-Pb en circón con método LA-ICPMS de la muestra zp-07. Coordenadas en anexo 1-1**

Punto análisis				RELACIONES CORREGIDAS									EIDADES CORREGIDAS								
	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s abs	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s abs	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %
Zp-07_Zrn_01	51.2	33.00	0.64	0.112	0.0270	0.1290	0.0400	0.0089	0.0006	0.0072	0.0014	0.223	57.1	3.9	119.0	34.0	1730.0	350.0	57.1	3.9	52.02
Zp-07_Zrn_02	113.3	84.28	0.74	0.081	0.0140	0.0930	0.0190	0.0085	0.0004	0.0032	0.0006	-0.142	54.7	2.5	90.0	17.0	880.0	340.0	54.7	2.5	39.22
Zp-07_Zrn_03	133.7	91.60	0.69	0.094	0.0160	0.1150	0.0210	0.0088	0.0003	0.0043	0.0005	-0.197	56.3	1.9	110.0	18.0	1320.0	320.0	56.3	1.9	48.82
Zp-07_Zrn_04	147.5	139.90	0.95	0.121	0.0250	0.1580	0.0420	0.0094	0.0005	0.0043	0.0012	0.005	60.4	3.1	147.0	34.0	1860.0	260.0	60.4	3.1	58.91
Zp-07_Zrn_05	79.7	66.90	0.84	0.169	0.0200	0.2190	0.0300	0.0088	0.0006	0.0054	0.0007	0.322	56.3	3.5	199.0	24.0	2520.0	200.0	56.3	3.5	71.71
Zp-07_Zrn_06	48.7	28.60	0.59	0.138	0.0280	0.1900	0.0350	0.0098	0.0006	0.0053	0.0009	0.102	62.8	3.5	172.0	30.0	2090.0	300.0	62.8	3.5	63.49
Zp-07_Zrn_07	71.36	47.85	0.67	0.160	0.0190	0.2040	0.0290	0.0096	0.0005	0.0071	0.0009	0.280	61.5	3.3	187.0	23.0	2520.0	180.0	61.5	3.3	67.11
Zp-07_Zrn_08	143.7	103.90	0.72	0.074	0.0130	0.0840	0.0160	0.0081	0.0004	0.0034	0.0005	0.063	51.9	2.5	84.0	15.0	870.0	300.0	51.9	2.5	38.21
Zp-07_Zrn_09	88.7	52.81	0.60	0.086	0.0190	0.1020	0.0180	0.0081	0.0004	0.0033	0.0007	-0.138	52.2	2.8	97.0	16.0	1040.0	390.0	52.2	2.8	46.19
Zp-07_Zrn_10	85.6	66.40	0.78	0.089	0.0170	0.1060	0.0210	0.0089	0.0005	0.0035	0.0006	0.225	57.3	3.1	101.0	19.0	1130.0	320.0	57.3	3.1	43.27
Zp-07_Zrn_11	79.5	72.90	0.92	0.115	0.0250	0.1320	0.0300	0.0087	0.0005	0.0046	0.0008	-0.182	55.6	3.1	123.0	27.0	1710.0	350.0	55.6	3.1	54.80
Zp-07_Zrn_12	93.9	60.71	0.65	0.072	0.0150	0.0900	0.0190	0.0091	0.0004	0.0039	0.0006	-0.244	58.1	2.7	86.0	17.0	920.0	360.0	58.1	2.7	32.44

Zp-07_Zrn_13	113.9	82.50	0.72	0.177	0.0280	0.2360	0.0560	0.0094	0.0009	0.0070	0.0022	0.075	60.5	5.9	219.0	40.0	2570.0	200.0	60.5	5.9	72.37
Zp-07_Zrn_14	145.1	163.80	1.13	0.068	0.0120	0.0760	0.0130	0.0083	0.0003	0.0026	0.0003	-0.216	53.0	1.8	74.0	12.0	510.0	340.0	53.0	1.8	28.38
Zp-07_Zrn_15	59.2	47.50	0.80	0.124	0.0190	0.1650	0.0250	0.0098	0.0005	0.0057	0.0008	0.066	62.9	3.4	158.0	21.0	1910.0	270.0	62.9	3.4	60.19
Zp-07_Zrn_16	94.03	102.20	1.09	0.154	0.0220	0.1840	0.0290	0.0087	0.0005	0.0042	0.0005	-0.045	55.9	3.2	174.0	25.0	2260.0	270.0	55.9	3.2	67.87
Zp-07_Zrn_17	105.8	103.50	0.98	0.077	0.0150	0.0960	0.0200	0.0091	0.0004	0.0040	0.0006	-0.043	58.4	2.6	92.0	18.0	1030.0	330.0	58.4	2.6	36.52
Zp-07_Zrn_18	83.8	50.30	0.60	0.148	0.0200	0.2150	0.0310	0.0105	0.0005	0.0075	0.0010	0.153	67.2	3.2	196.0	25.0	2210.0	270.0	67.2	3.2	65.71
Zp-07_Zrn_19	84.3	75.00	0.89	0.138	0.0270	0.1740	0.0400	0.0098	0.0007	0.0059	0.0007	0.206	62.8	4.2	159.0	33.0	1960.0	340.0	62.8	4.2	60.50
Zp-07_Zrn_20	87.6	56.00	0.64	0.366	0.0360	0.6120	0.0580	0.0127	0.0006	0.0178	0.0017	0.262	81.5	3.5	486.0	37.0	3710.0	160.0	81.5	3.5	83.23
Zp-07_Zrn_21	77.3	76.60	0.99	0.166	0.0260	0.2210	0.0300	0.0097	0.0006	0.0057	0.0006	-0.143	62.2	3.5	205.0	26.0	2470.0	240.0	62.2	3.5	69.66
Zp-07_Zrn_22	88.8	69.00	0.78	0.093	0.0190	0.1130	0.0250	0.0085	0.0005	0.0042	0.0007	0.070	54.7	3.3	107.0	23.0	1540.0	340.0	54.7	3.3	48.88
Zp-07_Zrn_23	88	56.60	0.64	0.106	0.0170	0.1330	0.0230	0.0096	0.0006	0.0059	0.0007	-0.022	61.6	3.7	125.0	20.0	1750.0	250.0	61.6	3.7	50.72
Zp-07_Zrn_24	101.1	79.20	0.78	0.082	0.0150	0.1090	0.0190	0.0087	0.0005	0.0040	0.0004	-0.104	55.5	2.9	103.0	17.0	1220.0	350.0	55.5	2.9	46.12
Zp-07_Zrn_25	190	211.00	1.11	0.076	0.0083	0.0970	0.0110	0.0088	0.0003	0.0033	0.0003	-0.042	56.6	1.6	93.0	10.0	980.0	230.0	56.6	1.6	39.14
Zp-07_Zrn_26	99	89.30	0.90	0.057	0.0140	0.0690	0.0160	0.0084	0.0004	0.0030	0.0004	0.210	53.7	2.6	66.0	15.0	190.0	380.0	53.7	2.6	18.64
Zp-07_Zrn_27	126.5	124.30	0.98	0.201	0.0240	0.2460	0.0320	0.0091	0.0005	0.0051	0.0007	0.418	58.4	2.9	227.0	26.0	2780.0	210.0	58.4	2.9	74.27
Zp-07_Zrn_28	92.6	85.50	0.92	0.084	0.0130	0.1040	0.0160	0.0087	0.0004	0.0033	0.0004	0.022	55.9	2.4	99.0	15.0	1140.0	300.0	55.9	2.4	43.54
Zp-07_Zrn_29	90.7	62.90	0.69	0.072	0.0160	0.0850	0.0200	0.0087	0.0005	0.0038	0.0006	0.042	56.1	3.1	81.0	18.0	870.0	390.0	56.1	3.1	30.74
Zp-07_Zrn_30	82.9	55.60	0.67	0.101	0.0200	0.1490	0.0350	0.0106	0.0007	0.0083	0.0010	0.114	67.8	4.4	139.0	30.0	1600.0	300.0	67.8	4.4	51.22
Zp-07_Zrn_31	246.3	258.80	1.05	0.057	0.0085	0.0643	0.0100	0.0085	0.0002	0.0030	0.0003	-0.078	54.8	1.5	63.1	9.4	440.0	230.0	54.8	1.5	13.15
Zp-07_Zrn_32	86.7	65.50	0.76	0.067	0.0170	0.0870	0.0190	0.0088	0.0004	0.0039	0.0005	-0.015	56.1	2.7	87.0	18.0	740.0	400.0	56.1	2.7	35.52
Zp-07_Zrn_33	83	59.00	0.71	0.094	0.0200	0.1070	0.0230	0.0087	0.0004	0.0036	0.0005	-0.174	56.0	2.5	106.0	20.0	1210.0	410.0	56.0	2.5	47.17
Zp-07_Zrn_34	98.2	105.00	1.07	0.099	0.0190	0.1310	0.0240	0.0094	0.0004	0.0036	0.0005	0.158	60.4	2.7	123.0	21.0	1290.0	360.0	60.4	2.7	50.89
Zp-07_Zrn_35	72.4	55.30	0.76	0.102	0.0200	0.1260	0.0230	0.0086	0.0005	0.0047	0.0007	0.241	54.9	3.3	118.0	21.0	1420.0	310.0	54.9	3.3	53.47
Zp-07_Zrn_36	80.9	56.40	0.70	0.110	0.0240	0.1270	0.0320	0.0091	0.0004	0.0042	0.0008	-0.101	58.1	2.6	119.0	28.0	1120.0	490.0	58.1	2.6	51.18
Zp-07_Zrn_37	321	15.20	0.05	0.074	0.0035	1.5790	0.0840	0.1526	0.0051	0.0258	0.0030	0.065	916	29	961	35	1039	97	916	29	4.68

**Anexo 3-5. Datos U-Pb en circón con método LA-ICPMS de la muestra zp-09. Coordenadas en anexo 1-1**

Punto análisis				RELACIONES CORREGIDAS									EDADES CORREGIDAS								
	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s abs	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s abs	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %
Circón-01	115.9	107.30	0.93	0.117	0.0200	0.1070	0.0170	0.0070	0.0005	0.0031	0.0004	-0.077	44.8	2.9	103.0	15.0	1680.0	380.0	44.8	2.9	56.50
Circón-02	188	147.10	0.78	0.095	0.0130	0.0880	0.0130	0.0070	0.0003	0.0037	0.0006	0.418	44.8	1.7	85.0	12.0	1350.0	260.0	44.8	1.7	47.29
Circón-03	120	148.00	1.23	0.186	0.0370	0.2000	0.0480	0.0077	0.0005	0.0042	0.0010	0.286	49.5	3.3	181.0	39.0	2730.0	260.0	49.5	3.3	72.65
Circón-04	199	213.00	1.07	0.126	0.0260	0.1180	0.0350	0.0073	0.0004	0.0031	0.0007	-0.001	47.2	2.8	112.0	29.0	1940.0	300.0	47.2	2.8	57.86
Circón-05	360.4	353.00	0.98	0.057	0.0120	0.0463	0.0110	0.0065	0.0002	0.0023	0.0002	0.056	41.4	1.6	45.7	10.0	480.0	330.0	41.4	1.6	9.41
Circón-06	305	310.00	1.02	0.081	0.0130	0.0730	0.0120	0.0066	0.0003	0.0026	0.0003	-0.103	42.4	1.8	71.0	11.0	1170.0	260.0	42.4	1.8	40.28
Circón-07	1890	706.00	0.37	0.050	0.0035	0.0446	0.0031	0.0063	0.0001	0.0021	0.0002	-0.057	40.6	0.8	44.3	2.9	210.0	140.0	40.6	0.8	8.33
Circón-08	923	187.50	0.20	0.082	0.0092	0.0757	0.0084	0.0066	0.0002	0.0058	0.0007	-0.042	42.5	0.9	73.9	8.1	1160.0	170.0	42.5	0.9	42.49
Circón-09	995	670.00	0.67	0.052	0.0049	0.0463	0.0049	0.0066	0.0002	0.0022	0.0002	0.077	42.6	1.2	45.9	4.7	270.0	180.0	42.6	1.2	7.19
Circón-10	79.9	73.40	0.92	0.147	0.0350	0.1570	0.0350	0.0074	0.0006	0.0047	0.0007	0.174	47.7	3.9	144.0	30.0	2360.0	340.0	47.7	3.9	66.88
Circón-11	204.9	196.10	0.96	0.101	0.0180	0.0950	0.0190	0.0069	0.0003	0.0029	0.0005	0.030	44.1	2.0	92.0	17.0	1670.0	270.0	44.1	2.0	52.07
Circón-12	199	120.20	0.60	0.161	0.0230	0.1490	0.0270	0.0071	0.0005	0.0050	0.0006	0.049	45.8	2.8	140.0	23.0	2320.0	220.0	45.8	2.8	67.29
Circón-13	436	540.00	1.24	0.070	0.0092	0.0633	0.0088	0.0069	0.0003	0.0023	0.0003	0.136	44.0	1.6	62.2	8.3	760.0	270.0	44.0	1.6	29.26
Circón-14	163.6	198.00	1.21	0.089	0.0160	0.0790	0.0160	0.0068	0.0003	0.0031	0.0003	-0.066	43.6	2.2	76.0	14.0	1080.0	350.0	43.6	2.2	42.63
Circón-15	130.9	150.00	1.15	0.126	0.0220	0.1160	0.0240	0.0070	0.0005	0.0027	0.0005	-0.018	45.2	3.1	114.0	21.0	1890.0	290.0	45.2	3.1	60.35
Circón-16	588	83.20	0.14	0.071	0.0180	0.0688	0.0180	0.0070	0.0002	0.0048	0.0008	0.134	44.8	1.6	68.8	16.0	890.0	340.0	44.8	1.6	34.88
Circón-17	226.4	263.00	1.16	0.068	0.0140	0.0630	0.0130	0.0068	0.0002	0.0026	0.0003	-0.314	43.9	1.5	61.0	12.0	640.0	350.0	43.9	1.5	28.03
Circón-18	310	158.50	0.51	0.372	0.0330	0.5050	0.0810	0.0101	0.0007	0.0191	0.0026	0.084	64.9	4.3	413.0	49.0	3760.0	130.0	64.9	4.3	84.29
Circón-19	308	109.00	0.35	0.250	0.0350	0.2820	0.0690	0.0081	0.0007	0.0153	0.0016	0.328	52.3	4.2	251.0	45.0	3230.0	170.0	52.3	4.2	79.16
Circón-20	124.3	160.50	1.29	0.230	0.0340	0.2360	0.0480	0.0076	0.0006	0.0049	0.0008	0.076	49.0	3.8	211.0	38.0	2980.0	200.0	49.0	3.8	76.78
Circón-21	1450	99.70	0.07	0.063	0.0140	0.0531	0.0170	0.0061	0.0002	0.0049	0.0060	0.466	38.9	1.5	52.3	15.0	590.0	260.0	38.9	1.5	25.70
Circón-22	503	361.00	0.72	0.079	0.0095	0.0616	0.0068	0.0057	0.0002	0.0023	0.0002	-0.311	36.9	1.2	60.4	6.4	1120.0	220.0	36.9	1.2	38.91
Circón-23	215	278.80	1.30	0.106	0.0140	0.0960	0.0120	0.0067	0.0004	0.0026	0.0003	-0.154	43.0	2.4	92.0	11.0	1680.0	220.0	43.0	2.4	53.26
Circón-24	139	112.60	0.81	0.141	0.0380	0.1610	0.0730	0.0082	0.0007	0.0049	0.0012	0.305	52.9	4.3	149.0	50.0	2180.0	300.0	52.9	4.3	64.50
Circón-25	413	106.70	0.26	0.088	0.0200	0.0762	0.0230	0.0062	0.0003	0.0047	0.0006	0.257	39.8	2.0	74.3	20.0	1310.0	270.0	39.8	2.0	46.43

Circón-26	159	181.00	1.14	0.073	0.0530	0.0750	0.1200	0.0068	0.0009	0.0030	0.0023	-0.369	44.0	5.7	72.0	76.0	720.0	590.0	44.0	5.7	38.89
Circón-27	118.1	158.90	1.35	0.064	0.0150	0.0540	0.0130	0.0062	0.0004	0.0021	0.0002	-0.088	40.1	2.5	53.0	12.0	350.0	470.0	40.1	2.5	24.34
Circón-28	663	640.00	0.97	0.055	0.0061	0.0512	0.0061	0.0067	0.0002	0.0022	0.0002	0.390	42.9	1.0	50.5	5.8	340.0	220.0	42.9	1.0	15.05
Circón-29	169	226.00	1.34	0.134	0.0190	0.1420	0.0200	0.0075	0.0003	0.0035	0.0003	-0.047	48.4	2.2	139.0	18.0	2090.0	260.0	48.4	2.2	65.18
Circón-30	604	356.60	0.59	0.060	0.0062	0.0506	0.0055	0.0063	0.0002	0.0022	0.0003	0.161	40.5	1.2	49.9	5.3	570.0	200.0	40.5	1.2	18.84
Circón-31	192.9	200.90	1.04	0.103	0.0200	0.0960	0.0200	0.0068	0.0004	0.0027	0.0004	-0.024	43.9	2.5	92.0	17.0	1650.0	270.0	43.9	2.5	52.28
Circón-32	345	174.00	0.50	0.233	0.0180	0.2660	0.0240	0.0082	0.0003	0.0105	0.0009	0.415	52.4	1.6	242.0	18.0	3050.0	120.0	52.4	1.6	78.35
Circón-33	1289	103.90	0.08	0.070	0.0450	0.0622	0.0960	0.0065	0.0009	0.0079	0.0130	0.111	41.6	5.6	61.1	70.0	880.0	420.0	41.6	5.6	31.85
Circón-34	209	185.00	0.89	0.097	0.0150	0.0790	0.0120	0.0061	0.0003	0.0018	0.0005	0.032	39.0	2.1	77.0	11.0	1550.0	280.0	39.0	2.1	49.35
Circón-35	160	253.00	1.58	0.185	0.0330	0.2030	0.0490	0.0077	0.0006	0.0045	0.0007	-0.002	49.6	3.8	185.0	37.0	2720.0	230.0	49.6	3.8	73.19
Circón-36	460	376.00	0.82	0.074	0.0081	0.0712	0.0070	0.0069	0.0002	0.0024	0.0002	-0.064	44.0	1.1	71.2	6.6	1020.0	200.0	44.0	1.1	38.20
Circón-37	85	39.70	0.47	0.138	0.0250	0.1480	0.0270	0.0069	0.0005	0.0064	0.0007	0.259	44.5	3.0	137	24	2220	320	44.5	3.0	67.52
Circón-38	314	324.00	1.03	0.078	0.0088	0.0730	0.0085	0.0068	0.0002	0.0026	0.0002	0.206	43.9	1.3	70.8	8	1100	240	43.9	1.3	37.99
Circón-39	128.9	156.00	1.21	0.128	0.0310	0.1350	0.0400	0.0071	0.0006	0.0033	0.0007	0.061	45.8	3.9	134	32	2110	270	45.8	3.9	65.82
Circón-40	912	332.40	0.36	0.127	0.0360	0.1180	0.0600	0.0067	0.0005	0.0062	0.0039	0.574	43	3.3	112	46	2070	270	43.0	3.3	61.61
Zp-09	200.4	196.40	0.98	0.049	0.0052	0.0468	0.0051	0.0070	0.0002	0.0022	0.0001	0.208	44.8	1.3	46.4	4.9	160	220	44.8	1.3	3.45
Zp-09_4	142.7	179.00	1.25	0.080	0.0110	0.0709	0.0089	0.0066	0.0003	0.0024	0.0002	0.390	42.3	1.7	69.4	8.4	1110	260	42.3	1.7	39.05
Zp-09_5	180	215.00	1.19	0.054	0.0090	0.0454	0.0069	0.0064	0.0002	0.0023	0.0002	0.530	41	1.4	44.9	6.7	230	320	41	1.4	8.69
Zp-09_6	126.9	114.00	0.9	0.153	0.0210	0.1500	0.0150	0.0074	0.0004	0.0047	0.0004	0.370	47.4	2.4	142	13	2360	240	47.4	2.4	66.62
Zp-09_8	1146	147.00	0.13	0.049	0.0032	0.0513	0.0037	0.0076	0.0002	0.0025	0.0002	0.367	48.58	0.96	50.7	3.6	150	140	48.6	1.0	4.18

**Anexo 3-6. Datos U-Pb en circón con método LA-ICPMS de la muestra NF-2. Coordenadas en anexo 1-1**

Punto análisis				RELACIONES CORREGIDAS									EDADES CORREGIDAS								
	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s abs	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s abs	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %
NF-2_Zrn_01	100.4	70.30	0.70	0.063	0.0230	0.0420	0.0140	0.0046	0.0003	0.0016	0.0003	-0.205	29.5	1.7	41.0	13.0	300.0	530.0	29.5	1.7	28.05
NF-2_Zrn_02	201	136.90	0.68	0.067	0.0120	0.0435	0.0072	0.0043	0.0002	0.0020	0.0002	0.257	27.6	1.3	43.0	7.0	910.0	290.0	27.6	1.3	35.81
NF-2_Zrn_03	232.1	180.20	0.78	0.076	0.0120	0.0437	0.0071	0.0043	0.0002	0.0018	0.0002	-0.047	27.5	1.1	43.1	6.9	840.0	350.0	27.5	1.1	36.19
NF-2_Zrn_04	284	181.00	0.64	0.061	0.0083	0.0359	0.0055	0.0044	0.0002	0.0017	0.0002	0.173	28.0	1.2	35.7	5.3	560.0	270.0	28.0	1.2	21.57
NF-2_Zrn_05	541	392.00	0.72	0.081	0.0088	0.0458	0.0055	0.0044	0.0002	0.0018	0.0002	0.103	28.2	1.0	46.4	5.3	1140.0	220.0	28.2	1.0	39.22
NF-2_Zrn_06	99.3	60.30	0.61	0.180	0.0330	0.1360	0.0240	0.0053	0.0003	0.0041	0.0008	0.193	33.8	1.8	128.0	21.0	2640.0	280.0	33.8	1.8	73.59
NF-2_Zrn_07	172.6	142.90	0.83	0.113	0.0170	0.0680	0.0100	0.0043	0.0002	0.0022	0.0003	0.384	27.4	1.5	69.0	9.5	1530.0	290.0	27.4	1.5	60.29
NF-2_Zrn_08	264	214.00	0.81	0.078	0.0110	0.0488	0.0072	0.0043	0.0002	0.0017	0.0002	0.100	27.5	1.0	48.1	6.9	1050.0	310.0	27.5	1.0	42.83
NF-2_Zrn_09	200	134.60	0.67	0.097	0.0190	0.0560	0.0110	0.0043	0.0002	0.0018	0.0003	-0.131	27.7	1.5	54.0	9.8	1210.0	370.0	27.7	1.5	48.70
NF-2_Zrn_10	227	147.10	0.65	0.142	0.0470	0.0960	0.0830	0.0050	0.0008	0.0031	0.0027	0.453	32.1	4.9	92.0	57.0	2240.0	260.0	32.1	4.9	65.11
NF-2_Zrn_11	308	218.00	0.71	0.062	0.0098	0.0365	0.0058	0.0043	0.0002	0.0017	0.0002	0.161	27.8	1.0	36.3	5.4	650.0	280.0	27.8	1.0	23.42
NF-2_Zrn_12	200.1	128.00	0.64	0.088	0.0130	0.0515	0.0081	0.0044	0.0002	0.0019	0.0003	-0.031	28.1	1.2	50.6	7.8	1330.0	280.0	28.1	1.2	44.47
NF-2_Zrn_13	265	184.00	0.69	0.094	0.0150	0.0593	0.0085	0.0045	0.0002	0.0021	0.0003	-0.256	29.0	1.2	58.3	8.1	1480.0	250.0	29.0	1.2	50.26
NF-2_Zrn_14	113.2	77.10	0.68	0.117	0.0230	0.0640	0.0110	0.0044	0.0003	0.0025	0.0005	-0.007	28.5	1.9	67.0	10.0	1660.0	380.0	28.5	1.9	57.46
NF-2_Zrn_15	344	175.00	0.51	0.080	0.0170	0.0504	0.0110	0.0045	0.0002	0.0021	0.0004	0.069	28.7	1.0	49.6	10.0	1080.0	360.0	28.7	1.0	42.14
NF-2_Zrn_16	449	329.00	0.73	0.053	0.0055	0.0288	0.0033	0.0042	0.0001	0.0014	0.0002	0.054	26.9	0.8	28.7	3.2	400.0	220.0	26.9	0.8	6.27
NF-2_Zrn_17	109.3	75.20	0.69	0.237	0.0400	0.1960	0.0470	0.0057	0.0004	0.0050	0.0012	0.335	36.6	2.8	179.0	36.0	2980.0	230.0	36.6	2.8	79.55
NF-2_Zrn_18	102.1	71.50	0.70	0.124	0.0270	0.0900	0.0150	0.0047	0.0003	0.0033	0.0006	-0.160	29.9	1.9	87.0	14.0	1890.0	380.0	29.9	1.9	65.63
NF-2_Zrn_19	382	97.40	0.25	0.089	0.0170	0.0542	0.0110	0.0042	0.0002	0.0034	0.0004	0.047	26.9	1.2	53.3	10.0	1290.0	300.0	26.9	1.2	49.53
NF-2_Zrn_20	88.1	56.10	0.64	0.094	0.0290	0.0590	0.0180	0.0047	0.0003	0.0022	0.0004	-0.097	30.3	2.1	57.0	17.0	700.0	700.0	30.3	2.1	46.84
NF-2_Zrn_21	181	149.00	0.82	0.124	0.0180	0.0790	0.0120	0.0046	0.0002	0.0022	0.0003	0.008	29.4	1.5	76.0	11.0	1990.0	280.0	29.4	1.5	61.32
NF-2_Zrn_22	358	261.00	0.73	0.092	0.0099	0.0591	0.0058	0.0049	0.0002	0.0023	0.0002	0.145	31.7	1.2	58.2	5.6	1470.0	210.0	31.7	1.2	45.53
NF-2_Zrn_23	577	425.00	0.74	0.070	0.0081	0.0416	0.0052	0.0043	0.0001	0.0017	0.0002	0.157	27.8	0.7	41.3	5.0	870.0	240.0	27.8	0.7	32.78
NF-2_Zrn_24	257	197.00	0.77	0.112	0.0170	0.0720	0.0110	0.0046	0.0002	0.0026	0.0003	0.312	29.4	1.4	70.0	10.0	1860.0	250.0	29.4	1.4	58.00

NF-2_Zrn_25	392	208.00	0.53	0.072	0.0090	0.0461	0.0060	0.0044	0.0002	0.0021	0.0002	0.073	28.8	1.0	45.6	5.8	920.0	260.0	28.8	1.0	36.84
NF-2_Zrn_26	183.1	130.20	0.71	0.107	0.0220	0.0650	0.0150	0.0046	0.0002	0.0028	0.0004	-0.062	29.2	1.5	66.0	14.0	1610.0	290.0	29.2	1.5	55.76
NF-2_Zrn_27	599	320.00	0.53	0.072	0.0083	0.0431	0.0053	0.0043	0.0001	0.0022	0.0002	0.112	27.7	0.8	42.7	4.9	920.0	180.0	27.7	0.8	35.22
NF-2_Zrn_28	139	90.10	0.65	0.111	0.0200	0.0690	0.0150	0.0045	0.0004	0.0027	0.0004	0.044	29.0	2.5	67.0	14.0	1670.0	320.0	29.0	2.5	56.72
NF-2_Zrn_29	168.6	135.30	0.80	0.129	0.0240	0.0810	0.0150	0.0046	0.0002	0.0033	0.0004	-0.222	29.8	1.4	78.0	14.0	1940.0	260.0	29.8	1.4	61.79
NF-2_Zrn_30	303	160.00	0.53	0.096	0.0130	0.0627	0.0086	0.0048	0.0002	0.0025	0.0003	-0.143	30.6	1.3	61.4	7.7	1460.0	280.0	30.6	1.3	50.16
NF-2_Zrn_31	860	515.00	0.60	0.084	0.0095	0.0504	0.0065	0.0046	0.0001	0.0021	0.0002	0.196	29.8	0.9	49.9	6.2	1170.0	220.0	29.8	0.9	40.36
NF-2_Zrn_32	181	142.40	0.79	0.090	0.0170	0.0550	0.0120	0.0043	0.0002	0.0021	0.0003	0.008	27.9	1.5	54.0	11.0	1210.0	390.0	27.9	1.5	48.33
NF-2_Zrn_33	138.6	115.40	0.83	0.132	0.0210	0.0800	0.0140	0.0046	0.0002	0.0025	0.0004	0.053	29.8	1.4	77.0	13.0	2030.0	290.0	29.8	1.4	61.30
NF-2_Zrn_34	111	73.80	0.66	0.093	0.0230	0.0560	0.0150	0.0044	0.0003	0.0022	0.0004	0.160	28.1	1.6	54.0	14.0	1130.0	430.0	28.1	1.6	47.96
NF-2_Zrn_35	173	140.60	0.81	0.100	0.0220	0.0580	0.0120	0.0044	0.0003	0.0023	0.0003	0.043	28.5	1.6	57.0	12.0	1490.0	370.0	28.5	1.6	50.00
NF-2_Zrn_36	19	97.00	5.11	1.500	0.3700	0.3200	0.1300	0.0049	0.0038	0.0018	0.0008	-0.435	31.0	##	270.0	110.0	5800.0	1800.0	31.0	24.0	88.52

**Anexo 3-7. Datos U-Pb en circón con método LA-ICPMS de la muestra QZL-01. Coordenadas en anexo 1-1**

Punto análisis				RELACIONES CORREGIDAS									EDADES CORREGIDAS								
	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>2</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s abs	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s abs	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %
QZL-1_Zrn_01	81.4	49.00	0.60	0.099	0.0190	0.1170	0.0200	0.0087	0.0005	0.0045	0.0007	-0.190	55.8	3.1	114.0	18.0	1240.0	400.0	55.8	3.1	51.05
QZL-1_Zrn_02	1563	1509.00	0.97	0.048	0.0031	0.0578	0.0040	0.0086	0.0001	0.0026	0.0002	-0.044	55.5	0.8	57.0	3.8	130.0	140.0	55.5	0.8	2.63
QZL-1_Zrn_03	105.6	55.20	0.52	0.055	0.0130	0.0800	0.0170	0.0088	0.0004	0.0036	0.0006	-0.022	56.7	2.2	81.0	16.0	300.0	350.0	56.7	2.2	30.00
QZL-1_Zrn_04	66.8	34.31	0.51	0.077	0.0210	0.1110	0.0260	0.0094	0.0007	0.0054	0.0010	0.042	60.4	4.7	104.0	26.0	1140.0	450.0	60.4	4.7	41.92
QZL-1_Zrn_05	54	28.60	0.53	0.109	0.0270	0.1330	0.0300	0.0092	0.0007	0.0049	0.0010	-0.199	59.2	4.2	128.0	26.0	1440.0	480.0	59.2	4.2	53.75
QZL-1_Zrn_06	86.7	69.10	0.80	0.063	0.0140	0.0710	0.0180	0.0087	0.0004	0.0032	0.0005	0.160	55.7	2.5	71.0	16.0	480.0	400.0	55.7	2.5	21.55
QZL-1_Zrn_07	178.2	197.50	1.11	0.049	0.0095	0.0570	0.0110	0.0084	0.0003	0.0030	0.0003	0.061	53.7	2.1	56.0	11.0	120.0	330.0	53.7	2.1	4.11
QZL-1_Zrn_08	116	126.10	1.09	0.072	0.0150	0.0850	0.0200	0.0087	0.0003	0.0035	0.0004	0.094	55.6	2.0	82.0	18.0	660.0	400.0	55.6	2.0	32.20
QZL-1_Zrn_09	363	531.00	1.46	0.051	0.0071	0.0629	0.0081	0.0088	0.0003	0.0029	0.0002	-0.160	56.2	1.6	61.5	7.7	140.0	260.0	56.2	1.6	8.62
QZL-1_Zrn_10	114.6	85.80	0.75	0.072	0.0130	0.0880	0.0140	0.0082	0.0004	0.0030	0.0004	-0.099	52.6	2.3	87.0	14.0	890.0	380.0	52.6	2.3	39.54
QZL-1_Zrn_11	46.7	22.30	0.48	0.111	0.0220	0.1330	0.0260	0.0097	0.0007	0.0068	0.0012	0.090	62.3	4.5	123.0	21.0	1490.0	410.0	62.3	4.5	49.35
QZL-1_Zrn_12	108	72.10	0.67	0.075	0.0130	0.1010	0.0180	0.0092	0.0003	0.0036	0.0005	-0.118	59.2	2.2	96.0	16.0	900.0	350.0	59.2	2.2	38.33
QZL-1_Zrn_13	71.7	41.60	0.58	0.088	0.0230	0.1100	0.0260	0.0092	0.0006	0.0046	0.0009	-0.054	58.7	3.8	103.0	23.0	910.0	470.0	58.7	3.8	43.01
QZL-1_Zrn_14	61	30.90	0.51	0.106	0.0200	0.1300	0.0220	0.0096	0.0006	0.0051	0.0008	-0.173	61.7	3.7	122.0	20.0	1500.0	410.0	61.7	3.7	49.43
QZL-1_Zrn_15	101.4	84.90	0.84	0.075	0.0140	0.0840	0.0160	0.0087	0.0004	0.0037	0.0004	0.034	55.9	2.3	81.0	15.0	730.0	400.0	55.9	2.3	30.99
QZL-1_Zrn_16	104.2	67.60	0.65	0.067	0.0130	0.0760	0.0150	0.0087	0.0004	0.0037	0.0005	0.234	55.6	2.7	74.0	14.0	560.0	350.0	55.6	2.7	24.86
QZL-1_Zrn_17	109.8	78.70	0.72	0.092	0.0130	0.1150	0.0150	0.0092	0.0005	0.0043	0.0006	-0.313	59.1	2.9	109.0	14.0	1300.0	280.0	59.1	2.9	45.78
QZL-1_Zrn_18	102.9	83.64	0.81	0.074	0.0130	0.0860	0.0160	0.0088	0.0003	0.0035	0.0005	-0.131	56.5	2.2	86.0	15.0	840.0	380.0	56.5	2.2	34.30
QZL-1_Zrn_19	173.6	93.10	0.54	0.086	0.0100	0.1060	0.0120	0.0092	0.0004	0.0040	0.0005	-0.250	59.1	2.4	102.0	11.0	1270.0	280.0	59.1	2.4	42.06
QZL-1_Zrn_20	142.7	240.00	1.68	0.077	0.0190	0.0820	0.0230	0.0082	0.0005	0.0027	0.0005	0.049	52.8	3.0	79.0	21.0	700.0	410.0	52.8	3.0	33.16
QZL-1_Zrn_21	98.6	66.10	0.67	0.049	0.0110	0.0600	0.0150	0.0090	0.0004	0.0034	0.0005	0.212	58.0	2.7	61.0	14.0	80.0	350.0	58.0	2.7	4.92
QZL-1_Zrn_22	127.2	60.80	0.48	0.057	0.0110	0.0670	0.0130	0.0086	0.0004	0.0036	0.0006	0.017	55.3	2.2	67.0	12.0	390.0	350.0	55.3	2.2	17.46
QZL-1_Zrn_23	76.5	38.80	0.51	0.082	0.0140	0.0930	0.0180	0.0086	0.0005	0.0037	0.0006	0.213	55.8	3.4	89.0	16.0	980.0	400.0	55.8	3.4	37.30
QZL-1_Zrn_24	143.7	76.70	0.53	0.139	0.0160	0.1760	0.0180	0.0096	0.0004	0.0067	0.0006	0.153	61.4	2.6	163.0	16.0	2020.0	230.0	61.4	2.6	62.33
QZL-1_Zrn_25	104	120.20	1.16	0.053	0.0110	0.0650	0.0140	0.0086	0.0005	0.0035	0.0004	0.205	55.5	2.9	63.0	14.0	190.0	380.0	55.5	2.9	11.90



QZL-1_Zrn_26	123.1	79.20	0.64	0.073	0.0120	0.0880	0.0150	0.0092	0.0003	0.0053	0.0008	0.141	59.0	2.1	85.0	14.0	800.0	330.0	59.0	2.1	30.59
QZL-1_Zrn_27	92.3	78.80	0.85	0.071	0.0150	0.0810	0.0210	0.0088	0.0005	0.0025	0.0006	0.181	56.6	3.1	78.0	19.0	640.0	400.0	56.6	3.1	27.44
QZL-1_Zrn_28	80.6	43.10	0.53	0.093	0.0170	0.1160	0.0230	0.0093	0.0005	0.0049	0.0007	0.379	59.5	3.4	109.0	21.0	970.0	380.0	59.5	3.4	45.41
QZL-1_Zrn_29	208	169.00	0.81	0.083	0.0260	0.1080	0.0340	0.0092	0.0005	0.0039	0.0009	0.019	58.9	3.4	104.0	27.0	1160.0	340.0	58.9	3.4	43.37
QZL-1_Zrn_30	91.6	120.00	1.31	0.060	0.0160	0.0730	0.0190	0.0092	0.0005	0.0032	0.0006	0.161	59.1	3.1	70.0	18.0	360.0	430.0	59.1	3.1	15.57
QZL-1_Zrn_31	148.2	120.40	0.81	0.085	0.0160	0.1070	0.0210	0.0087	0.0005	0.0038	0.0005	0.305	55.5	3.0	102.0	19.0	1300.0	290.0	55.5	3.0	45.59
QZL-1_Zrn_32	150	93.50	0.62	0.080	0.0100	0.1030	0.0130	0.0094	0.0003	0.0043	0.0005	0.084	60.0	2.1	99.0	13.0	1030.0	270.0	60.0	2.1	39.39
QZL-1_Zrn_33	792	557.00	0.70	0.054	0.0042	0.0710	0.0054	0.0095	0.0002	0.0034	0.0003	-0.059	60.8	1.2	69.6	5.1	350.0	170.0	60.8	1.2	12.64
QZL-1_Zrn_34	88.3	44.90	0.51	0.112	0.0170	0.1450	0.0190	0.0094	0.0004	0.0053	0.0008	-0.103	60.5	2.7	136.0	16.0	1820.0	280.0	60.5	2.7	55.51
QZL-1_Zrn_35	55.8	28.10	0.50	0.069	0.0220	0.0910	0.0280	0.0094	0.0006	0.0046	0.0010	0.005	60.0	3.6	86.0	25.0	320.0	500.0	60.0	3.6	30.23
QZL-1_Zrn_36	236	219.40	0.93	0.055	0.0070	0.0628	0.0086	0.0086	0.0003	0.0030	0.0003	0.027	55.4	1.7	61.5	8.1	360.0	270.0	55.4	1.7	9.92
QZL-1_Zrn_37	14.41	90.50	6.28	0.510	0.0720	1.2700	0.1800	0.0190	0.0015	0.0064	0.0006	-0.037	121	9.7	844	80	4320	230	121.0	9.7	85.66

Anexo 4-1. Datos de elementos traza en circón de la muestra Zp-05 de (La Encarnación).																						
Punto análisis	Elementos traza (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
Zircon-01	420	63.8	3.3	648	2.01		23.3	0.033	0.9	1.93	1.08	12.7	4.17	51.6	20.2	98	220.3	47.9	8840	1.71	204	167
Zircon-02		65	2.7	679	1.75	0.01	20.5	0.062	0.7	1.35	1.03	10.8	4.08	46.3	20.6	101	251	59.5	8930	1.72	158.1	152
Zircon-03		68.1	4.6	661	1.11		15.8	0.039	0.9	2.31	1.15	11.7	3.93	51.1	20.1	99	253	60.3	8840	1.1	103	112
Zircon-04	160	64.9	4.2	592	1.8		16.2	0.018	0.6	1.62	0.86	9.47	3.54	44.7	18.7	91	215	49.1	9240	0.99	76.8	99.6
Zircon-05	0	66.2	5.1	781	2.68	0.01	27.7	0.042	0.9	2.34	1.48	15	5.45	66.1	24.4	116	256	56.1	9210	1.71	221	168
Zircon-06	150	72.9	4.7	871	2.52		22.4	0.013	1	2.16	1.33	14.2	5.38	69.1	28.5	138	303	65.3	8750	1.01	66.5	99.5
Zircon-07		81.1	5.8	680	2.02	0.07	17.9	0.054	0.9	1.26	0.85	10.1	3.71	48.7	20.7	103	256	59.3	8660	1.19	83	96.6
Zircon-08	60	54.6	3.9	138.7	0.345		4.56		0	0.14	0.26	1.78	0.66	8.59	3.85	21	67	18.9	9100	1	41.5	91.2
Zircon-09	11200	61.3	10.6	855	1.45	106	123	9.9	39	9.4	3.26	23.1	6.07	72.6	27.7	123	283	61.4	7180	1.2	134	119
Zircon-10	200	59.6	5.1	597	1.64		21.7	0.04	0.8	2.02	1.13	10.3	3.81	47	19.7	90	203.6	45.6	8620	1.41	184.8	151
Zircon-11	100	57.6	2.9	753	0.87		11.5	0.103	1.3	2.82	1.76	17.1	5.15	61.9	23.8	109	254	59.9	7100	0.86	66.9	84.4
Zircon-12	360	67.7	5.4	679	1.54		18.7	0.052	1.1	1.55	0.97	11.8	4.25	51.4	20.6	103	246	57.8	8310	1.57	160.7	152
Zircon-13		51.7	5.5	453	1.09	0.02	13.6	0.014	0.4	1.16	0.88	8.3	2.94	36.7	13.7	71	164.6	35.1	8220	0.75	45.4	70.2
Zircon-14	680	59.2	4.7	595	1.67		14.6		0.6	1.81	0.84	10.4	3.69	48.4	19.4	94	210.2	48.2	8460	0.92	63.8	84.6
Zircon-15	220	59.1	6	704	1.18		12.6	0.057	1	2.74	1.15	13.1	4.64	56.3	22.8	109	237.9	51.8	8460	0.66	41.6	63.6
Zircon-16	10	75.7	6.1	1014	2.78		20.7	0.043	1.4	3.18	1.48	18.1	6.18	78.9	31.8	156	353	78	8410	1.25	74.6	112
Zircon-17	180	74.4	4.5	608	1.81		15.6	0.025	0.5	1.12	0.64	7.91	3.31	39.6	18.7	93	245	59.3	8760	1.23	70.1	103
Zircon-18	100	100.7	6.7	894	2.52	0.03	32.2	0.048	1	1.85	1.22	14.4	4.99	61.2	26	130	343	84.3	8760	2.77	405	273
Zircon-19	80	55	6.3	801	1.23	0.08	16.7	0.072	1.3	2.47	1.8	15.4	5.18	64.1	25.3	119	273.5	62.3	7900	1.03	99.5	104
Zircon-20	280	66.4	7	820	1.7	0.17	23.5	0.12	1.9	2.92	1.94	17	5.98	68.7	25.4	122	274	59.8	9300	3.28	158.4	271
Zircon-21	90	72.2	3	818	2.4	0.01	21.9	0.018	1.2	2.8	1.55	14.5	5.12	61.5	25.9	125	294	65.4	8930	1.27	94.4	121
Zircon-22	1580	71.1	4.7	627	1.28	11.3	39	2.6	11	4.12	1.51	12	3.76	47	19.7	97	235	55.4	8830	1.22	87	112
Zircon-23	0	75.9	3.6	608	1.76	0.01	20.4	0.038	0.4	1.31	0.94	9.35	3.63	42.4	17.9	94	232.1	57.3	9160	1.46	155.4	138
Zircon-24	380	78.2	4.5	1300	3.62		34.4	0.059	1.8	5	2.3	27.7	9.45	117	43.5	199	404	89.1	8590	1.9	205	168
Zircon-25	410	94.5	2.5	1860	2.71		56.8	0.44	5.3	9	4.45	33.7	12	129	54.1	269	670	157	7620	4.1	434	357

Zircon-26	140	90.1	5.7	1455	5.12		46.7	0.054	1.3	3.88	2.36	25.1	9.6	120	47.8	225	481	99.4	8670	2.13	179.4	195
Zircon-27	80	57	3.8	694	1.39		13.4	0.029	1.1	1.76	1.36	12.5	4.26	54.2	21.9	107	240	55	8060	0.94	56.1	72.2
Zircon-28		51.1	2.7	465	1.45		17.9	0.069	0.5	1.41	0.56	8.11	3.35	38.4	14.2	72	164.4	36.6	8390	1.38	108.5	123
Zircon-29	170	76.2	22	587	1.57	0.08	16.5	0.051	1.2	1.43	1.02	11.8	3.86	46.5	18.9	90	222	52.2	8310	1.36	88.5	118
Zircon-30	550	55.2	4.6	722	2.33		25.8	0.067	0.7	2.19	1.27	13.6	4.76	57.7	23	112	254	56.3	8280	1.5	163	150
Zircon-31	160	196	16.6	2360	9.2	0.08	94	0.6	9.8	15.2	6.17	65.2	20.1	209	78.9	348	699	149	6930	6.13	1770	644
Zircon-32	160	92.3	13.8	1930	2.46	0.01	30.6	0.201	6.2	12.6	6.4	55.6	17.1	188	66.7	284	545	113	7200	1.53	177	141
Zircon-33		86.3	10.1	1031	1.79	0.09	15.4	0.139	1.9	3.49	2.38	22.5	7.62	87	33.6	155	342	72.8	8110	1.07	81.5	103
Zircon-34	240	54.8	5.3	536	1.49	0.79	17.6	0.147	1.2	1.42	1.04	9.55	3.6	44.1	16.6	82	182.8	40.2	9100	1.08	106.1	116
Zircon-35	140	53	6.2	561	1.77		22.1	0.051	0.9	2.03	0.91	10.6	3.68	44.7	17.9	86	195.3	43.6	8570	1.26	157	116
Zircon-36	150	58.5	5.5	572	1.5		17.3	0.027	0.4	1.71	0.91	11.5	3.92	46.8	18.4	87	198	45.3	8300	1.08	88.8	97
Zircon-37	180	52.8	3	564	1.82		20.1	0.028	0.9	1.83	0.88	11	3.69	44.6	18.1	85	190.5	41.4	8720	1.19	133.4	130
Zircon-38	190	70.9	1.9	1084	1.72		34	0.16	2.1	3.24	2.19	14.9	5.62	68	30	160	439	108	7550	2.35	385	276
Zircon-39	2590	64.9	3.2	1088	1.63	8.8	50	3.1	15	11	4.26	34.1	9.73	102	36.7	162	328	70.8	8430	1.38	133.3	127
Zircon-40	120	55.5	5.2	511	1.33		14.6		0.5	1.6	0.83	10.3	3.52	43.2	16.5	80	169.2	36.6	9460	0.77	54.3	69.7
Zircon-41	150	67.3	6.5	1293	1.29	0.22	17.3	0.225	3.3	6.32	3.15	33.2	9.81	114	44	195	401	82.9	8540	1.21	114.3	116.8

Anexo 4-2. Datos de elementos traza en circón de la muestra Zp-06 de (La Encarnación).																						
Punto análisis	Elementos traza (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
Zircon-01	63.5	2.8	826	1.18		17	0.114	1.7	3.91	1.75	18.6	5.36	67.1	26	123	275	64.2	9650	1.4	119	142	
Zircon-02	76.9	3.5	709	2.57		16.1	0.017	0.8	1.43	0.98	13.3	4.11	52.1	21.9	104	245	57.9	9780	1.16	83.3	116	
Zircon-03	75.4	3.3	689	3.26		22.2		0.8	2.09	0.98	11.4	4.18	53.4	21.4	108	263	60.4	9420	2.24	158.4	187	
Zircon-04	410	56.9	2.9	347	1.45	13	0.004	0.2	1.07	0.37	6.15	2.24	27.4	10.9	53	126.8	31.3	10180	1.1	73.5	107	
Zircon-05	56.7	4.5	285	0.95		9.51		0.3	0.82	0.54	4.77	1.56	21.9	8.95	45	109.5	25.5	9830	0.72	38.99	65	
Zircon-06	1200	76.4	3.1	622	2.05	17.9	0.051	0.6	2.11	1.01	10.6	4.02	52	20	98	233	54.1	9740	1.46	127	138	
Zircon-07	69.6	7.4	492	1.9		9.26		0.7	1.42	0.91	7.91	2.77	35.9	14.9	76	198	48.4	8200	0.77	35.91	69	
Zircon-08	2960	78.2	3.8	464	1.49	7.4	24	1.75	6.9	2.05	1	8.36	2.72	34.5	14.3	73	186.1	44.6	8740	1	42.81	71
Zircon-09	190	74.4	2.5	598	2.09	14.7	0.017	0.6	1.08	0.95	9.5	3.48	45.2	18.7	93	229	54.4	9590	1.23	73.9	113	
Zircon-10	40	75.1	7.4	480	1.52	12.7	0.006	0.4	1.1	0.65	8.9	3	35.1	14.8	78	185	43.5	8960	1.16	60.8	91	
Zircon-11	170	68.9	3.3	704	1.73	0.1	15.9	0.063	1	2.47	1.46	13.5	4.48	58.5	22.2	108	262	59.6	9610	1.49	100.8	125
Zircon-12	63.5	3.6	453	1.83		15.1	0.01	0.7	1.68	0.73	8	2.95	35.9	14.5	68	159.2	36.6	9650	1.57	98.8	122	
Zircon-13	73.6	6.9	513	1.85		15		0.7	1.46	0.78	9.1	3.22	39.6	16.4	80	190.9	43.9	8860	2.39	102.4	109	
Zircon-14	10	83.9	2.9	673	2.05	14.4	0.015	0.6	1.59	1.02	11.5	4.12	49.4	20.7	103	254	60.4	9070	1.55	60.9	93	
Zircon-15	82.2	8.2	771	2.02		15.1	0.048	1.2	2.4	1.48	13.6	4.81	58.3	23.7	116	279	66.9	8580	1.35	82.2	112	
Zircon-16	80	65	2.2	487	1.74	12.8	0.01	0.6	1.12	0.66	8.85	3.22	38.2	15.4	76	186	43.4	10090	1.07	59.7	81	
Zircon-17	77.3	6.1	524	1.51		12.4	0.014	0.5	1.14	0.98	7	3.4	37.2	16	80	198	48.3	9180	0.92	53	79	
Zircon-18	0	67.6	2.8	383	1.88	0	11.3		0.1	0.79	0.41	5.2	2.21	30.2	12.2	64	168	38.9	10090	6.38	41.27	129
Zircon-19	600	117.1	2.7	1105	6.13	23.9	0.03	0.7	2.99	1.36	19.1	7.27	89.6	35.9	170	361	79.5	9310	2.28	124.5	196	
Zircon-20	280	87.3	4.1	725	2.79	19.5	0.016	0.7	2.03	0.9	11.7	4.29	53.9	22	110	273	64.4	9030	1.38	89.4	114	
Zircon-21	10	80.8	3.9	642	1.88	14	0.008	0.6	1.27	0.89	10.1	3.74	47.7	19.4	97	235	57.5	9590	1.1	58.6	92	
Zircon-22	360	75.1	2.4	625	2.27	16	0.004	0.6	2.07	0.97	11.4	3.63	47.8	19.9	95	231	54.2	9180	1.66	88.7	109	
Zircon-23	54.4	2.4	319	1.35		11.1		0.3	0.57	0.44	5.08	1.72	23.5	9.9	49	119.3	29.4	9700	7.25	70	84	
Zircon-24	1130	163	10.1	2690	2.71	0	7.53	0.054	1.2	3.49	0.82	24.3	12.2	191	93.1	467	956	200	9330	2.98	105	224
Zircon-25	100	93.8	5	768	3.08	20.5		0.7	2.06	0.94	11.9	4.55	56.4	24.3	123	293	69.5	9660	2.45	90.6	132	
Zircon-26	73.2	1.3	638	2.4		20.4	0.016	0.8	1.68	1.04	11.9	4.23	47.5	21	98	236	54.2	8650	2.85	154.6	168	

Zircon-27		64.3	3.6	552	1.65	0	13	0.064	0.9	1.54	0.88	9.3	3.3	40.8	16.7	85	210	49.9	8740	1.22	68.9	97
Zircon-28	90	66.4	4.8	801	2.95		23.3	0.06	1.7	3.72	1.72	16.9	5.64	64.5	26.6	122	272	63.9	8750	1.4	181	126
Zircon-29		75.7	3.5	521	2.05	0	14.5	0.023	0.5	1.25	0.87	8.72	3.23	40.2	16.6	80	189	44.7	8920	1.26	88.9	112
Zircon-30		68	4.5	663	2.26		16.7	0.028	0.9	1.95	1.19	11.5	4.11	52.4	20.5	100	239	55	8670	1.46	103.1	133
Zircon-31	290	90.2	5.8	1347	4.4		35.8	0.035	0.9	4.06	2.41	27.4	9.15	113	43.7	196	437	98	9630	2.32	232	192
Zircon-32	190	80.4	6.3	959	4.19	0	30.3	0.06	1.1	2.6	1.53	16.8	5.86	76.5	31.3	145	347	79.1	9070	2.09	173.1	203
Zircon-33	190	76.2	6	483	1.97		14.9	0.021	0.5	1.78	0.99	9.38	3.15	38.5	15.7	74	173.9	39.5	8630	1.55	122.8	129
Zircon-34	220	97.8	6.2	823	2.52		16.8	0.008	1	2.7	1.25	12.8	5.09	65.9	26.1	129	313	71.3	8520	1.49	73.4	122
Zircon-35	240	72	3.1	696	2.35		16.3	0.023	0.6	2.23	1.03	12.1	4.23	53.7	21.7	103	251	58.4	9020	1.04	80	102
Zircon-36	150	65.2	7.6	766	4.38	0.1	35.2	0.22	2.9	4	1.88	17.6	5.9	69	25.3	109	245	55.8	7850	2.5	530	222
Zircon-37	350	65.3	5.1	481	1.53		14.2	0.015	0.7	1.46	0.72	8.9	3.1	38.1	15.3	74	180	40.8	9380	1.7	92.3	99
Zircon-38	460	82.3	3.7	645	2.28		14.2	0.032	0.5	1.3	0.89	9.5	3.55	46.5	19.9	99	250	59.6	9310	1.19	64.8	100
Zircon-39		74.6	4.4	540	1.93		12.1	0.012	0.6	1.99	1.11	10.5	4.09	44.1	16.3	81	192.6	46.3	9720	1.11	54.6	97
Zircon-40	70	69.8	3.5	570	2.08		14	0.007	0.7	1.29	0.96	11	3.65	43.4	17.4	82	204	46.7	9540	1.11	66.2	90
Zircon-41	1310	80.6	2.6	911	3.17	12	51.1	2.5	15	4.9	1.75	18.1	6.52	77.2	28.8	135	309	70.3	9450	1.49	174	148

Anexo 4-3. Datos de elementos traza en circón de la muestra Zp-07 de (La Encarnación).																						
Punto análisis	Elementos traza (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
Zp-07_Zrn_01		73	8.5	484	1.01		9.53	0.026	0.7	1.28	0.81	8.38	2.91	36.4	15.7	77	174	40.2	8520	0.5	33	51
Zp-07_Zrn_02	140	76.4	5.6	609	1.85		18.7	0.043	0.5	1.57	0.96	11	3.9	47.8	19.8	94	211.4	47.4	10020	1.08	84.28	113
Zp-07_Zrn_03	40	98.3	9.3	769	2.36		17.5	0.035	0.7	1.98	1.06	11.2	4.43	57.2	22.9	121	300	68.9	9680	1.24	91.6	134
Zp-07_Zrn_04		102.5	8.5	1489	3.09		22.6	0.169	2.4	4.93	2.66	28.6	9.74	121	47.3	227	468	98.2	8500	1.59	139.9	148
Zp-07_Zrn_05		68.8	11.8	519	0.92		11.6	0.008	0.6	1.76	0.83	10.5	3.4	42.5	16.3	81	170	37	8340	0.8	66.9	80
Zp-07_Zrn_06	220	78.6	11.1	465	1.05		7.38	0.015	0.7	1.1	0.85	9.28	2.91	37.3	14.8	73	177	39.1	8600	0.49	28.6	49
Zp-07_Zrn_07		70.4	5.7	448	1.33		10.6	0.015	0.3	1.27	0.53	7.9	2.69	35.2	13.9	71	166.6	38.2	9570	0.77	47.85	71
Zp-07_Zrn_08		88.5	7.1	658	2.59		17.8	0.004	0.6	1.55	0.87	10.5	4.04	50.7	20.4	103	250	57.5	9570	1.24	103.9	144
Zp-07_Zrn_09	160	63.8	5.4	342	1.11		10.7	0.003	0.3	0.69	0.54	5.03	1.94	24.2	10.9	55	134.8	31.9	9940	0.76	52.81	89
Zp-07_Zrn_10	120	84.9	474	723	3.56	1.8	21	1	4.3	1.94	1.12	12.4	4.21	55.8	23	115	253	55.3	8760	0.85	66.4	86
Zp-07_Zrn_11	250	74.8	4.2	790	1.28	0	13.2	0.061	0.9	3.1	1.79	19.6	6.08	68.9	27.2	120	251	53	9000	0.74	72.9	80
Zp-07_Zrn_12	80	83.5	5.2	589	2.09		14.4	0	0.4	1.33	0.87	10.4	3.84	45.8	18.7	94	214.6	49	9770	0.89	60.71	94
Zp-07_Zrn_13		85.8	4.2	678	2.17		16.7	0.038	0.6	1.25	1.26	11.4	3.85	51.7	21.6	108	249	57.4	9320	1.21	82.5	114
Zp-07_Zrn_14	200	87.8	8.1	1880	1.91		23.2	0.25	4.8	10	4.67	49.6	16.2	182	65.1	278	533	109	8600	1.37	163.8	145
Zp-07_Zrn_15		67.3	7.4	441	1.27		11.1	0.023	0.3	1.26	0.7	8.3	2.89	35.8	13.7	68	144	31.4	8640	0.63	47.5	59
Zp-07_Zrn_16	6900	69.5	27	1240	1.47	95	207	26	120	30	7.7	53	11.9	123	40.1	183	335	72.6	7990	0.92	102.2	94
Zp-07_Zrn_17	20	80.2	7.4	1386	1.4	0	13.8	0.213	3.7	6.08	3.17	35.6	11.24	131	46.2	209	404	84.3	8680	1.04	103.5	106
Zp-07_Zrn_18	200	86.8	13.2	734	1.6		13.3	0.054	0.9	1.92	1.15	11.7	4.3	54.3	23.5	115	265	58.1	7920	0.92	50.3	84
Zp-07_Zrn_19		71.8	7.6	916	0.97		11.4	0.131	2.6	4.84	2.42	21.7	7.42	80.7	30.5	141	293	63.4	8550	0.86	75	84
Zp-07_Zrn_20	150	91	10.8	776	1.84		14.4	0.046	0.8	2.16	1.32	13.1	4.54	60	24.9	126	274	60.4	7730	1.11	56	88
Zp-07_Zrn_21	80	62.4	7.9	1008	0.68		10.2	0.195	2.5	5.36	2.83	27.5	7.88	93	33.6	150	303	61.9	8300	0.8	76.6	77
Zp-07_Zrn_22	240	69.8	8	618	1.37		11.8	0.024	0.9	1.48	0.97	10.5	3.83	46.3	19.1	98	215	47.6	8480	0.79	69	89
Zp-07_Zrn_23	70	89.7	10.5	757	1.97		12.1	0.014	0.7	2.06	0.94	11.7	4.44	56.2	24	120	282	63.5	8530	0.83	56.6	88
Zp-07_Zrn_24	60	68.2	5.5	476	1.26		12.5	0.033	0.6	1.23	0.87	9.32	3.07	39.6	16	73	156.8	33.9	9030	0.83	79.2	101
Zp-07_Zrn_25	310	91.8	6.6	1780	2.57		30.6	0.176	3.2	7.15	3.58	39.1	13.39	160	58.2	269	539	111	10210	1.82	211	190

Zp-07_Zrn_26	170	77.9	7	886	1.23		14.9	0.075	1.6	2.69	2.12	21.5	6.68	74.4	30	132	284	62.1	9240	0.99	89.3	99
Zp-07_Zrn_27	1590	97.3	6.6	964	2.75	10	46.3	2.28	9.6	4.52	1.97	18.2	6.22	76.8	31.2	152	328	73	9420	1.31	124.3	127
Zp-07_Zrn_28		77.9	11.8	1097	1.44		12.6	0.136	3.2	5.33	2.48	26.4	8.46	96.2	36.6	164	331	70.3	8540	0.89	85.5	93
Zp-07_Zrn_29		77	6.2	640	1.56		13.1	0.02	0.8	2.17	1.14	11	4.22	49.3	20.4	99	218	47.1	8820	0.84	62.9	91
Zp-07_Zrn_30	100	79	10.2	629	1.49	0	12.7	0.061	0.9	2.1	1.15	11	3.94	51.1	20.2	98	209	45.4	7920	0.92	55.6	83
Zp-07_Zrn_31	380	173.5	13.8	2410	8.35		54.6	0.136	2.5	4.89	3.17	40.6	14.47	195	77.6	365	715	149	8110	2.36	258.8	246
Zp-07_Zrn_32	810	75.5	13.6	577	1.38	5.8	25.4	1.55	7.3	3.47	1.19	11	3.68	45.3	18.6	92	214	45.5	8150	0.87	65.5	87
Zp-07_Zrn_33	200	75.6	3.1	571	1.75		14.3	0.004	0.9	1.25	0.76	9.6	3.61	44.2	17.4	90	206.2	44.5	10130	0.76	59	83
Zp-07_Zrn_34	140	69.5	9.1	1039	0.99	0	13.2	0.242	3.7	6.82	3.42	30.1	8.58	95.6	33.9	159	324	69	8170	0.95	105	98
Zp-07_Zrn_35		72.7	7	489	1.03	0	12.1	0.033	0.9	2.01	0.79	9.94	3.41	40.4	15.8	76	165.1	36	8190	0.67	55.3	72
Zp-07_Zrn_36	60	77.4	3.8	533	1.74		14	0	0.6	1.25	0.91	10.4	3.51	43.4	18	83	185.4	39.3	10170	0.83	56.4	81
Zp-07_Zrn_37	10	76.7	3.5	376	6.97		3.54	0.022	0.3	0.25	0.26	4.2	1.41	23	11.4	64	190	48.9	10640	55	15.2	321

Anexo 4-4. Datos de elementos traza en circón de la muestra Zp-09 de (San Nicolás).																						
Punto análisis	Elementos traza (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
Zircon-01	260	87.3	10.7	857	1.58		14.5	0.072	1.6	2.86	0.49	18.7	5.71	73.6	27.7	122	239.4	50.9	9750	0.9	107.3	116
Zircon-02	940	82.5	20	1060	1.36	8.7	30.1	1.9	11	7.1	1.08	24.9	8.22	91	34.4	150	269	56.9	10440	1.58	147.1	188
Zircon-03	200	87.8	29.8	1203	1.29	0.4	15.8	0.39	4	5.78	1.13	29.6	9.69	111	40.7	166	290	57.2	9310	0.93	148	120
Zircon-04	170	84.8	18.7	1134	1.76	0	17.6	0.133	2.2	5.01	0.7	25.7	8.45	96.4	37.9	159	315	63.1	10070	1.33	213	199
Zircon-05	370	86.4	10.4	1138	2.64	0	30	0.061	1.5	3.53	0.31	22.2	7.83	93.9	36.9	166	324	68	11300	2.56	353	360
Zircon-06	310	89.8	11.9	1095	2.45	5	37.1	1.53	7.8	5.39	0.64	23.5	7.85	96.4	36.6	164	315	67.3	10210	2.25	310	305
Zircon-07	490	67.7	4.7	1244	3.98		31	0.074	1	3.18	0.3	19.2	7.62	95.9	38.7	190	435	93.6	13990	11.7	706	1890
Zircon-08	360	61.2	170	670	2.26	2.9	21.7	0.7	3.2	2.12	0.35	11.9	4.34	52.1	21	104	242	53.2	15770	5.61	187.5	923
Zircon-09	380	85.3	5	1667	4.73		33.5	0.096	2.2	4.06	0.6	27.8	10.2	135	54.6	250	552	115	12430	7.45	670	995
Zircon-10	310	91.8	320	678	1.74	2.4	15.3	0.77	3.7	3.12	0.74	14.7	5.25	59.1	23.1	99	196.9	41.3	8890	0.58	73.4	80
Zircon-11	1530	77.7	12.6	1321	1.13	25	65	4.4	27	12.7	1.6	37.8	11.43	123	44.2	181	324	64.6	10530	1.55	196.1	205
Zircon-12	270	69.5	29.9	708	1.06	0.7	13.2	0.298	2.6	4.33	0.69	15.8	5.2	66.1	24.4	105	199	40.7	7910	1.5	120.2	199
Zircon-13	760	96	8.1	1890	2.55		26.9	0.262	3.8	6.1	1.11	40.5	13.4	159	63	276	504	104	11380	2.9	540	436
Zircon-14	3300	81.7	8.1	1211	1.25	58	144	15.6	70	19.2	1.57	40.9	11.43	115	40.3	168	307	61.1	9510	1.24	198	164
Zircon-15	280	76.7	18.5	935	1.39	0.1	14.2	0.141	2.2	4.03	0.64	22.9	7.39	84.3	31.5	134	250	50.4	9170	0.88	150	131
Zircon-16	640	62.9	10.1	486	1.36	8.3	31.3	1.93	8.9	3.09	0.2	9.53	3.23	37.9	15.8	73	165.4	36.6	11130	4.18	83.2	588
Zircon-17	220	82.2	11.6	1049	1.7	0.1	20.8	0.131	2.7	4.18	0.64	21.5	7.77	92.3	34.4	149	285	57.8	10050	1.65	263	226
Zircon-18	22200	71.1	401	1145	1.88	324	700	83	367	72	4.6	85	14.9	126	39.3	158	274	58.3	11590	3.33	158.5	310
Zircon-19	4800	69.2	13.4	702	1.7	63	130	14.8	68	14.3	1.71	26	6.36	67.1	22.7	96	188	39.5	8550	2.23	109	308
Zircon-20	380	74.2	22	1114	1.51	1.2	16.2	0.37	3.7	5.75	1.19	28.8	9.44	102	36.6	161	279	54.5	7590	1.06	160.5	124
Zircon-21	180	41.5	2	295	2.08	0	12.8				0.09	2.9	1.03	18.9	8.66	50	158	39.5	16480	8.6	99.7	1450
Zircon-22	240	76	10.3	1075	2.88	0.5	29.9	0.156	1.6	3.41	0.37	18.7	7.09	89.4	35	163	335	70.4	12670	3.75	361	503
Zircon-23	1270	84	23.5	1733	1.51	4.1	28.2	1.22	8.1	10.6	2.01	45.5	14.6	165	59.4	239	408	80	9170	1.6	278.8	215
Zircon-24	2600	62.8	54	910	2.72	15	47	5	15	7.3	1.1	24	8.43	85.7	30.8	134	237	47.8	8710	1.53	112.6	139
Zircon-25	50	69.5	9.2	623	1.33	1.2	16.8	0.35	2.6	2.79	0.52	13.9	4.22	50.3	19.7	89	190.7	41.8	10920	2.72	106.7	413



Zircon-26	150	79.2	14.8	731	1.15	0	15.2	0.067	1.5	2.38	0.76	16.1	5.53	64.8	24.1	108	209	43.1	9760	1.12	181	159
Zircon-27	1110	84.9	10	1452	1.09	4.6	27.1	1.5	11	10.1	3.14	48.8	14.1	145	49.3	196	336	66.2	8730	0.83	158.9	118
Zircon-28	200	83.6	11.4	1240	3.38	0.3	29.6	0.217	1.6	4.63	0.31	22.9	8.45	104	39.8	185	384	78.9	11810	4.35	640	663
Zircon-29	3180	85.8	1900	1219	5.3	34	88	9.7	48	14.6	1.63	38.4	10.25	114	41.4	172	311	61.4	9140	1.29	226	169
Zircon-30	880	76.3	10.1	950	2.37	9.4	40	2.17	9	4.22	0.49	18.6	6.27	78.5	30.4	144	301	62	12240	3.48	356.6	604
Zircon-31	320	77	15.9	816	1.52	0	18	0.057	1.3	2.69	0.39	18.2	5.9	70.3	27.6	121	232	47.5	9670	1.34	200.9	193
Zircon-32	1900	64.4	13.3	874	1.44	13	46	5.3	18	8	1.09	25.9	6.92	79.7	28.3	129	249	51.5	10260	2.86	174	345
Zircon-33	7210	43.4	2.1	347	1.82	107	228	23.6	88	14.5	1.25	15.3	3.1	27.7	10.3	53	150	37.9	16050	7.2	103.9	1289
Zircon-34	130	63.2	6.4	454	1.49	0.7	12.2	0.72	3.8	2.78	0.6	8.68	2.61	33.5	13.7	70	156.8	34.5	13020	1.28	185	209
Zircon-35	680	68.7	24.7	1290	1.79	2.1	18.2	0.77	5.4	6.4	1.27	36.2	10.5	121	43.8	181	312	59.3	7850	1.34	253	160
Zircon-36	4100	73.6	9.7	1002	2.83	27	88	7.8	36	8.4	1	22.7	6.82	83.4	31.9	152	304	62.4	11560	3.28	376	460
Zircon-37	180	22.9	79	202	1.87	0.2	5.44	0.104	1	0.84	0.19	3.59	1.26	16.4	6.6	29	56.9	13.5	3640	0.63	39.7	85
Zircon-38	550	82.5	9.7	1219	2.46	0	22	0.099	2.3	5.25	0.75	26.8	8.68	107	39.3	184	350	70.2	10240	2.16	324	314
Zircon-39		77.4	173	1138	1.99	0.4	15.1	0.256	3.1	6.5	1.13	28.8	9.5	105	37.7	164	284	57.1	9040	0.85	156	129
Zircon-40	650	71	2.4	1049	2.47	0.2	22.5	0.117	0.8	3.35	0.34	17.7	6.48	80.8	32.8	168	385	80.3	12950	6.2	332.4	912

Anexo 4-5. Datos de elementos traza en circón de la muestra Zp-12 de (La Encarnación).																						
Punto análisis	Elementos traza (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
Zircon-01		77.1	2	644	0.98		12.9	0.077	1.1	1.97	1.49	12	3.99	42.4	18.7	96	259	66.2	7810	1.21	100	121
Zircon-02	140	61.4	2.8	167.3	0.48		5.91	0.021	0.3	0.42	0.28	2.44	0.834	10.9	4.94	25	79.2	21.6	7810	0.82	44.1	76
Zircon-03	50	56.3	2.7	196.7	0.68		6.41	0.01	0.2	0.48	0.33	2.92	0.978	12	5.32	31	95.9	26.2	8010	0.76	40.2	71
Zircon-04	40	72.2	4.8	507	0.87	0.1	9.9	0.039	1.1	2.24	0.98	8.5	3.17	36.5	14.8	78	207	53.6	8780	1.21	97	125
Zircon-05	100	75.6	13.3	939	2.09	0.1	23.6	0.093	1.6	2.63	1.71	18.1	6.28	70.9	28.8	141	339	80.4	8280	1.57	163.9	178
Zircon-06	110	61.9	3.3	672	2.07	0	23.6	0.035	0.6	1.29	0.97	12.9	3.94	48.9	20.3	101	244	58.3	8990	1.87	191.6	209
Zircon-07	110	75.9	2.2	410	0.63	0	7.53	0.026	0.8	0.83	0.6	7	2.1	25.8	11.5	64	170.2	45.8	8690	0.86	49.3	80
Zircon-08		58.4	5.5	608	1.68		17.6	0.037	0.7	1.54	1.04	11	3.93	45.5	18.5	91	224	52.4	9360	1.57	126	148
Zircon-09	10	53.9	2.4	280	0.7		8.21	0.022	0.2	0.71	0.4	4.52	1.43	18.5	8.12	44	123.8	30.3	9090	0.87	36.95	68
Zircon-10		67.4	10.4	750	2.5	0	33.5	0.075	1.1	2.55	1.58	15.9	4.96	58.4	22.9	109	266	63.7	9020	3.3	501	335
Zircon-11		62.9	5.3	764	3.51		32.3	0.024	1.3	2.34	1.49	14.8	5.21	61.8	24	115	273	64.4	8740	3.24	393	324
Zircon-12	150	54.3	6.4	535	1.69		18.7	0.036	0.7	1.85	0.74	9.4	3.45	40.1	17.1	82	188	42.9	9340	1.4	115.6	134
Zircon-13	190	50.6	3.5	322	0.83		12	0.013	0.4	0.84	0.45	4.85	1.95	24.5	9.54	51	129.6	31.2	9810	1.33	64.4	113
Zircon-14	180	73.6	2.6	367	1.23	0.2	12.2	0.086	0.6	0.86	0.52	5.75	1.78	25.5	10.5	57	165.3	45.6	9870	2.72	284.2	219
Zircon-15	550	67.5	4.9	1016	3.06	4.9	43.8	0.71	4.3	2.05	1.66	18.9	6.71	78.3	31.6	153	350	80.7	8780	2	156.2	165
Zircon-16	50	72.4	5.8	761	2.29	0	21.9	0.056	0.5	1.72	1.11	12.4	4.41	55.1	23.1	119	289	67.1	8950	1.46	85.4	123
Zircon-17	60	67.6	3	544	1.4		18.5	0.029	0.6	1.05	0.59	7.85	2.89	34.9	15.7	82	212.4	54.7	8880	2.4	184.5	203
Zircon-18	20	55.5	2	188	0.62		7.63	0.004	0.3	0.27	0.37	2.78	0.86	11.2	5.08	28	85.3	23.2	9290	0.85	43.6	69
Zircon-19	90	70.7	5.5	677	1.63	0	15.7	0.019	0.9	2.04	1.1	12.6	4.03	50.2	20.9	103	244	59.3	9120	1.26	73.5	108
Zircon-20		52.9	3.1	335	1.04		10.9	0	0.3	1.11	0.46	5.18	1.94	25.4	10.7	52	126	29.8	9030	0.88	45.3	73
Zircon-21	20	53.5	5.7	441	1.46	0.2	19.6	0.062	0.9	1.63	0.94	8.68	3.03	33.2	14.1	64	150.5	35.5	8500	1.46	214	137
Zircon-22	60	55.8	7.5	525	1.15	0	12.4	0.032	0.4	1.02	0.93	9.12	3.09	37.7	15.3	80	199.7	47.4	8120	1.06	58.7	87
Zircon-23	50	68.4	4.6	967	1.43		22.7	0.119	2.7	4.39	2.74	19.5	6.4	73.6	29.5	145	347	85.5	8210	1.94	172	185
Zircon-24	240	71.6	6.3	1039	3.64	0	27.8	0.068	0.5	2.74	1.53	18.5	6.8	79	33.1	156	338	74.2	8230	1.61	108.7	159
Zircon-25		53.7	6.8	450	1.16	0	13.5	0.006	0.6	1.45	0.65	8.4	2.56	34.3	14	69	160	35.7	8960	1.25	55.4	84

Zircon-26	160	56	3.3	357	1.06	0	12.1	0.036	0.5	0.78	0.52	4.95	1.92	24.3	10.5	54	138.3	35	8930	1.12	64	101
Zircon-27		69.1	2.9	366	0.59	0	9.26	0.028	0.5	0.81	0.51	6.03	1.79	23.8	10.5	53	167	46.8	8270	1.08	91.9	108
Zircon-28	30	55.1	2.6	427	1.3		15.9	0.031	0.6	1.28	0.63	7.08	2.44	30.2	12.7	62	156.5	37.9	8880	1.59	166	170
Zircon-29	30	55.7	5.3	324	0.87	0	11	0.003	0.6	0.99	0.55	6.04	1.84	21.2	9.92	49	133.6	32.6	9320	0.97	99.5	122
Zircon-30	30	75.4	4.9	558	1.79	1.4	24.3	0.47	2.9	2.57	1.57	11.1	3.38	40.4	15.8	80	211	51.4	9240	6.43	628	802
Zircon-31	80	64.2	7.3	420	1.12		11.1	0.019	0.5	1.09	0.52	5.63	2.31	26.9	12.7	63	166.5	42	8580	1.01	82.2	117
Zircon-32		67.1	3.5	361	0.94		12.4	0.007	0.4	1	0.52	5.91	1.89	23.6	10.3	54	152.1	39.4	8870	1.1	139.6	123
Zircon-33	200	75.9	5.6	807	1.08		14.2	0.076	2	2.94	1.51	15.8	5.28	60.6	24.4	120	287	67.7	8710	1.37	107.1	130
Zircon-34	90	132.5	16.2	1253	2.72	0.3	44.1	0.55	6.9	5.7	3.42	26.7	8.06	92.3	37.1	182	462	119	8180	3.73	805	432
Zircon-35	260	78.1	3.2	921	4.5		51.6	0.156	2.6	3.97	1.91	20.6	6.48	68.6	28.6	130	300	68.6	8430	3.88	948	470
Zircon-36	170	56.3	2.2	396	0.73		8.95	0.007	0.6	0.95	0.78	7.7	2.32	29.8	12	59	148.8	34.3	9650	0.69	37.4	69
Zircon-37	80	49.9	6.2	466	0.89	0	9.06	0.052	0.7	1.35	0.8	9.5	3.19	37.3	14.8	69	161.6	35.8	8260	0.65	35.2	65
Zircon-38		67.1	3.1	395	1.04		9.77	0.004	0.4	0.53	0.64	5.62	2.09	25.6	11.1	59	168.5	41.6	8890	1.04	66.8	110
Zircon-39		67.2	3.6	719	2.26	0.1	21	0.052	0.4	1.8	1.01	11.8	4.13	53.4	22.3	110	251	58.3	9060	1.39	102.1	136
Zircon-40	190	73.5	9.3	961	2.51		19.9	0.045	1.6	2.76	1.21	14.5	5.18	68	29.6	146	346	78.5	7780	1.37	77.7	133

Anexo 4-6. Datos de elementos traza en circón de la muestra NF-02 de (Nicolás Flores).																						
Punto análisis	Elementos traza (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
Zircon-01		77.1	2	644	0.98		12.9	0.077	1.1	1.97	1.49	12	3.99	42.4	18.7	96	259	66.2	7810	1.21	100	121
Zircon-02	140	61.4	2.8	167.3	0.48		5.91	0.021	0.3	0.42	0.28	2.44	0.834	10.9	4.94	25	79.2	21.6	7810	0.82	44.1	76
Zircon-03	50	56.3	2.7	196.7	0.68		6.41	0.01	0.2	0.48	0.33	2.92	0.978	12	5.32	31	95.9	26.2	8010	0.76	40.2	71
Zircon-04	40	72.2	4.8	507	0.87	0.1	9.9	0.039	1.1	2.24	0.98	8.5	3.17	36.5	14.8	78	207	53.6	8780	1.21	97	125
Zircon-05	100	75.6	13.3	939	2.09	0.1	23.6	0.093	1.6	2.63	1.71	18.1	6.28	70.9	28.8	141	339	80.4	8280	1.57	163.9	178
Zircon-06	110	61.9	3.3	672	2.07	0	23.6	0.035	0.6	1.29	0.97	12.9	3.94	48.9	20.3	101	244	58.3	8990	1.87	191.6	209
Zircon-07	110	75.9	2.2	410	0.63	0	7.53	0.026	0.8	0.83	0.6	7	2.1	25.8	11.5	64	170.2	45.8	8690	0.86	49.3	80
Zircon-08		58.4	5.5	608	1.68		17.6	0.037	0.7	1.54	1.04	11	3.93	45.5	18.5	91	224	52.4	9360	1.57	126	148
Zircon-09	10	53.9	2.4	280	0.7		8.21	0.022	0.2	0.71	0.4	4.52	1.43	18.5	8.12	44	123.8	30.3	9090	0.87	36.95	68
Zircon-10		67.4	10.4	750	2.5	0	33.5	0.075	1.1	2.55	1.58	15.9	4.96	58.4	22.9	109	266	63.7	9020	3.3	501	335
Zircon-11		62.9	5.3	764	3.51		32.3	0.024	1.3	2.34	1.49	14.8	5.21	61.8	24	115	273	64.4	8740	3.24	393	324
Zircon-12	150	54.3	6.4	535	1.69		18.7	0.036	0.7	1.85	0.74	9.4	3.45	40.1	17.1	82	188	42.9	9340	1.4	115.6	134
Zircon-13	190	50.6	3.5	322	0.83		12	0.013	0.4	0.84	0.45	4.85	1.95	24.5	9.54	51	129.6	31.2	9810	1.33	64.4	113
Zircon-14	180	73.6	2.6	367	1.23	0.2	12.2	0.086	0.6	0.86	0.52	5.75	1.78	25.5	10.5	57	165.3	45.6	9870	2.72	284.2	219
Zircon-15	550	67.5	4.9	1016	3.06	4.9	43.8	0.71	4.3	2.05	1.66	18.9	6.71	78.3	31.6	153	350	80.7	8780	2	156.2	165
Zircon-16	50	72.4	5.8	761	2.29	0	21.9	0.056	0.5	1.72	1.11	12.4	4.41	55.1	23.1	119	289	67.1	8950	1.46	85.4	123
Zircon-17	60	67.6	3	544	1.4		18.5	0.029	0.6	1.05	0.59	7.85	2.89	34.9	15.7	82	212.4	54.7	8880	2.4	184.5	203
Zircon-18	20	55.5	2	188	0.62		7.63	0.004	0.3	0.27	0.37	2.78	0.86	11.2	5.08	28	85.3	23.2	9290	0.85	43.6	69
Zircon-19	90	70.7	5.5	677	1.63	0	15.7	0.019	0.9	2.04	1.1	12.6	4.03	50.2	20.9	103	244	59.3	9120	1.26	73.5	108
Zircon-20		52.9	3.1	335	1.04		10.9	0	0.3	1.11	0.46	5.18	1.94	25.4	10.7	52	126	29.8	9030	0.88	45.3	73
Zircon-21	20	53.5	5.7	441	1.46	0.2	19.6	0.062	0.9	1.63	0.94	8.68	3.03	33.2	14.1	64	150.5	35.5	8500	1.46	214	137
Zircon-22	60	55.8	7.5	525	1.15	0	12.4	0.032	0.4	1.02	0.93	9.12	3.09	37.7	15.3	80	199.7	47.4	8120	1.06	58.7	87
Zircon-23	50	68.4	4.6	967	1.43		22.7	0.119	2.7	4.39	2.74	19.5	6.4	73.6	29.5	145	347	85.5	8210	1.94	172	185
Zircon-24	240	71.6	6.3	1039	3.64	0	27.8	0.068	0.5	2.74	1.53	18.5	6.8	79	33.1	156	338	74.2	8230	1.61	108.7	159
Zircon-25		53.7	6.8	450	1.16	0	13.5	0.006	0.6	1.45	0.65	8.4	2.56	34.3	14	69	160	35.7	8960	1.25	55.4	84
Zircon-26	160	56	3.3	357	1.06	0	12.1	0.036	0.5	0.78	0.52	4.95	1.92	24.3	10.5	54	138.3	35	8930	1.12	64	101

Zircon-27		69.1	2.9	366	0.59	0	9.26	0.028	0.5	0.81	0.51	6.03	1.79	23.8	10.5	53	167	46.8	8270	1.08	91.9	108
Zircon-28	30	55.1	2.6	427	1.3		15.9	0.031	0.6	1.28	0.63	7.08	2.44	30.2	12.7	62	156.5	37.9	8880	1.59	166	170
Zircon-29	30	55.7	5.3	324	0.87	0	11	0.003	0.6	0.99	0.55	6.04	1.84	21.2	9.92	49	133.6	32.6	9320	0.97	99.5	122
Zircon-30	30	75.4	4.9	558	1.79	1.4	24.3	0.47	2.9	2.57	1.57	11.1	3.38	40.4	15.8	80	211	51.4	9240	6.43	628	802
Zircon-31	80	64.2	7.3	420	1.12		11.1	0.019	0.5	1.09	0.52	5.63	2.31	26.9	12.7	63	166.5	42	8580	1.01	82.2	117
Zircon-32		67.1	3.5	361	0.94		12.4	0.007	0.4	1	0.52	5.91	1.89	23.6	10.3	54	152.1	39.4	8870	1.1	139.6	123
Zircon-33	200	75.9	5.6	807	1.08		14.2	0.076	2	2.94	1.51	15.8	5.28	60.6	24.4	120	287	67.7	8710	1.37	107.1	130
Zircon-34	90	132.5	16.2	1253	2.72	0.3	44.1	0.55	6.9	5.7	3.42	26.7	8.06	92.3	37.1	182	462	119	8180	3.73	805	432
Zircon-35	260	78.1	3.2	921	4.5		51.6	0.156	2.6	3.97	1.91	20.6	6.48	68.6	28.6	130	300	68.6	8430	3.88	948	470
Zircon-36	170	56.3	2.2	396	0.73		8.95	0.007	0.6	0.95	0.78	7.7	2.32	29.8	12	59	148.8	34.3	9650	0.69	37.4	69
Zircon-37	80	49.9	6.2	466	0.89	0	9.06	0.052	0.7	1.35	0.8	9.5	3.19	37.3	14.8	69	161.6	35.8	8260	0.65	35.2	65
Zircon-38		67.1	3.1	395	1.04		9.77	0.004	0.4	0.53	0.64	5.62	2.09	25.6	11.1	59	168.5	41.6	8890	1.04	66.8	110
Zircon-39		67.2	3.6	719	2.26	0.1	21	0.052	0.4	1.8	1.01	11.8	4.13	53.4	22.3	110	251	58.3	9060	1.39	102.1	136
Zircon-40	190	73.5	9.3	961	2.51		19.9	0.045	1.6	2.76	1.21	14.5	5.18	68	29.6	146	346	78.5	7780	1.37	77.7	133

<b>Anexo 4-7. Datos de elementos traza en circón de la muestra Qzl-01 de (Quetzalapa).</b>																						
<b>Punto análisis</b>	<b>Elementos traza (ppm)</b>																					
	<b>P</b>	<b>Sc</b>	<b>Ti</b>	<b>Y</b>	<b>Nb</b>	<b>La</b>	<b>Ce</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Tb</b>	<b>Dy</b>	<b>Ho</b>	<b>Er</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>	<b>Hf</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
Zrn_01	100	58.6	2.9	175.3	0.313		4.71		0.1	0.31	0.26	2.15	0.681	9.29	4.28	27	91.6	27	8490	0.76	49	81
Zrn_02		122.6	4.4	1219	1.08	0	24.5	0.185	3.2	5.15	2.92	24.9	7.59	85.9	34.3	172	508	144	12910	12.8	1509	1563
Zrn_03		58.8	6.1	253	0.43		5.72		0.2	0.4	0.32	3.28	1.13	14.6	7.07	42	129.9	38.4	9110	1.07	55.2	106
Zrn_04		72.2	5.1	190	0.272	0	3.66		0.2	0.28	0.25	2.52	0.839	9.76	4.7	28	108	32.1	8410	0.6	34.31	67
Zrn_05		66.8	3.8	193.3	0.27		3.68	0.005	0.1	0.55	0.22	2.41	0.845	10.7	5.13	30	103.7	30.7	8740	0.55	28.6	54
Zrn_06	80	61.1	6.4	189.1	0.39		5.75	0.009	0.2	0.26	0.22	2.77	0.94	12.4	5.43	29	88.5	23.6	7750	0.82	69.1	87
Zrn_07	90	65.6	4.9	330	0.43		9.07	0.019	0.3	0.75	0.4	4.2	1.51	19.1	8.65	49	148.8	41.5	7680	1.56	197.5	178
Zrn_08		61	4.5	644	0.59	0	7.38	0.106	1.4	2.12	1.59	13.6	3.7	45.1	18.9	93	247	63.6	7530	1.07	126.1	116
Zrn_09		79.1	5.7	559	0.85		17.4	0.06	0.5	1.11	0.89	9.6	2.7	35.8	15.8	81	243	69.6	7610	3.11	531	363
Zrn_10	120	68.3	3.1	216.1	0.347		5.92	0.003	0.2	0.3	0.22	2.74	0.866	12.1	5.74	34	113.8	34.7	8260	0.99	85.8	115
Zrn_11	10	52.3	2.9	119	0.333		3.52			0.21	0.09	1.65	0.557	7.03	3.17	18	59.3	17.2	8850	0.45	22.3	47
Zrn_12		55.8	5.5	206.3	0.325		6.72	0.002	0.1	0.43	0.34	2.8	1.016	12.9	5.86	32	95.8	26.5	8870	0.96	72.1	108
Zrn_13	180	65.9	6.9	302	0.364		5.62	0.019	0.3	0.51	0.45	3.84	1.23	15.6	7.97	46	150.8	44.4	7230	0.67	41.6	72
Zrn_14	60	62.4	4.2	223	0.345		4.15		0.1	0.56	0.27	2.57	0.876	12.4	5.54	34	113.2	33.5	7770	0.57	30.9	61
Zrn_15		67.5	4.2	360	0.249		5.03	0.067	0.8	1.36	1.08	5.84	1.8	23.2	9.63	50	154.8	42.9	8040	0.89	84.9	101
Zrn_16	40	63.1	5	256	0.363		5.9		0.2	0.44	0.3	2.69	1.15	15.1	7.18	39	128.1	38.5	8150	0.88	67.6	104
Zrn_17	90	62.3	4.6	292	0.235	0.1	5.54	0.039	0.3	0.63	0.48	4.47	1.33	17.5	7.95	44	139.7	41.2	8450	1.01	78.7	110
Zrn_18	0	60.6	2.2	342	0.296		4.87	0.063	0.6	1.27	0.7	5.86	1.76	21.2	8.73	48	152.4	42.7	7850	0.91	83.64	103
Zrn_19	60	70.7	5.3	314	0.46	0	6.87	0.015	0.2	0.56	0.4	3.86	1.27	17.8	8.45	50	163.5	48.9	9520	1.4	93.1	174
Zrn_20	100	56.9	4.6	318	0.45		9.16	0.033	0.2	0.79	0.5	4.73	1.69	19.5	8.73	46	127.5	32.1	7350	1.36	240	143
Zrn_21		67.6	8.2	373	0.41		7.25		0.4	0.84	0.59	3.63	1.317	19.2	9.69	56	179.3	48.4	7450	0.98	66.1	99
Zrn_22		71.8	5.7	314	0.372		5.99	0.02	0.2	0.67	0.35	2.79	1.14	15.4	7.98	49	172.2	52.7	7840	1.09	60.8	127
Zrn_23		69.9	3.4	227.7	0.41		4.48		0.1	0.37	0.29	2.5	0.796	12.2	5.69	35	127.5	39.5	8240	0.74	38.8	77
Zrn_24		67.9	7.1	311	0.43		7.15	0.007	0.2	0.62	0.43	3.62	1.26	17.4	8.19	49	156.9	46.2	9020	1.53	76.7	144
Zrn_25	220	69	8.3	784	0.51	0	12	0.084	2.1	3.31	1.76	15.2	4.78	56	23.1	121	318	77.4	6260	1.01	120.2	104

Zrn_26	56.7	3.5	106	0.47	4.44	0.034	0.1	0.18	0.22	1.92	0.5	7.6	3.17	17	52.8	15.3	9200	1.2	79.2	123		
Zrn_27	58.5	6.8	166.8	0.35	6.07		0.2	0.17	0.28	2.13	0.827	9.74	4.42	25	80.9	23	8480	0.9	78.8	92		
Zrn_28	50	63.9	6.5	269	0.42	5.28	0.009	0.3	0.46	0.34	2.98	1.08	13.8	7.07	42	142.9	41.6	7890	0.86	43.1	81	
Zrn_29		62.8	1.7	337	0.519	8.8	0.06	0.4	0.84	0.65	5.25	1.92	22.7	9.49	51	145.9	40.7	8960	1.75	169	208	
Zrn_30	150	50.5	7.5	216	0.355	7.41	0.032	0.3	0.46	0.44	4.25	1.03	14.9	6.09	32	91	24.2	8190	0.87	120	92	
Zrn_31		65.3	4.4	339	0.46	7.83	0.016	0.2	0.31	0.54	4.24	1.66	20.9	9.35	50	162.1	47.5	8360	1.18	120.4	148	
Zrn_32		62.6	4.5	261	0.52	4.5	15.9	0.478	1	0.49	0.31	3.08	1.09	15.3	7.03	40	127.5	37.4	10400	1.47	93.5	150
Zrn_33	220	104.3	11.7	681	1.34	0.1	18.8	0.037	0.7	1.42	0.9	8.03	2.98	40	18.5	103	338	99.7	11320	8.58	557	792
Zrn_34	50	64.7	7	323	0.476	5.66	0.011	0.2	0.36	0.39	2.9	1.09	16.6	8.25	50	171	49.8	7330	0.85	44.9	88	
Zrn_35		61.1	4.5	172.5	0.23	3.7	0.012	0.2	0.4	0.21	2.24	0.72	9.42	4.5	27	96.3	29.9	8070	0.56	28.1	56	
Zrn_36		69.7	2.5	397	0.581	11	0.003	0.4	0.84	0.43	5.18	1.83	23.5	10.8	59	194	56.3	9040	2.01	219.4	236	
Zrn_37	80	6.2	205600	1203	683	892	2600	392	1893	451	124	384	50.5	266	48.5	119	95.3	11.2	86.1	0.34	90.5	14

<b>Anexo 5-1. Resultados de análisis geoquímicos de elementos mayores y traza</b>											
<b>Muestra</b>	<b>ZP-01</b>	<b>ZP-03</b>	<b>ZP-04</b>	<b>ZP-05</b>	<b>ZP-06</b>	<b>ZP-07</b>	<b>ZP-08</b>	<b>ZP-09</b>	<b>ZP-12</b>	<b>NF-02</b>	<b>NF-03</b>
<b>Cuerpo</b>	LE	LE	LE	LE	LE	LE	SN	SN	LE	NF	NF
<b>Descripción</b>	DA	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
<b>Elementos mayores (% en peso)</b>											
<b>SiO2</b>	71.3	61.8	61.4	64.0	62.0	61.8	58.8	61.5	59.8	62.4	62.0
<b>TiO2</b>	0.2	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8	1.1	0.9	0.8	1.2	1.2
<b>Al2O3</b>	15.3	16.3	16.6	16.7	15.9	16.2	17.2	16.1	17.2	14.9	15.4
<b>Fe2O3t</b>	0.3	5.1	5.6	4.1	5.5	5.4	7.2	6.2	5.4	6.6	6.4
<b>MnO</b>	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>MgO</b>	0.0	1.9	1.8	1.2	2.5	1.9	2.7	2.9	1.7	2.5	2.5
<b>CaO</b>	0.7	5.1	5.6	4.2	5.8	5.1	5.9	5.2	5.7	4.3	4.7
<b>Na2O</b>	3.0	4.2	4.3	4.2	3.3	4.0	3.4	3.3	4.6	3.8	3.9
<b>K2O</b>	8.5	3.7	3.1	3.8	3.2	3.4	2.1	2.7	3.2	3.5	3.2
<b>P2O5</b>	0.0	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>PXC</b>	0.5	0.5	0.2	0.6	0.3	0.7	0.9	0.5	1.0	0.4	0.3
<b>Suma</b>	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	100.0	100.0
<b>Elementos traza (ppm)</b>											
<b>Li</b>	4.6	20.6	22.5	19.1	9.2	18.8	16.6	32.5	27.6	39.2	35.0
<b>Be</b>	1.9	2.3	2.7	2.4	2.6	2.4	2.4	1.7	1.9	3.4	3.3
<b>B</b>	3.1	3.1	7.3	3.3	2.9	4.3	3.3	4.1	19.7	13.1	14.9
<b>P</b>	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>Sc</b>		7.2	4.6	6.1	4.2	12.9	7.9	12.2	12.6	13.3	13.2
<b>Ti</b>	0.2	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	1.1	1.0	1.3	1.2
<b>V</b>	9.2	130.0	132.5	129.6	101.2	147.5	127.9	137.0	145.8	99.4	102.2
<b>Cr</b>	1.7	6.7	4.0	8.1	5.0	20.1	9.6	8.1	22.4	26.9	27.2
<b>Co</b>	0.8	10.2	8.1	8.0	4.6	9.5	9.4	13.8	14.2	13.5	14.4
<b>Ni</b>	0.2	4.1	3.1	4.5	2.6	9.6	5.2	3.5	6.6	12.0	10.0
<b>Cu</b>	18.6	12.1	12.8	10.3	3.4	7.5	17.9	13.2	8.1	21.2	17.5
<b>Zn</b>	27.3	47.0	39.6	44.6	29.5	39.5	39.4	89.6	75.4	101.3	82.7
<b>Ga</b>	13.2	21.2	22.8	22.0	21.8	22.1	21.5	21.2	20.0	20.5	21.2
<b>Rb</b>	218.7	102.5	89.5	92.5	111.9	97.1	95.5	67.9	106.3	135.4	134.8
<b>Sr</b>	643.7	919.7	1170.4	988.9	950.6	916.5	1008.8	438.8	483.4	263.5	291.3
<b>Y</b>	5.0	16.9	23.5	21.6	20.3	23.7	20.2	24.3	25.4	47.3	42.4
<b>Zr</b>	122.9	181.8	195.9	176.1	178.4	163.5	193.8	117.1	248.9	569.3	419.1
<b>Nb</b>	8.6	11.0	14.0	13.2	13.3	14.8	14.1	13.1	15.1	33.7	30.7
<b>Mo</b>	0.7	1.0	1.1	0.8	0.9	1.3	1.2	1.4	1.8	1.4	3.3
<b>Sn</b>	0.7	1.4	1.3	1.5	1.4	1.7	1.4	1.3	1.8	4.7	4.2
<b>Sb</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.9	0.2
<b>Cs</b>	2.0	1.1	0.7	0.9	1.1	1.4	0.6	3.9	4.8	6.4	4.9
<b>Ba</b>	1481.0	1113.6	1118.5	965.9	1091.5	1278.2	2462.2	899.7	839.7	712.9	680.8
<b>La</b>	8.9	25.2	32.1	30.8	31.7	29.9	29.5	28.3	28.8	44.8	48.5
<b>Ce</b>	17.4	48.2	59.8	61.0	52.2	61.7	55.4	53.3	56.8	93.6	99.2
<b>Pr</b>	1.9	6.1	8.1	7.9	7.2	7.9	7.3	7.0	7.3	12.1	12.6
<b>Nd</b>	6.6	23.8	32.0	31.3	28.0	31.7	28.3	26.7	27.5	43.7	45.3
<b>Sm</b>	1.1	4.9	6.5	6.5	5.7	6.8	5.8	5.6	5.8	9.3	9.1
<b>Eu</b>	0.6	1.5	2.0	1.9	1.9	2.0	2.0	1.6	1.5	1.6	1.6
<b>Tb</b>	0.1	0.6	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	1.4	1.3
<b>Gd</b>	1.0	4.2	5.6	5.5	4.9	5.8	4.9	5.2	5.2	8.6	8.3
<b>Dy</b>	0.7	3.1	4.2	4.1	3.6	4.4	3.6	4.4	4.5	8.2	7.5
<b>Ho</b>	0.2	0.6	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9	1.6	1.5
<b>Er</b>	0.4	1.6	2.2	2.0	1.9	2.3	1.9	2.3	2.5	4.6	4.1
<b>Yb</b>	0.5	1.5	2.1	1.9	1.8	2.1	1.8	2.2	2.4	4.5	3.9
<b>Lu</b>	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.7	0.6
<b>Hf</b>	4.1	4.5	4.9	4.4	4.6	4.3	4.9	3.0	6.3	12.7	9.2
<b>Ta</b>	0.4	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	1.0	0.9	1.1	2.0	1.8
<b>W</b>	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.8	0.3	0.3
<b>Tl</b>	0.9	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6	0.7	0.6



<b>Pb</b>	10.2	7.3	4.8	8.4	5.6	7.0	7.9	7.9	12.1	17.7	14.3
<b>Th</b>	7.3	5.7	6.5	6.7	7.1	6.8	6.7	6.1	10.3	12.4	13.8
<b>U</b>	1.5	1.8	2.0	1.7	1.9	1.8	1.9	1.2	2.4	3.2	3.7
<b>Norma CIPW</b>											
<b>qz</b>	20.0	12.1	12.5	15.5	16.9	14.2	15.6	17.8	8.9	16.1	15.5
<b>c</b>											
<b>or</b>	49.9	21.6	18.4	22.7	19.1	20.4	12.3	16.2	18.8	21.0	19.1
<b>ab</b>	25.5	35.9	36.5	35.6	28.2	33.5	28.8	27.8	39.0	32.0	32.9
<b>an</b>	3.2	14.8	16.8	15.4	18.8	16.4	25.4	21.1	16.9	13.3	15.0
<b>ne</b>											
<b>di</b>		4.9	4.9	1.2	3.8	3.7		0.2	5.4	1.5	1.8
<b>hy</b>	0.1	2.5	2.2	2.5	4.4	3.0	6.8	7.2	1.8	5.5	5.3
<b>ol</b>											
<b>il</b>		0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>mt</b>											
<b>ap</b>		0.7	0.7	0.6	0.9	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7
PxC: Pérdida por calcinación; MP: Masa principal; DA: Dique aplítico.											

Muestra	SG-02	SG-05	SG-06	SG-07	SG-08	SG-10	SG-11	SG-13	SG-15	QZL-1	QZL-3
Cuerpo	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	QZ	QZ
Descripción	MP	DA	MP	MP	MP	DG	MP	MP	DA	MP	RD
<b>Elementos mayores (% en peso)</b>											
SiO2	70.0	77.2	72.0	70.6	69.7	66.3	71.6	72.7	76.6	54.4	60.4
TiO2	0.5	0.1	0.3	0.4	0.4	0.7	0.3	0.3	0.1	1.2	0.6
Al2O3	14.8	12.7	14.1	14.9	15.3	15.6	14.5	14.0	12.7	17.8	19.8
Fe2O3t	3.1	0.8	2.5	2.5	3.0	3.9	2.2	2.4	1.0	8.0	3.8
MnO	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1
MgO	1.0	0.2	0.7	0.8	0.9	2.0	0.7	0.6	0.2	2.7	0.7
CaO	2.3	0.3	1.6	2.0	2.3	3.7	1.8	1.4	0.6	7.9	4.2
Na2O	3.8	3.4	3.6	3.7	3.9	3.5	3.6	3.5	3.3	4.2	6.1
K2O	3.7	4.5	4.4	4.3	3.9	3.4	4.3	4.4	4.8	2.8	4.0
P2O5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.4	0.1
PXC	0.6	0.8	0.5	0.5	0.6	0.8	0.8	0.6	0.4	0.5	0.0
Suma	100.0	99.9	99.9	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	99.8	100.0	100.0
<b>Elementos traza (ppm)</b>											
Li	77.6	21.8	105.1	75.1	72.4	55.4	71.6	84.4	118.3	9.0	11.2
Be	4.7	4.6	4.3	4.5	4.9	3.0	5.5	5.5	6.0	3.0	5.2
B	10.7	564.0	5.8	6.9	6.5	5.9	22.9	9.7	19.1	1.4	4.6
P	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.5	0.1
Sc	7.0	0.7	5.4	5.1	5.4	7.3	5.3	3.8	2.7	9.9	2.0
Ti	0.5	0.1	0.3	0.4	0.4	0.7	0.3	0.3	0.1	1.2	0.6
V	38.7	2.1	22.7	32.0	34.7	67.5	24.5	19.4	5.9	217.5	102.9
Cr	9.9	1.8	7.8	8.2	9.3	42.2	9.6	7.3	3.5	5.9	2.5
Co	4.7	0.6	3.3	3.9	4.4	9.0	3.3	2.9	0.8	14.0	5.4
Ni	2.5		2.0	1.9	2.2	16.1	2.4	1.7	0.5	4.6	1.3
Cu	3.7		9.2	1.1	1.2	12.0	0.4	0.3		24.7	45.6
Zn	65.3	15.7	51.0	47.5	51.3	61.3	40.3	40.2	34.5	74.1	60.8
Ga	20.9	17.4	20.3	20.2	21.2	21.5	19.9	20.4	18.1	24.4	27.2
Rb	163.6	214.1	201.1	179.0	158.1	121.3	192.2	189.9	294.3	71.4	102.5
Sr	193.5	26.1	140.0	180.7	203.6	270.3	166.2	124.4	23.7	1885.3	2303.4
Y	27.5	19.2	29.1	21.5	27.5	17.7	24.5	37.7	46.0	31.6	23.3
Zr	160.9	64.7	154.1	168.7	184.7	191.6	141.8	176.5	78.6	219.8	580.8
Nb	13.4	8.0	12.7	12.2	12.7	9.7	12.2	12.5	14.4	20.5	28.6
Mo	1.0	0.3	1.3	0.5	0.7	1.4	1.0	1.0	0.4	0.9	0.6
Sn	6.8	6.8	3.4	5.4	4.1	3.5	3.8	5.6	11.8	1.8	1.3
Sb	0.5	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.3	0.1
Cs	12.1	7.5	11.5	8.8	8.4	5.6	10.5	10.2	20.1	0.7	0.7
Ba	520.1	75.8	687.0	653.0	625.8	807.5	708.0	649.2	69.7	2315.6	3100.6
La	14.9	9.4	29.0	10.1	16.3	34.8	22.5	63.9	7.7	39.3	45.6
Ce	31.2	22.4	58.2	21.7	33.5	67.0	46.4	77.6	19.9	81.6	89.0
Pr	4.1	2.7	7.2	3.0	4.6	8.4	5.8	14.1	2.5	11.8	11.6
Nd	16.6	10.4	25.9	12.5	18.0	31.2	21.1	49.2	10.1	46.2	40.3
Sm	4.5	2.6	5.5	3.4	4.6	5.8	4.7	10.4	3.5	10.0	7.3
Eu	0.9	0.2	0.8	0.9	0.9	1.2	0.8	1.1	0.2	3.0	2.3
Tb	0.7	0.5	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7	1.4	0.9	1.2	0.8
Gd	4.4	2.5	5.1	3.5	4.5	4.6	4.2	9.2	4.5	8.5	5.7
Dy	4.6	3.1	4.9	3.7	4.6	3.3	4.2	7.9	7.1	6.2	4.2
Ho	0.9	0.7	1.0	0.7	0.9	0.6	0.8	1.4	1.5	1.1	0.8
Er	2.5	2.0	2.7	2.0	2.5	1.7	2.3	3.6	4.4	3.0	2.2
Yb	2.4	2.3	2.6	2.1	2.5	1.6	2.4	3.1	4.5	2.6	2.2
Lu	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2	0.4	0.4	0.6	0.4	0.3
Hf	4.2	3.2	4.4	4.5	5.2	4.9	4.2	5.0	3.0	5.3	11.1
Ta	1.5	2.3	1.5	1.3	1.5	0.8	1.8	1.4	2.3	1.2	1.4
W	1.8	1.0	3.1	0.3	0.5	0.6	0.4	0.6	1.0	0.1	0.3
Tl	1.2	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2	1.3	2.0	0.4	0.5
Pb	23.5	25.1	25.0	20.6	19.9	15.2	26.8	23.2	37.6	8.6	20.3

<b>Th</b>	10.5	21.3	14.9	7.5	12.2	14.5	14.1	16.0	22.5	6.1	11.1
<b>U</b>	3.5	3.2	3.6	3.1	4.5	3.0	5.7	4.8	5.8	1.9	3.0
<b>Norma CIPW</b>											
<b>qz</b>	27.9	39.7	30.0	27.3	26.4	22.6	29.6	32.0	37.4	2.6	0.9
<b>c</b>	0.7	1.8	0.8	0.8	0.8		0.9	1.2	0.9		
<b>or</b>	22.1	26.4	26.1	25.7	23.0	19.9	25.6	26.0	28.2	16.8	23.9
<b>ab</b>	31.8	28.3	30.5	31.3	32.7	29.8	30.2	29.6	28.3	35.7	51.7
<b>an</b>	10.4	1.7	7.1	9.0	10.6	16.9	8.3	6.1	2.8	21.1	14.6
<b>ne</b>										9.0	2.9
<b>di</b>										2.5	0.4
<b>hy</b>	2.5	0.5	1.7	2.0	2.2	5.0	1.9	1.5	0.4		
<b>ol</b>											
<b>il</b>	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2
<b>mt</b>											
<b>ap</b>	0.3	0.0	0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.0	1.0	0.3

PxC: Pérdida por calcinación; MP: Masa principal; DA: Dique aplítico; DG: Dique granodiorítico; RD: Muestra rodada

