



**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MINAS, METALURGIA Y GEOLOGÍA**

**ESTRATIGRAFÍA Y ESTRUCTURAS CENOZOICAS DEL FRENTE SUROESTE DE LA  
SIERRA DE GUANAJUATO**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
LICENCIATURA DE INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESETA:**

**MARÍA DE JESÚS PAULINA OLMOS MOYA**

**TUTOR INTERNO**

**DR. RAÚL MIRANDA AVILÉS**

**(UG, Departamento de ingeniería en minas, metalurgia y geología)**

**TUTOR EXTERNO**

**DR. ÁNGEL FRANCISCO NIETO SAMANIEGO**

**(UNAM, CGEO)**

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR**

**DR. RAÚL MIRANDA AVILÉS**

**DR. ÁNGEL FRANCISCO NIETO SAMANIEGO**

**DRA. MARÍA DE JESÚS PUY Y ALQUIZA (UG, Departamento de ingeniería en minas,  
metalurgia y geología)**

**DR. ISIDRO LOZA AGUIRRE (UG, Departamento de ingeniería en minas, metalurgia y  
geología)**

**MTRA. ELIA MÓNICA MORALES ZARATE (UG, Departamento de ingeniería en minas,  
metalurgia y geología)**



**Universidad  
de Guanajuato**



CGU0060737



**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MINAS, METALURGIA Y GEOLOGÍA  
**ESTRATIGRAFÍA Y ESTRUCTURAS CENOZOICAS DEL FRENTE SUROESTE DE LA  
SIERRA DE GUANAJUATO**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**LICENCIATURA DE INGENIERO GEÓLOGO**

PRESETA:  
**MARÍA DE JESÚS PAULINA OLMOS MOYA**

TUTOR INTERNO  
DR. RAÚL MIRANDA AVILÉS  
(UG, Departamento de ingeniería en minas, metalurgia y geología)

TUTOR EXTERNO  
DR. ÁNGEL FRANCISCO NIETO SAMANIEGO  
(UNAM, CGEO)

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR  
DR. RAÚL MIRANDA AVILÉS  
DR. ÁNGEL FRANCISCO NIETO SAMANIEGO  
DRA. MARÍA DE JESÚS PUY Y ALQUIZA (UG, Departamento de ingeniería en minas,  
metalurgia y geología)  
DR. ISIDRO LOZA AGUIRRE (UG, Departamento de ingeniería en minas, metalurgia y  
geología)  
MTRA. ELIA MÓNICA MORALES ZARATE (UG, Departamento de ingeniería en minas,  
metalurgia y geología)

DOMADO  
2016

CGU0060737/2016

6408  
457247

Guanajuato, Gto., mayo de 2016

Asunto: **Aprobación de Trabajo  
de Titulación.**

**DR. LUIS ENRIQUE MENDOZA PUGA  
DIRECTOR DE DIVISION DE INGENIERIAS  
CAMPUS GUANAJUATO  
P R E S E N T E.**

Los que suscriben, revisores del trabajo, que como requisito para obtención de Título Profesional, fue presentado a revisión por:

**C. María de Jesús Paulina Olmos Moya**

Pasantes del Programa Educativo de Ingeniero Geólogo de la División de Ingenierías del Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología de la Universidad de Guanajuato, en la modalidad de **Trabajo de Tesis**, con el Título:

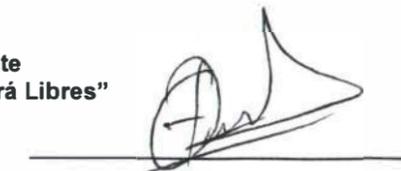
**"Estratigrafía y Estructuras Cenozoicas del Frente Suroeste  
De la Sierra de Guanajuato."**

Una vez leído, analizado y revisado el trabajo, ha sido aprobado para que continúen con los trámites requeridos para solicitar fecha y sustenten examen.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo.

Atentamente  
"La Verdad Os Hará Libres"

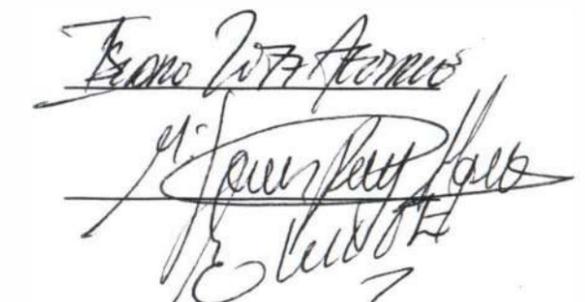
Dr. Raúl Miranda Aviles  
Director del Trabajo de Titulación



Dr. Angel Francisco Nieto Samaniego  
Co-Director del Trabajo de Titulación

---

Dr. Isidro Loza Aguirre  
Sinodal del Trabajo



Dra. María Jesús Puy y Alquiza  
Sinodal del Trabajo

M.I.E. Elia Mónica Morales Zarate  
Sinodal del Trabajo

**DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CAMPUS GUANAJUATO**  
Ex-Hacienda San Matías s/n, 36000, Guanajuato, Gto., Tels. (473) 732 22 91, Fax (473) 732 38 64

A mis profesores que a lo largo de la carrera me apoyaron con sus clases, asesorías o comentarios.

A mis buenos amigos a lo largo de la carrera: Mariana Cou, Tati, Vale, Shof, Yas, Panki, Lena, Tor, Titi, Cecilio, Osvaldo, Rica. Y a mis grandes amigas, que a pesar de no estar juntas en la universidad siempre han estado para mí: Gaby, Andrea e Hireque.

Al Proyecto PAPIIT-UNAM IN104014 (El colapso gravitacional de la montaña Larámide en la mesa central de México) y al CGEO por el Complemento de Beca.

<b>1. Fechamientos isotópicos.....</b>	<b>54</b>
5.1 Fundamentación teórica.....	54
5.2 Resultados.....	56
5.3 Sill de composición granítica (EA04).....	58
5.4 Riolita La Laborcita (EA05).....	59
5.5 Ignimbrita Cuatralba (EA9).....	60
5.6 Ignimbrita Cuatralba (EA11).....	61
5.7 Ignimbrita Cuatralba (EA7).....	62
5.8 Ignimbrita Media Luna (EA152).....	63
5.9 Ignimbrita Cuatralba (EA141).....	64
5.10 Ignimbrita La Media Luna (EA06).....	65
<b>2. Geología estructural.....</b>	<b>66</b>
6.1 Grupo de fallas del Sector Ibarillas.....	66
6.2 Grupo de fallas del Sector Alfaro – El Salto.....	66
6.3 Grupo de fallas del Sector Duarte – San Juan de Otates.....	67
6.4 Falla del Bajío.....	67
<b>3. Discusión.....</b>	<b>69</b>
<b>4. Conclusión.....</b>	<b>72</b>
8.1 Conclusiones particulares.....	72
8.2 Conclusiones generales.....	73
<b>Referencias.....</b>	<b>74</b>

## Anexos

1. Petrográficos.....	77
A.1. Muestra (EAQ 4) Sill.....	78
A.2. Muestra (EA05) Riolita La Laborcita.....	80
A.3. Muestra (EA-9) Ignimbrita Cuatralba.....	82
A.4. Muestra (EAQ11) Ignimbrita Cuatralba.....	84
A.5. Muestra (EAQ7) Ignimbrita Cuatralba.....	86
A.6. Muestra (EAQ6) Ignimbrita La Media Luna.....	88
A.7. Muestra (EAQ2) Granodiorita Presa Duarte.....	90
A. 8. Muestra (EAQ141) Ignimbrita Cuatralba.....	92
A.9. Muestra (EAQ8) Basalto Dos Aguas.....	94
A.10. Muestra (EAQ152) Ignimbrita Media Luna.....	96
2. Tablas de datos geocronológicos	
Tabla 1. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA4 Sill.....	98
Tabla 2. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA5 Riolita La Laborcita.....	99
Tabla 3. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA9 Ignimbrita Cuatralba.....	100
Tabla 4. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA6 Ignimbrita La Media Luna.....	101
Tabla 5. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA7 Ignimbrita Cuatralba.....	102
Tabla 6. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA 152 Ignimbrita La Media Luna.....	103
Tabla 7. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA 141 Ignimbrita Cuatralba.....	104
Tabla 8. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA 11 Ignimbrita Cuatralba.....	105
2. Anexos de tabla de datos estructurales	
Tabla 9. Datos estructurales recolectados en campo.....	107

### Lista de figuras

Figura 1. a) Mapa donde se ubican los límites de la Sierra de Guanajuato. b) Mapa esquemático de la Sierra de Guanajuato (Martínez-Reyes 1992), donde se localiza el área de estudio y en el que también están señaladas zonas donde hay cartografía: 1) Botero-Santa (2015), 2) Cartografía realizada en este trabajo, 3) Ruiz-González (2015), 4 y 5) Martini (2011) y 6) Nieto-Samaniego 1992.

Figura 2. Imagen de la zona de estudio. La imagen del recuadro fue tomada de Google Earth.

Figura 3. Sierra cortadora MK-301.

Figura 4. Vidrio plano para desbastar.

Figura 5. Abrasivos de carbonato de silicio.

Figura 6. PETRO-THIN thin sectioning system.

Figura 7. Prensa hidráulica.

Figura 8. Lavadero y batea, para separación de minerales pesados.

Figura 9. Probetas con algunas de las muestras.

Figura 10. Mapa de la República Mexicana indicando la ubicación de la Mesa Central y la parte que abarca en el Estado de Guanajuato. Explicación: CDC-Comanja de Corona, MC-Mesa Central, SG-Sierra de Guanajuato.

Figura 11. Mapa hipsográfico (Nieto-Samaniego. 1992).

Figura 12 Mapa Geológico del área de estudio.

Figura 13. Columna estratigráfica del área de estudio.

Figura 14. Columnas estratigráficas por secciones del área de estudio.

Figura 15. Afloramiento de la Piroxenita San Juan de Otates en el camino de la Presa La Laborcita a la Mesa de Moreno.

Figura 16. Contacto entre Piroxenita San Juan de Otates y Tonalita Cerro Pelón.

Figura 17. Afloramiento de la Tonalita Cerro Pelón en el camino de la Presa La Laborcita a la Mesa de Moreno.

Figura 18. Afloramiento de la Tonalita Cerro Pelón en la comunidad Las Coloradas.

Figura 19. Afloramientos del Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato, del frente SW de la SG.

Figura 20. Afloramiento de la Granodiorita Presa Duarte, ubicado en las cercanías de la Presa Duarte.

Figura 21. Contacto discordante entre la Granodiorita Presa Duarte y el Conglomerado Duarte. La Granodiorita se encuentra subyaciendo al Conglomerado.

Figura 22. Afloramiento de la Granodiorita Presa Duarte, ubicado en las cercanías de la Presa Duarte.

Figura 23. Afloramiento de Sill félsico, ubicado entre la Presa Duarte y Presa La Laborcita.

Figura 24. Sill intrusionando al Conglomerado Duarte.

Figura 25. Afloramiento de Riolita La Laborcita, ubicado en las cercanías de la Presa La Laborcita.

Figura 26. Contacto entre Riolita La Laborcita y el Conglomerado Duarte.

Figura 27. Afloramiento de Ignimbrita Palo Blanco, ubicado en las cercanías de la Presa La Laborcita.

Figura 28. Contacto entre Ignimbrita Palo Blanco y el Conglomerado Duarte.

Figura 29. Afloramiento de Conglomerado Duarte, ubicado al W de la Presa La Laborcita

Figura 30. Afloramiento de Conglomerado Duarte, ubicado al NW de la Presa Duarte.

Figura 31. Afloramiento de Conglomerado Duarte, ubicado al NE de la Presa Duarte. Se observan clastos de composición volcánica y matriz arenosa.

Figura 32. Contacto entre el Conglomerado Duarte y la Ignimbrita Cuatralba.

Figura 33. A) Muestra de Ignimbrita Cuatralba tomada de Mesa de Los Vargas. B) Muestra tomada en las cercanías de la comunidad de Sauz Seco. C) Muestra tomada cerca de la Presa La Laborcita. D) Muestra tomada en Mesa de Ibarrilla.

Figura 34. Contacto entre la Ignimbrita Cuatralba y la Ignimbrita Media Luna.

Figura 35. Afloramiento de Basalto Dos Aguas, ubicado en el Cerro El Timbal.

Figura 36. Afloramiento de Ignimbrita Media Luna, ubicado en las cercanías de la Presa La Laborcita.

Figura 37. Esquema de decaimiento isotópico de  $^{238}\text{U}$  a  $^{206}\text{Pb}$ .

Figura 38. Ecuaciones para las dos cadenas de decaimiento de U. Explicación: P indica la abundancia ahora, i la abundancia inicial de cada isótopo. La división entre  $^{204}\text{Pb}$ , es con el fin de tener relaciones isotópicas y no abundancias absolutas.

Figura 39. Ecuación para calcular una edad isotópica. Explicación: t= edad en años,  $\lambda$ =constante de decaimiento radioactivo, Y=relación isotópica de los isótopos hijos, X=relación isotópica de los padres.

Figura 40. Diagrama de concordia (Wetherhill, 1956). Explicación:  $t_1$  evento de cristalización o edad de herencia,  $t_2$  edad del evento que abrió el sistema y por lo tanto la pérdida de Pb (Faure & Mesing, 2005).

Figura 41. Mapa geológico en el que se indican los lugares donde se recolectaron las muestras.

Figura 42 Zircones de la muestra EA0 4. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plan y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

Figura 43. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircones donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

Figura 44. Zircones de la muestra EAQ 5. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plan y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

Figura 45. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircones donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

Figura 46. Zircones de la muestra EAQ 5. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz planay objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

Figura 47. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircons donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

Figura 48. Zircons de la muestra EAQ 5. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

Figura 49. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircons donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

Figura 50. Zircons de la muestra EA 7. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

Figura 51. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircons donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

Figura 52. Zircons de la muestra EA 152. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

Figura 53. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircons donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

Figura 54. Zircons de la muestra EA 141. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

Figura 55. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos

zircones donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

Figura 56. Zircones de la muestra EA 141. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

Figura 57. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircones donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

Figura 58. Mapa que muestra los tres sectores estructurales del frente SW de la Sierra de Guanajuato (Sector Ibarra, Sector Alfaro – El Salto y Sector Duarte – San Juan de Otates).

Figura 59. Proyecciones estereográficas usando la falsilla de Schmidt hemisferio inferior, donde se graficaron los polos de las fallas medidas en el campo dentro de nuestra área de estudio. El área se separó en tres sectores. A) Sector Ibarra n=18. B) Sector Alfaro – El Salto El n= 64. C) Sector Duarte – San Juan de Otates El n= 129. En las proyecciones B y C se utilizó el método de conteo con 1% de área. Se utilizó el programa Stereonet 8, que está basado en Allmendinger et al. (2012).

- **Resumen**

Presentamos una nueva cartografía geológica y edades isotópicas de las unidades litoestratigráficas del frente SW de la Sierra de Guanajuato (SG).

La SG es una unidad orográfica de forma alargada con una orientación NW – SE, de aproximadamente 80 km de longitud, localizada en el límite sur de la Mesa Central de México. En ella se pueden definir dos grandes conjuntos litoestratigráficos: uno, de edad mesozoica, compuesto por rocas plutónicas y volcanosedimentarias marinas deformadas y metamorfizadas en grado bajo, que incluye las siguientes unidades en orden estratigráfico: Piroxenita San Juan de Otates, Tonalita Cerro Pelón, Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato, Granodiorita Presa Duarte y Cuarzomonzonita La Angostura. El segundo conjunto es de edad cenozoica y ambiente continental, consiste de rocas plutónicas, volcánicas y conglomerados. Por su edad, las rocas magmáticas cenozoicas forman cuatro grupos: 1) Grupo del Eoceno medio, de 52 a 48 Ma, donde se incluyen Granito Comanja, un intrusivo-Sill, Riolita La Laborcita, ignimbrita Palo Blanco. 2) Grupo del Oligoceno temprano, de 32 a 31 Ma, incluye a la Andesita Bernalejo e Ignimbrita Cuatralba. 3) Grupo de la cima del Oligoceno, de 24 Ma, incluye la ignimbrita La Media Luna y basaltos que se encuentran depositados sobre esa ignimbrita. 4) Grupo del Mioceno medio, de 13 Ma, Basalto El Cubilete y Andesita Cerro Verde.

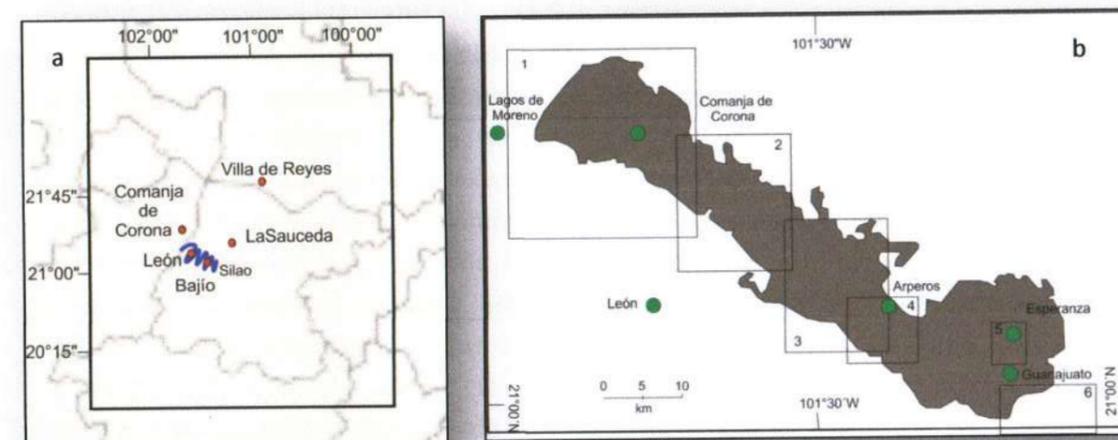
Por otra parte, a lo largo del frente de la sierra afloran conglomerados que son conocidos de manera genérica como Conglomerado Duarte, asignados al Eoceno. En esta investigación, se separaron tres conglomerados de diferente edad: El más antiguo yace bajo la Riolita La Laborcita de  $51.4 \pm 0.65$  Ma (U-Pb en zircón). Un segundo conglomerado, contiene clastos del Granito Comanja de  $51.19 \pm 0.33$  Ma (U-Pb en zircón) y sobreyace a la ignimbrita Palo Blanco de  $48.82 \pm 0.97$  Ma (U-Pb en zircón). Y por último, aparece discordante un conglomerado, que también sobreyace a las rocas volcánicas eocénicas y descansa debajo de la Ignimbrita Cuatralba de ca. 32 Ma.

En la zona de estudio se pudieron diferenciar 4 sistemas de fallas: un grupo de fallas con actividad eocénica, de tipo normal y oblicua, con rumbo NW-SE y echados al SW, que limita el contacto principal entre las rocas mesozoicas del núcleo de la SG y las rocas cenozoicas ubicadas en el borde SW de la sierra, este sistema de fallas también limita a los conglomerados poniéndolos en contacto con las rocas mesozoicas. El grupo de fallas del Oligoceno consta de un gran número de segmentos enlazados y fallas individuales de orientación NW-SE y echado al SW, que afectan a las rocas depositadas debajo de la ignimbrita La Media Luna. El grupo de fallas del Mioceno desplazan a la ignimbrita La

Media Luna y el Basalto El Cubilete, estas fallas no se observaron en afloramiento, ya que mayormente se encuentran sepultadas por los sedimentos que forman el relleno de la cuenca El Bajío. Por último, hay un grupo de fallas transversales de orientación NE-SW cuya edad suponemos anterior al Oligoceno.

## 1. Introducción

La Sierra de Guanajuato (SG) es una unidad orográfica que se encuentra ubicada en la parte noroccidental del Estado de Guanajuato, su forma es alargada con una dirección NW-SE y con dimensiones aproximadas de 80 km de longitud y 30 km de ancho. Limita al NW con *Comanja de Corona, Jalisco* y la *depresión de Lagos de Moreno*; al SE con el *graben de la Saucedá* (Martínez-Reyes 1992) y al SW con la *planicie del Bajío*. La cortan transversalmente, las depresiones del *graben de Villa de Reyes* y del *graben de La Saucedá* (Figura 1).



**Figura 1.** a) Mapa donde se ubican los límites de la Sierra de Guanajuato. b) Mapa esquemático de la Sierra de Guanajuato (Martínez-Reyes 1992), donde se localiza el área de estudio y en el que también están señaladas zonas donde hay cartografía: 1) Botero-Santa (2015), 2) Cartografía realizada en este trabajo, 3) Ruiz-González (2015), 4 y 5) Martini (2011) y 6) Nieto-Samaniego 1992.

Esta tesis tiene como objetivo principal elaborar una nueva cartografía y refinar la estratigrafía del frente SW de la Sierra de Guanajuato, también se hace un análisis de las estructuras de esta zona. Se pone especial interés en tres discordancias que afloran en la zona de estudio: la primera entre las rocas mesozoicas y eocénicas. La segunda: entre el Conglomerado Duarte y la Ignimbrita Cuatralba. Y la tercera: entre la Ignimbrita Cuatralba y la Ignimbrita La Media Luna. Para ello se analizó la información geológica disponible, se cartografió el área de estudio a escala 1:20,000 y se realizaron fechamientos isotópicos y petrográficos de las unidades litológicas.

En la SG se han definido dos conjuntos litoestratigráficos; uno inferior de edad mesozoica, compuesto por rocas sedimentarias marinas (arenisca, caliza y lutita) y volcánicas marinas (andesita y basalto) que se han visto afectadas por un metamorfismo regional de grado bajo (facies esquistos verdes). Este conjunto de rocas presenta dos deformaciones por acortamiento; una pre-albiana con acortamiento horizontal y orientación aproximada N-S y otra posterior al Albiano, esta corresponde a la orogenia Laramide y formó estructuras con orientación general NW-SE (Martínez-Reyes 1992; Ortiz-Hernández, et al. 1990; Lapierre, et al. 1992). A partir de un estudio realizado en las zonas de Arperos y La Esperanza, Martini (2013) propone la presencia de cuatro fases de deformación por acortamiento, sin que haya determinado edades absolutas de dichas fases de deformación. Tres de ellas presentes en la zona de La Esperanza, localizada en las cercanías de Guanajuato y cuatro en la zona de Arperos (Figura 1). La más antigua D1, presenta deformación dúctil, metamorfismo de bajo grado, máximo acortamiento NE-SW y transporte tectónico hacia el SW. D2 tiene un acortamiento máximo NE-SW con vergencia hacia el NE; está representada solamente en la zona de Arperos donde generó una zona de cizalla milonítica, marcando el contacto entre la Formación Arperos y la Formación La Cuestecita. D3 aparece como deformación dúctil con acortamiento máximo NW-SE y vergencia hacia el SE. Por último, D4 afecta toda la pila tectónica mesozoica de la Sierra de Guanajuato con dirección de acortamiento NE-SW y vergencia al SW.

El conjunto litoestratigráfico superior corresponde al Cenozoico, el cual está formado por sedimentos continentales (conglomerados), rocas volcánicas y rocas plutónicas (gabro y granito) que solo han sido afectadas por fallamiento de tipo normal.

Este conjunto de rocas marcan el cambio de un medio marino a uno continental, el cual perdura en la Mesa Central (MC) hasta el presente.

Dentro del registro estratigráfico se han identificado tres discordancias regionales en la Mesa Central y que se encuentran presentes en nuestra zona de estudio. Las describe Nieto-Samaniego et al. (2005) como:

*La Discordancia del Mesozoico-Terciario.* Se trata de una discordancia angular y erosional que marca un hiatus como consecuencia de la orogenia Laramide que se extiende en toda la MC y en la mayor parte de México. Dentro de la MC dicha discordancia abarca del Cretácico Superior al Paleoceno en la parte occidental, y del Maastrichtiano al Paleoceno en la parte oriental, sin que sus límites temporales estén definidos con precisión. Las unidades anteriores al hiato presentan deformación por acortamiento, mientras que las unidades posteriores al hiato no se ven afectadas por esta deformación (Ruiz-González, 2015). Un ejemplo de esta discordancia se observa

en las comunidades de La Laborcita y San Juan de Otates, Guanajuato (Figura 2) donde afloran rocas del Mesozoico (Piroxenita San Juan de Otates, Tonalita Cerro Pelón, Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato y Granodiorita Presa Duarte).

*La Discordancia del Eoceno medio.* Discordancia ubicada entre los cuerpos intrusivos más antiguos que no presentan deformación por acortamiento y conglomerados y rocas volcánicas continentales que afloran en la MC. Encima de los sedimentos continentales del Paleoceno-Eoceno medio, aparecen discordancias locales, de carácter litológico y en ocasiones angular, que yacen bajo una cubierta de rocas volcánicas oligocénicas, de esta manera, en muchas localidades la discordancia abarca hasta el Oligoceno temprano. La discordancia del Eoceno medio aparece en buena parte de la MC, de manera discontinua. En la parte sur, centro y oeste de la MC, su posición estratigráfica la localiza en la parte superior del Eoceno medio, mientras que en las localidades donde están ausentes los sedimentos del Paleoceno-Eoceno inferior, la discordancia del Eoceno medio se une con la discordancia del Mesozoico-Terciario. En la SG la discordancia del Eoceno medio alcanza hasta el Oligoceno y hacia la parte norte de la MC su alcance estratigráfico se extiende hasta tiempos recientes, dada la ausencia de la cubierta volcánica Nieto-Samaniego *et al.* (2005). En la localidad de Duarte, Guanajuato, aflora el Granito Comanja, que es un granito de biotita. Sobreyaciendo al Granito Comanja se tiene un conglomerado continental, el cual es cubierto por flujos piroclásticos. También se tienen coladas de andesita que descansan en discordancia, directamente sobre el granito (Ruiz-González, 2015).

*Discordancia del Eoceno tardío-Oligoceno.* Discordancia angular que representa un hiatus en la actividad volcánica y marca un cambio en la composición de los magmas entre las rocas del Eoceno medio de composición andesítica y riolítica, y las rocas del Oligoceno de composición preponderadamente riolítica, que ha sido documentada en la región localizada entre Zacatecas, Fresnillo y Sombrerete, en el estado de Zacatecas (Albinson, 1988). En la SG esta discordancia se hace evidente por la posición estratigráfica de la cubierta volcánica Oligocénica, la cual comúnmente cubre directamente a las rocas sedimentarias del Eoceno inferior, o a las rocas mesozoicas. Por otra parte en las localidades de La Laborcita, San Juan de Otates, San Nicolás de González, Alfaro, Medina e Ibarra, Guanajuato (Figura 2), aflora una discordancia entre el Conglomerado Duarte, que es un conglomerado polimíctico, color rojo a marrón claro, y un depósito piroclástico conocido como Ignimbrita Cuatralba.

*Discordancia del Oligoceno tardío.* En las localidades de La Laborcita, San Juan de Otates, San Nicolás de González, Alfaro, Medina e Ibarra, Guanajuato (Figura 2), aflora la Ignimbrita Cuatralba y sobreyaciendo a esta ignimbrita se tiene descansando discordantemente a la Ignimbrita La Media Luna, que es un depósito piroclástico muy consolidado.

### 1.1 Localización

El área de estudio se localiza en el estado de Guanajuato, específicamente en la porción SW de la Sierra de Guanajuato, entre las coordenadas UTM 14Q 2336000 N - 2351000 N y 224000 E - 240000E, abarcando los municipios de León y Silao.

Las poblaciones más cercanas a la zona de estudio son; Duarte, La Laborcita, San Juan de Otates, San Nicolás de González, Alfaro, Medina, Los Naranjos e Ibarilla (Figura 2).

Se tomó como base topográfica la carta publicada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI) Nuevo Valle de Moreno F14C42, ESC 1:50,000.



Figura 2. Imagen de la zona de estudio. La imagen del recuadro fue tomada de Google Earth.

## 1.2 Hipótesis

En trabajos previos, algunos autores ya habían reportado en la Mesa Central la presencia de grupos de rocas volcánicas cenozoicas, separados por discordancias, (Nieto-Samaniego *et al.* 2005; Cuéllar-Cárdenas *et al.* 2012; Botero-Santa, 2015; Aranda Gómez *et al.* 2007; Quintero-Legorreta, 1992; Tristán-González *et al.* 2009). La Hipótesis que motivó la presente investigación es que en el frente SW de la Sierra de Guanajuato afloran las discordancias del Eoceno tardío-Oligoceno y del final del Oligoceno, y que en esa área se pueden determinar con precisión sus edades y alcances estratigráficos permitiendo determinar las edades de los eventos tectónicos que formaron la Sierra de Guanajuato.

## 1.3 Objetivo

Mostrar una nueva cartografía geológica y actualizar la estratigrafía del frente SW de la Sierra de Guanajuato, como también hacer un análisis de las estructuras de la región.

## 1.4 Metas

- Elaborar un mapa geológico a escala 1:20,000, actualizando así la cartografía existente por el Servicio Geológico Mexicano.
- Realizar fechamientos por el método U-Pb en zircones a unidades litoestratigráficas clave del área de estudio.
- Hacer estudios petrográficos a unidades litoestratigráficas clave.
- Identificar las estructuras geológicas presente en la zona.

## 2. Metodología

Una vez terminada la revisión bibliográfica de trabajos publicados referentes a la geología regional, geología local, geología estructural, estratigrafía y geocronología, se procedió con el trabajo de campo. Para ello se delimitó el área de estudio tomando en cuenta varias herramientas; Google Earth, la carta geológica de Nuevo Valle de Moreno F14-C42 escala 1:50,000 publicada por el Servicio Geológico Mexicano y la topográfica Nuevo Valle de Moreno F14-C42 publicada por INEGI.

Se llevaron a cabo fechamientos isotópicos por el método U-Pb en zircón, para poder determinar edades de cristalización de diferentes unidades litoestratigráficas.

Se realizó el estudio petrográfico de varias muestras correspondientes a unidades litoestratigráficas de importancia.

### 2.1 Cartografía Geológica

Para poder iniciar con el trabajo de campo fue necesario delimitar la zona de estudio, tomando en cuenta afloramientos de interés y principales rutas de acceso a cañadas y caminos en los cuales pudiéramos observar claramente los afloramientos y pudiéramos elaborar secciones.

Los recorridos se hicieron por caminos de terracería y algunos otros sobre cañadas y arroyos, buscando así los mejores afloramientos a mapear con detalle. Al ir haciendo los recorridos se fueron ubicando puntos, los cuales marcamos sobre nuestro mapa topográfico escala 1:20,000. Estos puntos están identificados específicamente por una clave, sus coordenadas UTM NAD 27 y fecha, para su ubicación se utilizó un GPS.

El trabajo en cada punto que se marcaba sobre el mapa consistía en: observar el afloramiento de rocas, hacer una descripción del mismo tomando en cuenta; su orientación, dimensiones, color de las rocas, si presentaban intemperismo y en qué grado, su grado de fracturamiento y su estructura (estratificado, masivo, basculado, etc.). En caso de que se tratara de un contacto, se determinaba el tipo de contacto y la relación entre litologías. Si se observaban estructuras (fallas, fracturas y vetas) de interés, se hizo uso de una brújula Brunton azimutal y se tomaron los datos estructurales correspondientes: rumbo, echado, en algunos casos pitch si había presencia de estrías y se determinó la dirección y sentido de desplazamiento en las fallas. Se tomaron muestras ya sea para hacer petrografía, o para realizar fechamientos isotópicos. Por último se tomaron varias fotografías, de detalle y panorámicas de todo el afloramiento.

## 2.2 Petrografía

Para poder realizar los estudios petrográficos, fue necesario tratar de recolectar buenas muestras, de tamaño considerable para no tener problema al momento de cortarlas. Las muestras se eligieron tomando en cuenta que estas no se encontraran muy fracturadas o intemperizadas.

Después de realizar la descripción a escala de todo el afloramiento, se realizó una descripción a detalle de la o las litologías que estaban presentes. Para esta descripción fue necesaria una lupa de aumento 10x, libreta de campo, colores, regleta, tablas de clasificación de rocas y mapa. Dentro de estas descripciones se tomaron en cuenta diversas características como: color, textura (tamaño y forma de grano), tipo de matriz, contenido de líticos, etc.

El trabajo en el Taller de laminación del Centro de Geociencias de la UNAM consistió en hacer lo siguiente: 1) Cortamos las muestras en una sierra cortadora MK-301 con un disco de 10 pulgadas de diámetro (Figura 3) hasta que estas quedaron justo del tamaño de un portaobjetos y con un grosor aproximado de 1 cm. 2) Se prosiguió con el desbastado de muestras, para lo cual se usó un vidrio plano de tamaño aproximado de 20x20 cm, sobre él se colocaron progresivamente abrasivos de carburo de silicio de distintas granulometría tamaños (320, 400, 600 y 1000) (Figura 4 y 5), agregando un poco de agua o aceite. 3) Cuando la muestra ya estuvo lisa y pareja, le pusimos en uno de sus lados adhesivo sensible a luz ultravioleta de longitud de onda de 365 nanómetros, inmediatamente después la colocamos sobre un portaobjetos y se puso a secar en el sol un par de minutos. 4) Ya pegada la muestra al portaobjetos se pasó varias veces sobre una desbastador PETRO-THIN (thin sectioning system) (Figura 6) hasta lograr un grosor mínimo de 50 micras (cuidando que no se perdiera la muestra). 5) Por último, otra vez se desbasto, pero ahora con abrasivos de 400, 600, 1000 hasta tener un grosor de 30 micras.



Figura 3. Sierra cortadora MK-301



**Figura 4.** Vidrio plano para desbastar



**Figura 5.** Abrasivos de carbonato de silicio

Para la descripción microscópica, se utilizó un microscopio petrográfico OLYMPUS Bx51. Se analizaron un total de 10 muestras (EAQ 4, EA05, EA-9, EAQ 11, EAQ 7, EAQ6, EAQ2, EAQ141, EAQ8, EAQ152). En este análisis se describió principalmente: Porcentaje de cristales y matriz, tipo de minerales presentes y sus características, tipo de textura y tipo de matriz.



**Figura 6.** PETRO-THIN thin sectioning system

### 2.3 Geocronología

En el campo se recolectaron muestras específicas para realizar los fechamientos isotópicos, el método que utilizamos fue el de U-Pb en zircón. Por cada muestra que se analizó se recolectó una o dos bolsas, cada una de ellas con una cantidad aproximada de 5kg.



Figura 7. Prensa hidráulica

Lo siguiente fue ir al taller de molienda en el cual se realizaron los siguientes pasos: 1) Descascarar las muestras, que consiste en quitarles las partes que presentaban alteración o intemperismo. 2) Triturar las muestras en una prensa hidráulica (Figura 7), ahí mismo se pasó el material por tamices con mallas 40, 60 y 80, hasta el punto en el que nos quedaba la muestra pulverizada <math><0.18\text{mm}</math>. 3) Se hizo una separación de minerales pesados en la batea (Figura 8), los cuales colocamos en unos pequeños frasquitos, para que así fuera más fácil realizar la separación de zircones. El resto de la muestra la pusimos en vasos de precipitado dentro de una estufa para que se secase. 4) Por último se procedió a la separación manual de zircones mediante el uso de un microscopio, un vidrio de 5x5 cm, una

banda de pegamento y pinzas, se separó zircón por zircón y se montaron sobre el vidrio hasta tener una población de aproximadamente 50 zircones por muestra.

Ya montados los zircones en el vidrio se les colocó encima una resina epóxica EpoFixResin (Figura 9). Una vez que la resina se endureció, la probeta se pulió por la cara donde están los zircones para eliminar la resina excedente y que de esa manera los cristales de zircón afloraran de la resina.

Posteriormente las probetas fueron recubiertas con grafito para poder proceder a la toma fotos de catodoluminiscencia y luz transmitida. Esto con la intención de obtener una buena imagen, para después marcar en ella los puntos que indicaran exactamente dónde realizar los disparos del láser.



**Figura 8.** Lavadero y batea, para separación de minerales pesados.

Por último se le entregó al Laboratorio de Estudios Isotópicos del CGEO las probetas con los zircones y las fotos ya marcadas con los puntos donde se haría la ablación láser. En ese laboratorio los zircones fueron ablacionados con un láser Resonetics LPX200, la ablación



se llevó a cabo dentro de una celda con una atmósfera de He, en la que el láser provoca una nebulización del *spot* con unas dimensiones de 34  $\mu\text{m}$  de diámetro y 25  $\mu\text{m}$  de profundidad, seguido de esto, un flujo de  $\text{N}_2$  y Ar transportan la muestra al ICP-MS para ahí medir las relaciones isotópicas. Al término de todas las ablaciones, el Laboratorio nos hizo llegar los resultados de los análisis en tablas de Excel, al igual que las gráficas de concordia y los cálculos de edades promedio de cada una de las muestras.

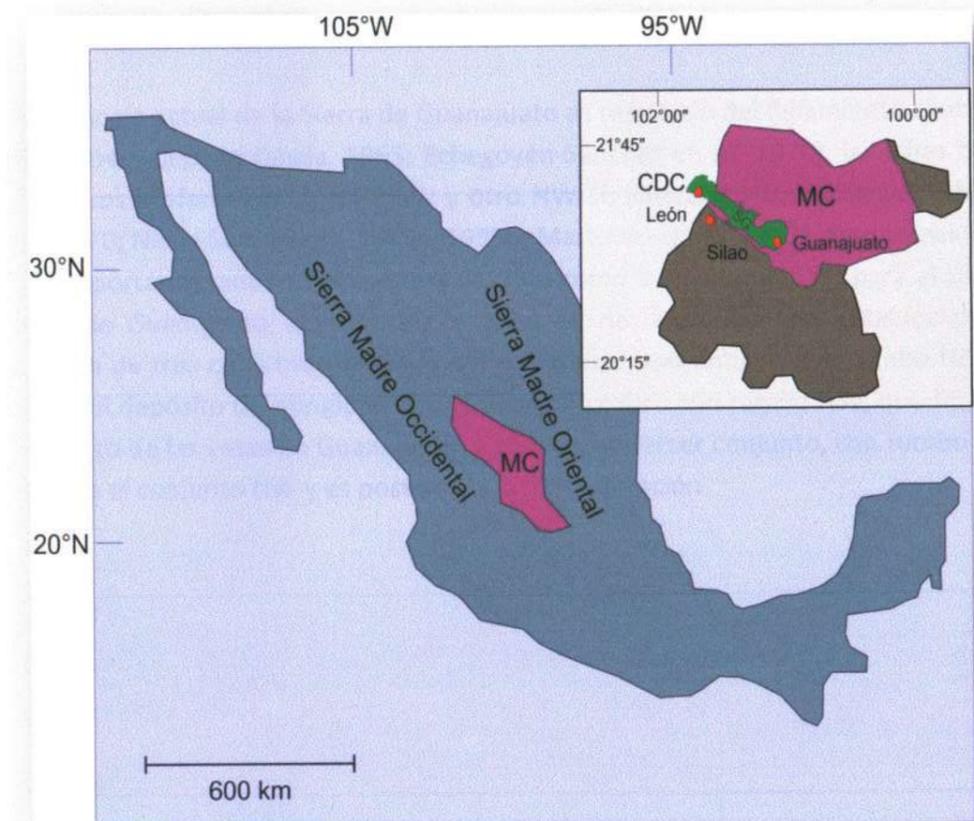
**Figura 9.** Probetas con algunas de las muestras.

### 3. Geología regional

El área cubierta en el presente estudio comprende del sector SW de la unidad orográfica denominada Sierra de Guanajuato.

La Sierra de Guanajuato se localiza en el centro de México, específicamente en la parte NW del estado de Guanajuato, siendo parte de la provincia fisiográfica Mesa Central (Figura 10) la cual fue reconocida con este nombre por Raisz (1959).

La MC es una planicie elevada, más de la mitad de su superficie se encuentra por encima de la cota 2,000m y las elevaciones topográficas en su interior son moderadas, la mayoría forman desniveles inferiores a los 600 m, limita al norte y oriente con la Sierra Madre Oriental, hacia el occidente con la Sierra Madre Occidental y al sur con la depresión conocida como el Bajío (Nieto-Samaniego *et al.* 2005). Dentro de la MC se pueden reconocer dos regiones: la norte y la sur, la región sur es una zona montañosa, cubierta en su mayor parte por rocas volcánicas cenozoicas (Nieto-Samaniego *et al.* 1999) la cual presenta las cotas más elevadas que se encuentran por encima de los 2000 msnm, dentro de esta misma porción sur se encuentra ubicada la SG.



**Figura 10.** Mapa de la República Mexicana indicando la ubicación de la Mesa Central y la parte que abarca en el Estado de Guanajuato. Explicación: CDC-Comanja de Corona, MC-

La orografía de la Sierra de Guanajuato se caracteriza por presentar zonas con laderas abruptas, mesetas alargadas y una elevación promedio de 2,305 msnm, mientras que en su porción norte predominan llanos, mesetas y cerros, cuya cota más alta alcanza los 2,600 msnm. Específicamente en la porción SW de la SG la altura máxima es de 2750 msnm en el Cerro El Gigante y la altura mínima es de 1800 msnm en la planicie del Bajío (Figura 11).

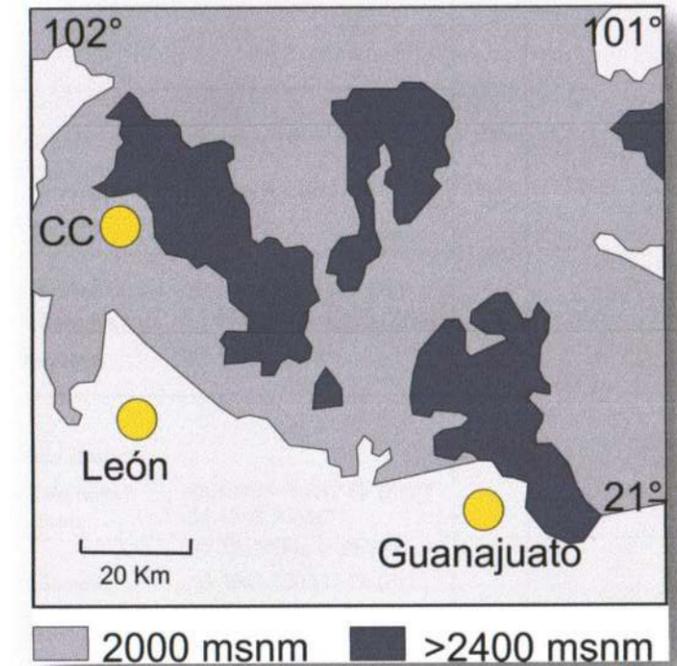
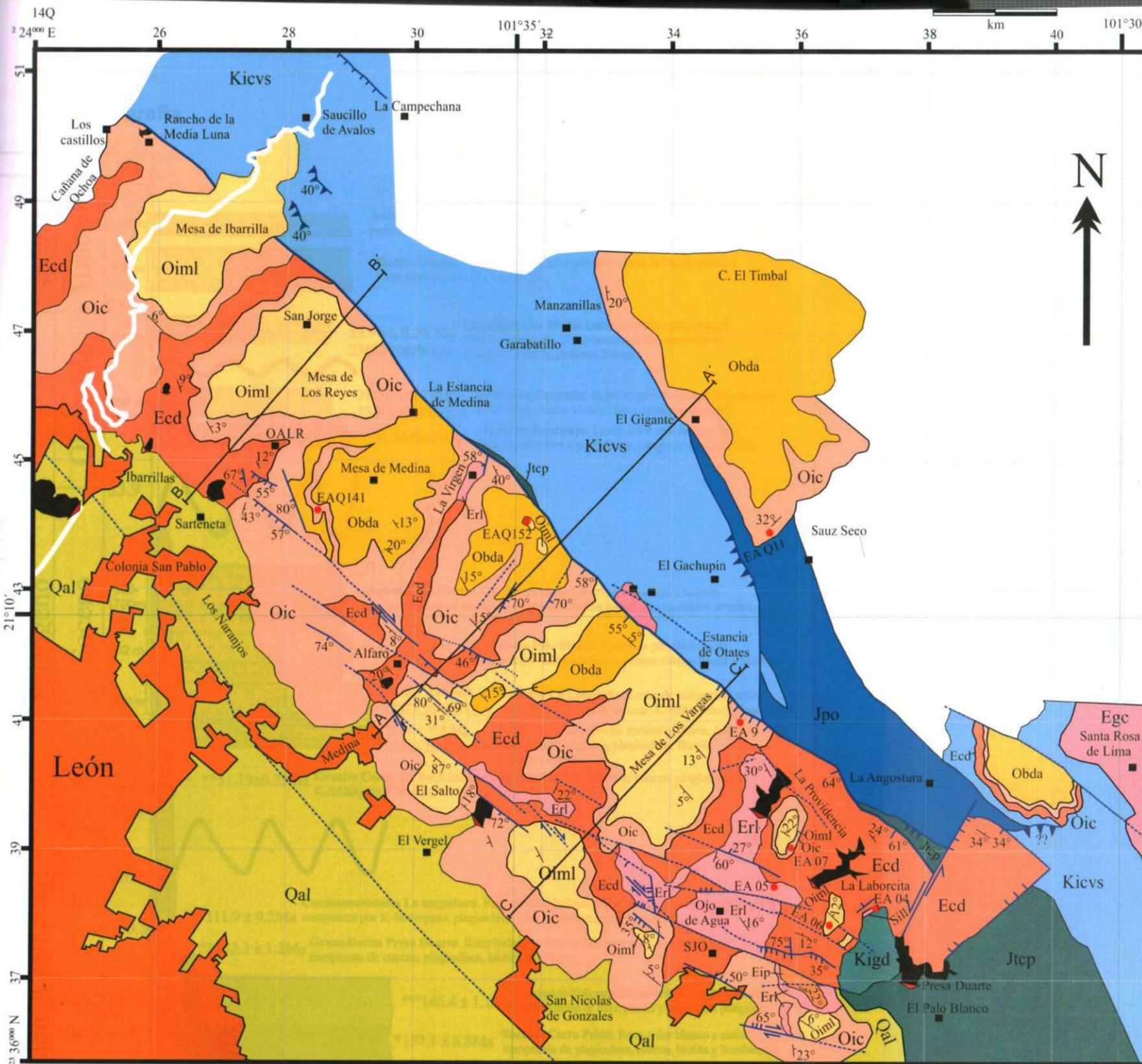


Figura 11. Mapa hipsográfico (Nieto-Samaniego, 1992).

La morfología actual de la Sierra de Guanajuato es resultado del fallamiento cenozoico (Guiza, 1949; Cepeda Dávila, 1965; Echegoyén-Sánchez *et al.* 1970), las fallas tienen dos rumbos preferentes: uno NE-SW y otro NW-SE (Guiza, 1949; Echegoyén-Sánchez *et al.* 1970; Nieto-Samaniego, 1985a, 1985b; Martínez-Reyes, 1987). Esto coincide con lo que reportaron tanto Corona-Chávez (1988) como Buchanan (1979) para el Distrito Minero de Guanajuato, ubicado en la parte SE de la Sierra, ellos establecieron la existencia de tres conjuntos de fallas del cenozoico: uno antiguo con rumbo NE, que propició el depósito del conglomerado Guanajuato; otro con rumbo NW, que formó el fallamiento de las vetas de Guanajuato; y añaden un tercer conjunto, con rumbo NE el cual corta al conjunto NW y es posterior a la mineralización.



### Columna Estratigráfica

Cenozoico	Estratigrama	Cuaternario		Edad (Ma)
		Unidad	Descripción	
Neógeno	Oligoceno Mioceno	Qal	Aluvi3n	
		Eacv	Andesita Cerro Verde	13.5Ma Ar-Ar <sup>oo</sup>
		Obda	Basalto Dos Aguas	
	Eoceno	Oiml	Ignimbrita La Media Luna	24.39±0.14Ma U-Pb (Zr)
		Oic	Ignimbrita Cuatralba	32.07±0.22Ma U-Pb (Zr)
		Oab	Andesita Bernalejo	31.36±0.23Ma <sup>o</sup>
		Ecd	Conglomerado Duarte	
	Paleoceno	Eip	Ignimbrita Palo Blanco	48.82±0.97Ma U-Pb (Zr)**
		Egc	Granito Comanja	51.19±0.33Ma**
		Sill	Sill	52.32±0.22Ma U-Pb (Zr)
Mesozoico	Cret3ceo	Tardio		
		Temprano		
	Jur3sico	kica	Cuarzomonzonita La Angostura	111.9 ± 9.2Ma***
		kidg	Granodiorita Presa Duarte	132.3 ± 1.2Ma U-Pb (Zr)**
		Jtp	Tonalita Cerro Pel3n	
		Kievs	Complejo Volcanosedimentario Sierra de Gto	157.1 ± 8.8Ma*
		Jpo	Piroxenita San Juan de Otates	

\*Zimmermann (1990) \*\*Ruiz-Gonz3lez, F.J. (2015) \*\*\*Mart3nez-Reyes (1992)  
<sup>o</sup>Botero-Santa(2011) <sup>oo</sup>Aguirre-D3az (1997)

### Simbolog3a

- Falla Normal
- Falla Inferida
- Cabalgamiento
- Direcci3n de Desplazamiento
- Rumbo y Echado
- Estratificaci3n
- Poblaci3n
- Punto de Muestreo
- Curvas de Nivel
- Contacto Geol3gico
- Presa

### Localizaci3n

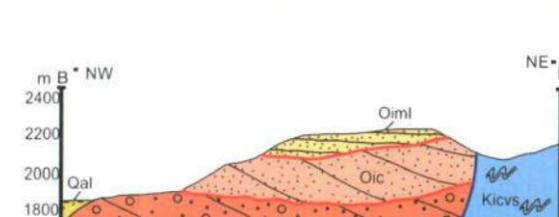
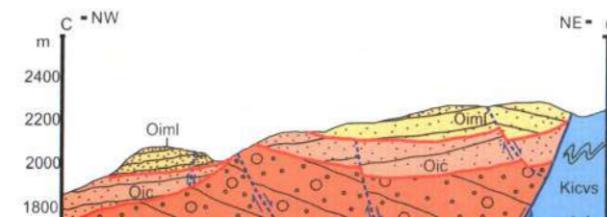


Figura 12. Mapa Geol3gico del sector SW de la Sierra de Guanajuato, M3xico.  
 Coordenadas UTM  
 DATUM NAD 27

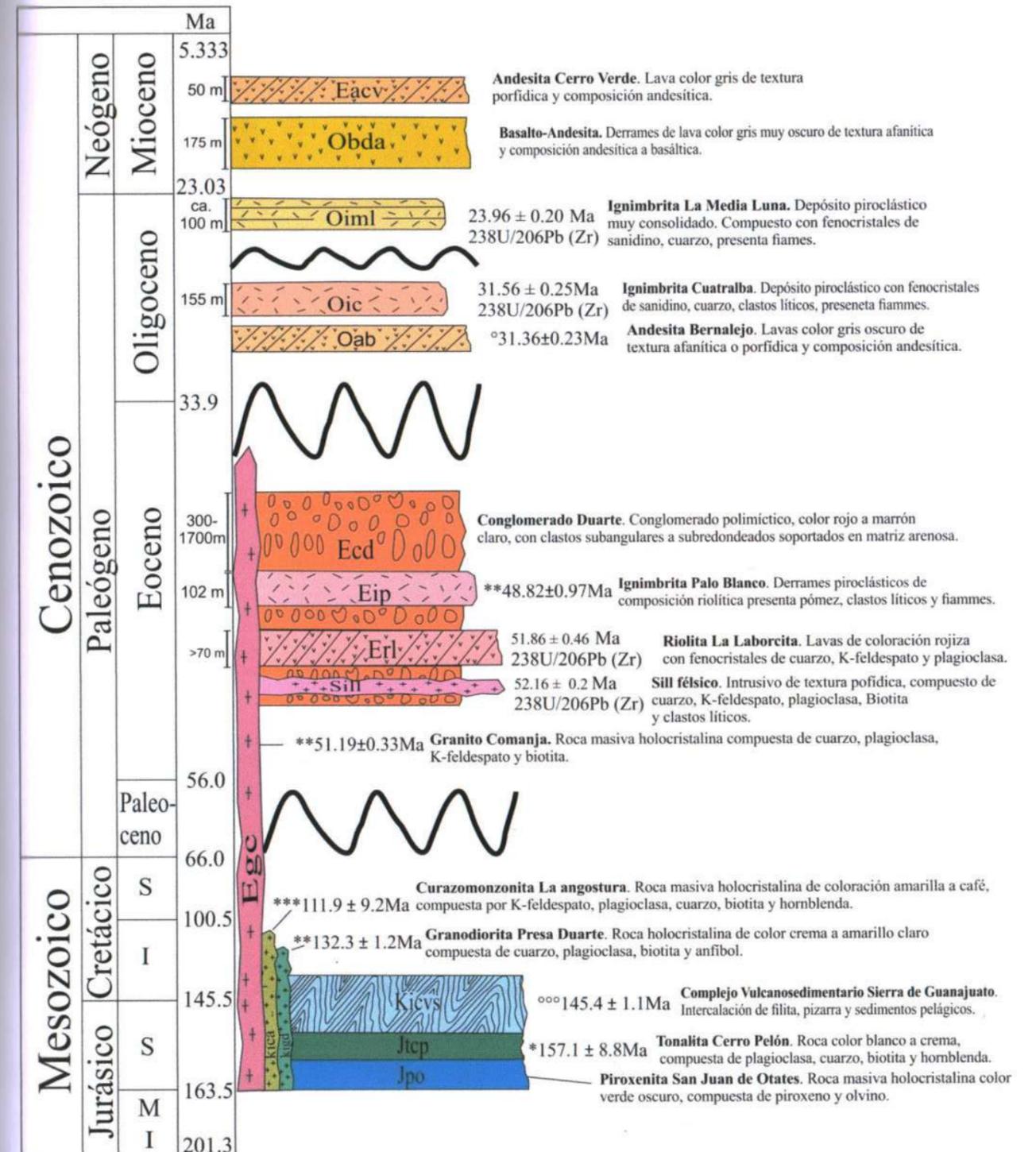
Universidad de Guanajuato  
 Departamento de Minas, Metalurgia y Geol3gia.

Autor: Olmos Moya Mar3a de Jes3s Paulina  
 Fecha: Septiembre 2015

OALR: Ojo de Agua de Los Reyes. SJO: San Juan de Otates.

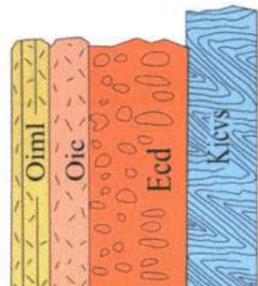


4. Estratigrafía

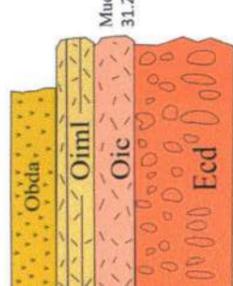


\*Zimmermann (1990) \*\*Ruiz-González, F.J. (2015) \*\*\*Martínez-Reyes (1992)  
 °Botero-Santa(2011) °°Aguirre-Díaz (1997) °°°Martini (2011)  
 ~~~ Discordancia

Figura 12. Columna estratigráfica del área de estudio.



**Sección Ibarrilla**

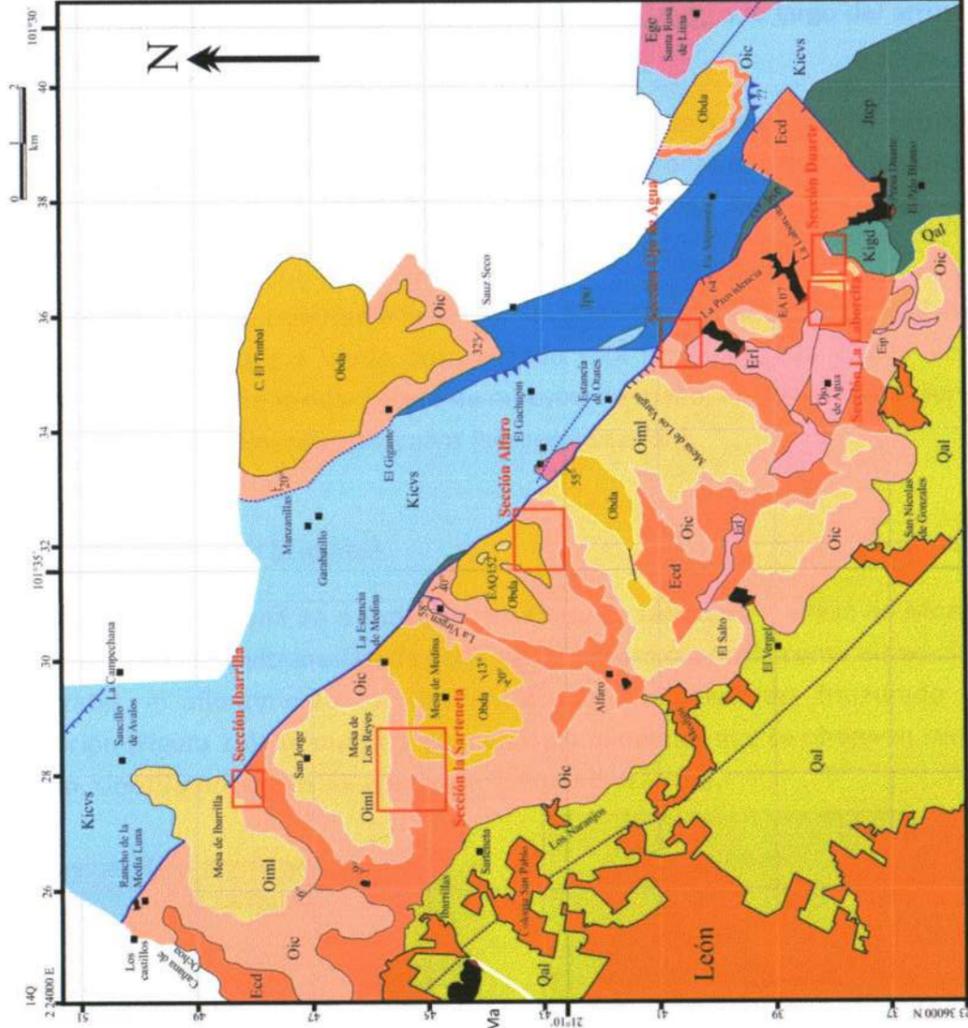


**Sección la Sartaneta**



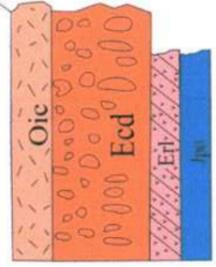
**Sección Alfaro**

Muestra 141  
31.20 ± 0.23 Ma



OALR: Ojo de Agua de Los Reyes. SJO: San Juan de Olatés.

Muestra Ea6  
31.16 ± 0.30 Ma



**Sección Ojo de Agua**

Muestra Ea6  
23.96 ± 0.20 Ma



**Sección La Laborcita**

Muestra Ea05  
51.86 ± 0.46 Ma

Muestra Ea6  
23.96 ± 0.20 Ma



**Sección Duarte**

Muestra EA04  
52.16 ± 0.20 Ma

Figura 14. Columnas estratigráficas por secciones del área de estudio

#### 4.1 Piroxenita San Juan de Otates

- Antecedentes

Martínez-Reyes (1992). Denomina como Piroxenita San Juan de Otates a una roca masiva, cristalina, de color verde oscuro cuando está sana y de color verde claro cuando esta serpentinizada. En su descripción reporta: como minerales primarios: augita y olivino. Minerales de alteración (serpentinización): antigorita, clorita, talco y opacos. Mineral de metamorfismo regional (fase de esquisto verde): actinolita. Esta unidad cubre una superficie aproximada de 12 km<sup>2</sup> y se encuentra aflorando a lo largo del arroyo San Juan de Otates.

Alvarado-Méndez y Rodríguez-Trejo (1999). Denominan como Unidad Ultramáfica San Juan de Otates a una serie de escamas tectónicas de rocas que van desde ultramáficas a básicas e intermedias, formadas por serpentinitas, peridotitas, clinopiroxenitas serpentinizadas y gabros con texturas de acumulación.

Ruiz-González (2015). Describe a la Piroxenita San Juan de Otates como una roca masiva, cristalina, de color gris a verde claro cuando esta intemperizada y color verde oscuro cuando está fresca. En la descripción de muestra de mano, los minerales observables son: olivino, piroxeno y minerales alterados (serpentinización).

- Descripción de la unidad

Dentro de nuestra zona de estudio, entre Presa La Laborcita y Mesa de Moreno (Figura 12), aflora una roca ultramáfica de color verde oscuro conocida como Piroxenita San Juan de Otates, el afloramiento se encuentra muy intemperizado, fracturado y presenta alteración (Figura 15). En muestra de mano, los minerales que se observan son: piroxeno, olivino, clorita y minerales de alteración (serpentinización).

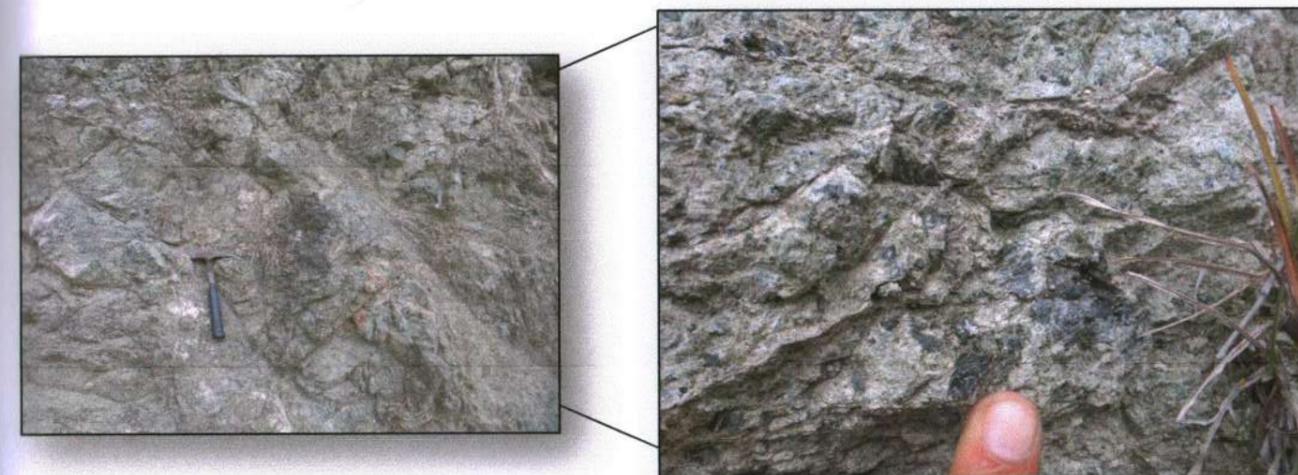


Figura 15. Afloramiento de la Piroxenita San Juan de Otates en el camino de la Presa La Laborcita a la Mesa de Moreno.

- Contactos con otras unidades

Con respecto a los contactos de esta unidad Martínez-Reyes (1992) propone que la Piroxenita San Juan de Otates representa una unidad alóctona de naturaleza ofiolítica, que se encuentra cabalgando a la unidad que yace bajo ella.

En el afloramiento que se describió en este trabajo, se pudo observar el contacto entre la Piroxenita San Juan de Otates y la Tonalita Cerro Pelón. Este contacto es por falla inversa y entre estas dos unidades se encuentra una zona de cizalla de aproximadamente un metro de espesor (Figura 16).



**Figura 16.** Contacto entre Piroxenita San Juan de Otates y Tonalita Cerro Pelón.

- Edad.

Por su posición estratigráfica se le asignó una edad tentativa del Jurásico Tardío (Martínez-Reyes (1992).

## 4.2 Tonalita Cerro Pelón

- Antecedentes

Martínez-Reyes (1992). Describe a esta unidad como rocas masivas, cristalinas, de colores claros que, petrográficamente pueden ser clasificadas como plagiogranitos. A esta unidad le denomina Tonalita Cerro Pelón. Aflora en la mitad sudoriental de la Sierra de Guanajuato. Presenta como característica principal numerosos diques doleríticos que la cortan en todos los sentidos.

Ruiz-González (2015). Describe a esta unidad como una unidad de rocas intrusivas de color blanco cuando está fresca y de color café claro cuando esta intemperizada, con coloraciones rojizas de los minerales alterados. Aflora principalmente al este de la cortina de la Presa Duarte.

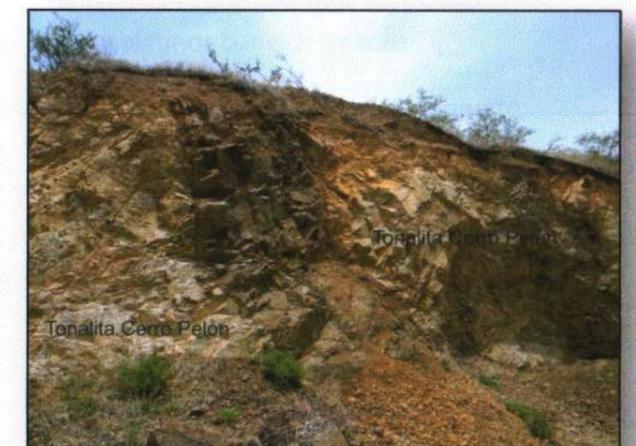
- Descripción de la unidad

Dentro de nuestra zona de estudio, entre Presa La Laborcita y Mesa de Moreno (Figura 12), aflora una roca ácida de coloración blanca y beige en las zonas intemperizadas conocida como Tonalita Cerro Pelón, el afloramiento se encuentra intemperizado y presenta alteración hidrotermal y oxidación (Foto 17). En muestra de mano, los minerales que se observan son: cuarzo y plagioclasa.

Otra zona en la que aflora esta unidad es en las cercanías de la Presa Duarte (Figura 12) en la comunidad Las Coloradas, ahí se observó un afloramiento de color blanco a café claro por intemperismo, el cual se encuentra cortado por un dique de composición básica (Figura 18).



**Figura 17.** Afloramiento de la Tonalita Cerro Pelón en el camino de la Presa La Laborcita a la Mesa de Moreno.



**Figura 18.** Afloramiento de la Tonalita Cerro Pelón en la comunidad Las Coloradas.

- Contactos con otras unidades

Con respecto a los contactos de esta unidad Martínez-Reyes (1992) propone que la relación lateral con la unidad precedente no es fácil de establecer, pero su posición alóctona sobre las rocas que yacen bajo ella es muy clara.

En el afloramiento que se describió en este trabajo, se pudo observar el contacto por falla inversa entre la Prio Xenita San Juan de Otates y la Tonalita Cerro Pelón. Entre estas dos unidades se encuentra una zona de cizalla de aproximadamente un metro de espesor (Figura 16).

- Edad

Zimmermann et al. (1990), le asignó a esta unidad una edad de  $157.1 \pm 8.8$  Ma, fechada por el método de K/Ar.

#### 4.3 Complejo vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato.

- Antecedentes

Echegoyén *et al.* (1970). Define como Formación La Luz, a un conjunto de derrames de lava de composición andesítica, basáltica o dacítica, de estructura masiva o almohadillada. También define a la Formación Esperanza, la cual está compuesta por facies marinas que constan de calizas, lutitas y arenisca. Estas dos formaciones presentan un metamorfismo de bajo grado en facies de esquistos verdes.

Monod *et al.* (1990). Describe como parte de la Formación Arperos a una secuencia de grauvaca, cuarcita, micrita, radiolarita, pedernal, lutitas y algunos conglomerados.

Martínez-Reyes (1992). Define como Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato a un conjunto de diversas facies sedimentarias y volcánicas marinas que conforman una secuencia de roca verde. Las facies sedimentarias consisten en caliza de estratificación delgada, lutita, arenisca abundante. Las facies vulcanosedimentarias están representadas por derrames gruesos de lava basáltica, andesítica o dacítica.

Quintero-Legorreta (1992). Define como unidad sedimentaria a un conjunto de pelitas, psamitas y horizontes calcáreos que afloran en la Sierra de Guanajuato.

Ortiz-Hernández *et al.* (2003). Describe como complejo vulcanosedimentario a una secuencia flyshoide que alterna con flujos basálticos y lavas almohadilladas. Estas

presentan un metamorfismo de bajo grado, presencia de prehnita, pumpellita, albita y titanita.

Ruiz-González (2015). Describe algunos afloramientos del Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato como areniscas de color rojo ricas en cuarzo, intercaladas con lutita. También facies volcánicas, formadas de lavas basálticas, todas con metamorfismo en facies de esquistos verdes.

- Descripción de la unidad

Dentro de nuestra zona de estudio a lo largo del sector SW de la Sierra de Guanajuato, se encontraron afloramientos de rocas metavolcánicas, filitas pelíticas de coloración clara y oscura intercaladas y plegadas, pizarras, lutitas, lavas almohadilladas y areniscas de coloración rosada a rojizo, compuesta por feldespatos, algunos líticos y cuarzo, estas areniscas se encuentran intercaladas con un conglomerado. Todos estos afloramientos son parte de lo que conocemos como Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato (Figura 19).



**Figura 19.** Afloramientos del Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato, del frente SW de la SG.

- Contactos con otras unidades

Ruiz-González (2015). Describe el contacto superior del Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato como un abalgamiento donde las rocas de la Piroxenita San Juan de Otates cubren al CVSG.

Dentro de nuestra zona de estudio se pudo observar un contacto por falla normal entre filitas pertenecientes al CVSG y la Ignimbrita Cuatralba. Entre estas dos unidades hay una zona de cizalla de aproximadamente 50 cm de ancho. También se observaron en algunas partes a lo largo del sector SW de la Sierra de Guanajuato, cómo sobre el CVSG descansan discordantemente unidades como el Conglomerado Duarte, Ignimbrita Media Luna y los Basaltos Dos Aguas.

- Edad

Martínez-Reyes (1992). Propone una edad tentativa y la ubica en el Cretácico Temprano, basándose en microfósiles encontrados en las facies sedimentarias y edades obtenidas en las facies volcánicas.

Martini *et al.* (2011). Obtuvo una edad de  $150.7 \pm 0.8$  Ma en diques félsicos y de  $145.4 \pm 1$  Ma en lavas riodacíticas los cuales cubren concordantemente a las rocas del complejo vulcanosedimentario. Estos fechamientos se obtuvieron por el método de U/Pb en zircona.

#### 4.4 Granodiorita Presa Duarte.

- Antecedentes

Alvarado-Méndez y Rodríguez-Trejo (1999). Agrupan a esta unidad como parte de la Granodiorita La Angostura.

Ruiz-González (2015). Denomina como Granodiorita Presa Duarte al cuerpo intrusivo de composición intermedia, de una coloración rosada y amarillo claro cuando está intemperizada. Compuesta por cuarzo, plagioclasa, biotita y minerales opacos. Este intrusivo aflora alrededor de las zonas oeste y norte de la presa Duarte.

- Descripción de la unidad

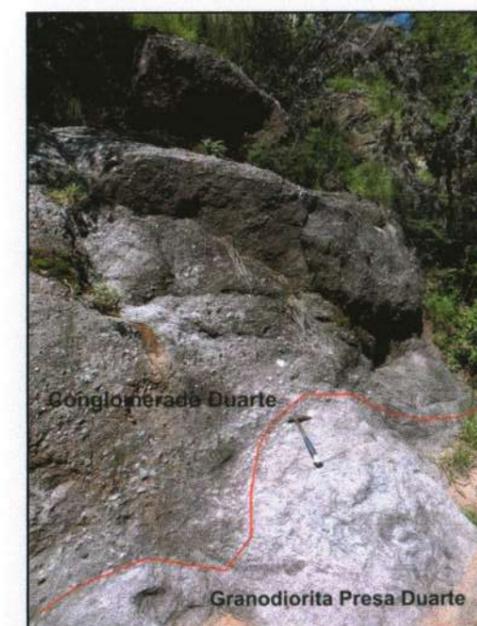
Dentro de nuestra zona de estudio, la unidad Granodiorita Presa Duarte aflora en la parte oeste de la Presa Duarte (Figura 12). Se trata de una roca intrusiva de composición intermedia que se observa de forma masiva y moderadamente intemperizada. Es de coloración clara, con contenido de minerales oscuros y verdes, aunque en algunas partes se observan tonos amarillos debido a intemperismo. En muestra de mano se observa cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíboles (Figura 20).



**Figura 20.** Afloramiento de la Granodiorita Presa Duarte, ubicado en las cercanías de la Presa Duarte.

- Contactos con otras unidades.

En el sector SW de la Sierra de Guanajuato cerca de la Presa Duarte, se pudo observar un contacto discordante entre la Granodiorita Presa Duarte y el Conglomerado Duarte. Este contacto se encuentra ligeramente inclinado hacia el oriente (Figura 21).



**Figura 21.** Contacto discordante entre la Granodiorita Presa Duarte y el Conglomerado Duarte. La Granodiorita se encuentra subyaciendo al Conglomerado.



Figura 22. Afloramiento del Granito Comanja, ubicado en las cercanías de la Presa Duarte.

- Contactos con otras unidades

El granito Comanja se encuentra intrusionando al Complejo vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato. Su contacto superior es discordante con las unidades que lo sobreyacen.

- Edad

Múgica-Mondragón y Jacobo-Albarrán (1983). Propone una edad de  $55 \pm 4$  Ma y  $58 \pm 5$  Ma. Obtenidas por el método de K/Ar en biotita.

Zimmerman *et al.* (1990). También por el método de K/Ar en biotita, dan como resultado una edad de  $53 \pm 3$  Ma y  $51 \pm 1$  Ma.

Botero-Santa (2015). Por el método de U/Pb en zircón obtuvo una edad de 51.7 Ma y por Ar/Ar en biotita el resultado fue una edad de  $53.11 \pm 0.27$  Ma mientras que en el feldespato potásico la edad fue de  $53.63 \pm 0.75$  Ma.

Ruiz-González (2015). Realizo fechamientos para esta unidad por el método de U/Pb en zircón obteniendo una edad de  $51.19 \pm 0.33$  Ma, la cual se interpreta como la edad de cristalización del Granito Comanja.

#### 4.6 Sill félsico.

- Descripción de la unidad

En nuestra zona de estudio, entre la Presa La Laborcita y la Presa Duarte (Figura 12) hay un sill de composición granítica. En el afloramiento, la roca se observa intrusionando capas de Conglomerado Duarte. En muestra de mano, tiene una coloración clara que va de beige a rosado, en algunas partes tiene coloración café, debido a intemperismo. Tiene una textura porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, contiene masas de coloración verde oscuro y clastos líticos, quizá de composición riolítica en tamaños que van de 3 a 7 milímetros. La matriz es afanítica (Figura 23). Este Sill posiblemente está asociado al mismo vulcanismo que dio origen a la Riolita La Laborcita.



Figura 23. Afloramiento de Sill félsico, ubicado entre la Presa Duarte y Presa La Laborcita.

- Contactos con otras unidades

El Sill granítico reportado en este trabajo, se encuentra intrusionando al Conglomerado Duarte (Figura 24).



Figura 24. Sill intrusionando al Conglomerado Duarte.

- Edad

En esta investigación se realizó el fechamiento de la muestra (EA4) por medio del método U/Pb en zircón (LA-ICPMS), obteniendo como resultado una edad de  $52.16 \pm 0.20$  Ma, ubicándola en el Ypresiano Eoceno temprano.

#### 4.7 Riolita La Laborcita.

- Descripción de la unidad

En nuestra zona de estudio, en las cercanías de Presa La Laborcita (Figura 12), se encuentra aflorando una riolita a la cual denominamos en este trabajo como Riolita La Laborcita. En los afloramientos la roca presenta una estructura bandeada de flujo, una coloración rojiza, también presenta algunos tonos en amarillo y naranja debido a intemperismo, en algunas zonas se observaron vetillas rellenas de cuarzo. En muestra de mano se observa una textura que va de afanítica a porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato y plagioclasa en tamaño de 2 a 5 milímetros. La matriz es afanítica, en ella se puede distinguir vidrio (Figura 25). Suponemos, que el vulcanismo que dio origen a la Riolita La Laborcita y el depósito del Conglomerado Duarte estaba ocurriendo al mismo tiempo. Ya que estas dos unidades se encuentran intercaladas y aunado a esto la edad aproximada de depósito del Conglomerado Duarte es contemporánea a la edad de cristalización obtenida en este trabajo por el método de U/Pb en zircón (LA-ICPMS), de esta roca.

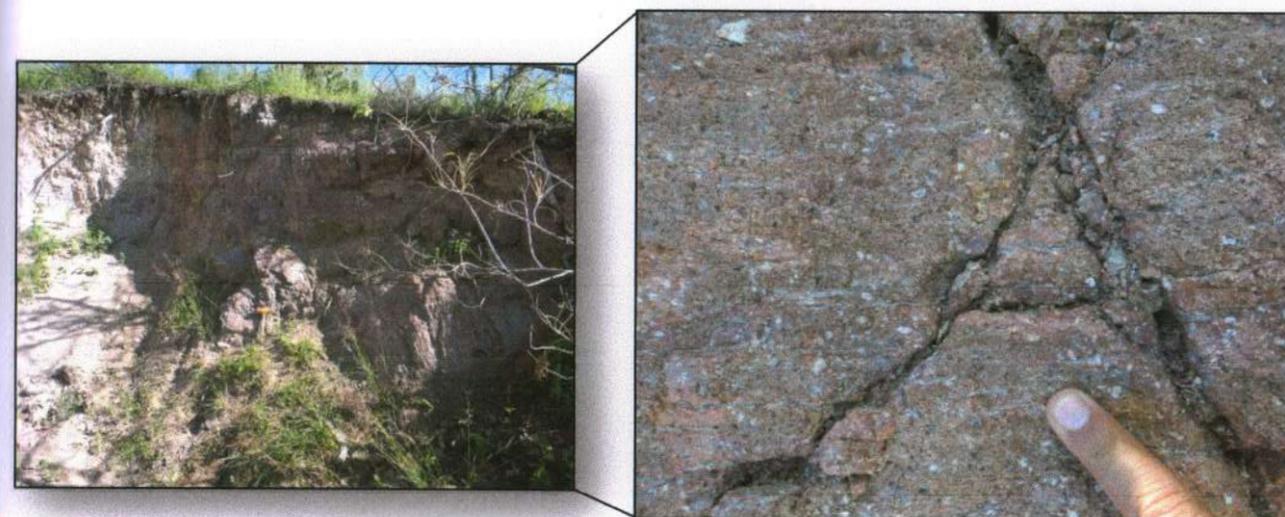


Figura 25. Afloramiento de Riolita La Laborcita, ubicado en las cercanías de la Presa La Laborcita.

- Espesor

En este trabajo se pudo estimar un espesor aproximado de  $> 70\text{m}$ , esta medición se llevó a cabo al realizar una sección al este de la Presa La Laborcita, cerca de la comunidad de Ojo de Agua (Figura 12).

- Contactos con otras unidades

En el sector SW de la Sierra de Guanajuato en una vereda ceca de la Presa La Laborcita, se pudo observar un contacto poco inclinado ( $\text{N}72^{\circ}\text{W}$ ,  $40^{\circ}\text{NE}$ ) entre el Conglomerado Duarte y la Riolita La Laborcita. En este contacto se puede observar cómo el Conglomerado sobreyace a la Riolita (Figura 26).



Figura 26. Contacto entre Riolita La Laborcita y el Conglomerado Duarte.

- Edad

En esta investigación se realizó el fechamiento de la muestra (EAQ 5) por medio del método U/Pb en zircón (LA-ICPMS), obteniendo como resultado una edad de  $51.86 \pm 0.46$  Ma, ubicándola en el Ypresiano Eoceno temprano.

#### 4.8 Ignimbrita Palo Blanco.

- Antecedentes

Martínez-Reyes (1992). Describe a la Ignimbrita Cuatralba como una unidad que agrupa a todas las rocas de naturaleza piroclásticas que cubren extensiones amplias de la Sierra de Guanajuato. Se trata de rocas de composición riolítica, que están presentes en paquetes gruesos, constituidos por horizontes de toba soldada, de color rosáceo y horizontes de toba poco consolidada, de color blanquecino.

Ruiz-González (2015). Denomina como Ignimbrita Palo Blanco a derrames piroclásticos de composición riolítica, de color rosa, dispuestos en capas subhorizontales con espesores de varios metros que aflora en las cercanías del poblado Palo Blanco. Propone esta unidad diferente a la Ignimbrita Cuatralba, dado que la edad es distinta.

- Descripción de la unidad

En nuestra zona de estudio, la Ignimbrita Palo Blanco aflora entre los poblados de San Juan de Otates y Palo Blanco (Figura 12). Se trata de un depósito piroclástico de coloración rosado muy claro, con algunos manchones de color café y naranja debido a intemperismo. En muestra de mano se observa cuarzo, sanidino y plagioclasa (Figura 27).



Figura 27. Afloramiento de Ignimbrita Palo Blanco, ubicado

- Contactos con otras unidades

En nuestra área de estudio se observa el contacto entre el Conglomerado Duarte y la Ignimbrita Palo Blanco. El Conglomerado Duarte sobreyace a la Ignimbrita Palo Blanco (Figura 28).

Ruiz-González (2015). Infiere que el contacto inferior de la Ignimbrita Palo Blanco está en discordancia con el Complejo vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato.



**Figura 28.** Contacto entre Ignimbrita Palo Blanco y el Conglomerado Duarte.

- Edad

Ruiz-González (2015). Realizó fechamientos para esta unidad por el método de U/Pb en zircón obteniendo una edad de  $48.82 \pm 0.97$  Ma.

#### 4.9 Conglomerado Duarte.

- Antecedentes

Martínez-Reyes (1992). Denomina como Conglomerado Duarte a una roca de estratificación masiva, bien consolidada, de color rojo. Está constituida por clastos de naturaleza volcánica, plutónica, sedimentaria o metamórfica, empacados en una matriz arenosa bien cementada. Se encuentra aflorando al N de la población de Duarte.

Miranda-Avilés *et al.* (2009). Describe como Conglomerado Duarte a las rocas sedimentarias ubicadas al oriente de la ciudad de León, y las dividen en dos miembros; inferior y superior, el primero está compuesto por conglomerados 75% intercalados con areniscas 25%, el segundo está constituido por una secuencia de areniscas 75% y lutitas 25%.

Ruiz-González (2015). Describe la base del Conglomerado Duarte como un conglomerado polimítico, color rojizo, con una matriz arenosa y clastos de rocas metamórficas, ígneas y calizas, los clastos van de subangulosos a subredondeados, moderadamente seleccionado.

- Descripción de la unidad

En nuestra zona de estudio, en el frente SW de la Sierra de Guanajuato, se observan grandes afloramientos de Conglomerado Duarte, depositados sobre el bloque del alto de la Falla del Bajío. En esta investigación, dentro del Conglomerado Duarte se pudieron separar 3 conglomerados de diferente edad: 1) El más antiguo se encuentra subyaciendo a la Riolita La Laborcita. Este afloramiento se localiza al W de la Presa La Laborcita (Figura 12), en el cual se observa un conglomerado masivo, polimítico de color rojo oscuro. Tiene clastos de rocas volcánicas verdes, rocas intrusivas y metamórficas que posiblemente pertenezcan al Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato y riolita que van de subangulares a subredondeados, se observan moderadamente seleccionados. Estos clastos se encuentran envueltos en una matriz arenosa (Figura 29).



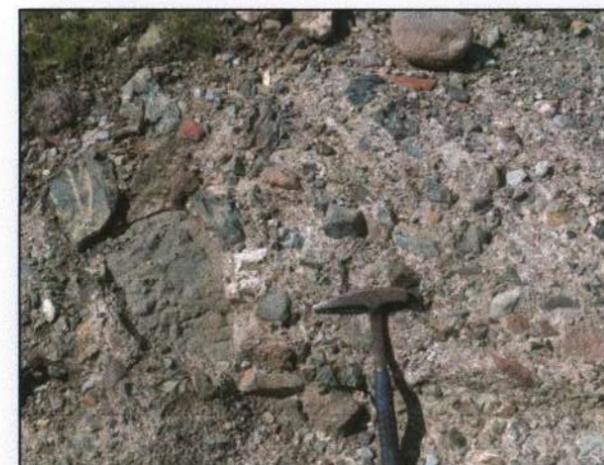
Figura 29. Afloramiento de Conglomerado Duarte, ubicado al W de la Presa La Laborcita.

2) Un segundo conglomerado, contiene clastos del Granito Comanja y se ubica sobreyaciendo a la Ignimbrita Palo Blanco. Este afloramiento se localiza al NW de la Presa Duarte (Figura 12), en el cual se observa un conglomerado estratificado, rojizo e intercalado con material volcánico (Figura 30). Tiene clastos de granito, andesita y riolita en tamaños que van de los 2 a 10 centímetros, son de forma subangular a subredondeados. El contenido de matriz es aproximadamente de 85%.



**Figura 30.** Afloramiento de Conglomerado Duarte, ubicado al NW de la Presa Duarte.

3) Y por último un conglomerado que se encuentra depositado sobre las rocas volcánicas eocénicas y debajo de la Ignimbrita Cuatralba (Figura 31).



**Figura 31.** Afloramiento de Conglomerado Duarte, ubicado al NE de la Presa Duarte. Se observan lastos de composición volcánica y matriz arenosa.

- Espesor

Miranda-Avilés *et al.* (2009). Reportan mediciones realizadas en siete secciones estratigráficas, en San Juan de Otates, Ibarrilla, El Juache, La Laborcita, Arroyo Mastrojo, El Salto y Arroyo Grande. El espesor mínimo medido es de 300 metros y el espesor máximo medido es de 1700 metros.

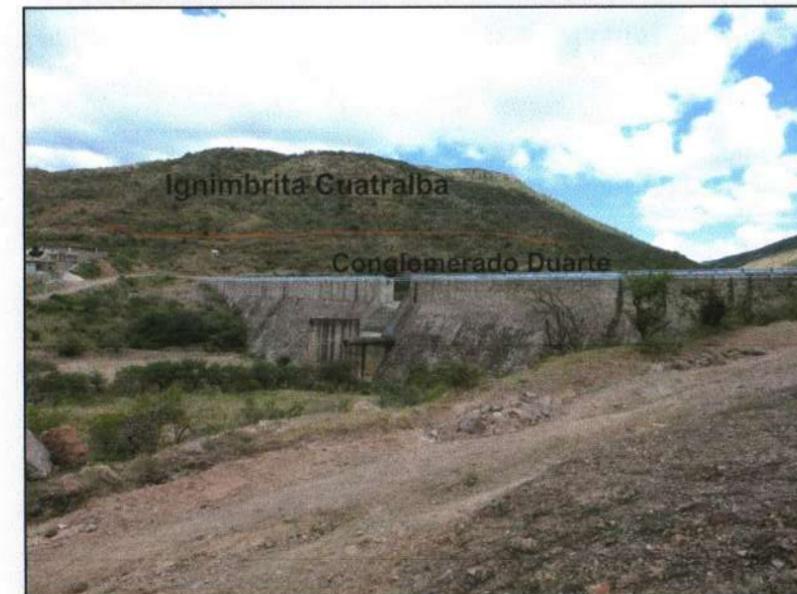
- Contactos con otras unidades

En las cercanías de la Presa Duarte (Figura 11) se observa el contacto entre el Conglomerado Duarte y la Granodiorita Presa Duarte dicho contacto tiene un rumbo de  $S85^{\circ}W$  y un echado de  $39^{\circ}NE$ . Se aprecia como el conglomerado sobryace discordante a la granodiorita.

En otro afloramiento cerca de la Presa La Laborcita (Figura 12) se aprecia un contacto entre la Riolita La Laborcita y el Conglomerado Duarte, en el cual se observa que la riolita subyace al conglomerado. El contacto tiene un rumbo de  $N72^{\circ}W$  y un echado de  $40^{\circ}NE$ .

En las cercanías de la Presa Duarte se puede ver un contacto discordante entre el Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato y el Conglomerado Duarte. Se observa que el conglomerado se encuentra depositado encima del CVSG.

A lo largo del frente SW de la Sierra de Guanajuato se pudo observar el contacto superior discordante del Conglomerado Duarte. Sobre el conglomerado se encuentran depositadas las unidades de Ignimbrita La Media Luna e Ignimbrita Cuatralba (Figura 32).



**Figura 32.** Contacto entre el Conglomerado Duarte y la Ignimbrita Cuatralba.

- Correlación

Martínez-Reyes (1992). Correlaciona al Conglomerado Duarte con el Conglomerado rojo del Distrito Minero de Guanajuato (Conglomerado Guanajuato).

Los dos conglomerados presentan características similares; ambos son de color rojo oscuro y contienen clastos de composición similar (rocas ígneas, metamórficas y granito), con un matriz arenosa. El contacto inferior de los dos, es discordante con el Complejo vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato y su contacto superior es discordante con las unidades eocénicas y oligocénicas.

- Edad

Ruiz-González (2015). Propone una edad de depósito para el Conglomerado Duarte de 48 a 31 Ma, tomando en cuenta las unidades de ignimbritas que se encuentran en los contactos inferior y superior del conglomerado.

En este trabajo proponemos tres edades distintas de depósito del Conglomerado Duarte, esto basándonos en los contactos de este conglomerados con distintas unidades a lo largo del frente SW de la Sierra de Guanajuato. El conglomerado más antiguo yace bajo la Riolita La Laborcita de  $51.86 \pm 0.46$  Ma, un segundo conglomerado, contiene clastos del Granito Comanja de  $51.19 \pm 0.33$  Ma y sobreyace a la Ignimbrita Palo Blanco de  $48.82 \pm 0.97$  Ma y por último, un conglomerado de edad oligocénica, depositado sobre las rocas volcánicas eocénicas y debajo de la Ignimbrita Cuatralba de  $31.16 \pm 0.30$  Ma. De esta manera, la edad de depósito de este conglomerado se ubica aproximadamente entre ca. 52 y 31 Ma, ubicándolo del Ypresiano (Eoceno temprano) al Rupeliano (Oligoceno temprano).

#### 4.10 Ignimbrita Cuatralba.

- Antecedentes

Martínez-Reyes (1992). Propone el nombre de Ignimbrita Cuatralba para agrupar a toda las rocas piroclásticas que cubren extensiones amplias de la Sierra de Guanajuato. Las describe como rocas de composición riolítica, que están presentes en paquetes gruesos, de toba soldada, consolidada, de color rosáceo y toba poco consolidada de color blanquecino.

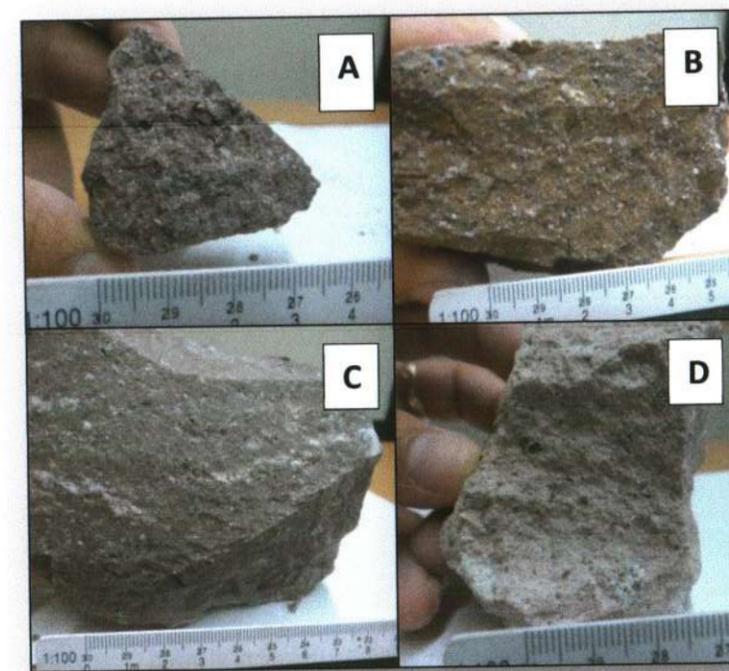
Quintero-Legorreta (1992). Describe a la Ignimbrita Cuatralba como un depósito piroclástico moderadamente consolidado, con fenocristales de feldespato potásico y cuarzo y estructuras tipo fiamme.

Botero-Santa (2011). Describe a esta unidad como un conjunto de depósitos y rocas de origen volcánico, que varían entre ignimbritas y riolitas, con fuerte grado de consolidación y estructuras centimétricas tipo fiammes.

Ruiz-González (2015). Denomina como Ignimbrita Cuatralba a una serie de depósitos piroclásticos, con diferentes grados de consolidación y derrames de composición riolítica, que afloran en la parte central y noreste de la Sierra de Guanajuato.

- Descripción de la unidad

En nuestra zona de estudio, la Ignimbrita Cuatralba aflora a lo largo del frente SW de la Sierra de Guanajuato. Se trata de un depósito piroclástico de coloración rosa fuerte a rojizo y en algunas zonas blanquecino, con escasa presencia de fiammes y se encuentra ligeramente intemperizada. Tiene textura porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato, plagioclasa y contiene clastos líticos en tamaños que van de 1 a 3 milímetros. La matriz es afanítica, donde se puede distinguir vidrio. Se presenta en diferentes grados de consolidación (Figura 33).



**Figura 33.** A) Muestra de Ignimbrita Cuatralba tomada de Mesa de Los Vargas. B) Muestra tomada en las cercanías de la comunidad de Saúz Seco. C) Muestra tomada cerca de la Presa La Laborcita. D) Muestra tomada en Mesa de Ibarilla.

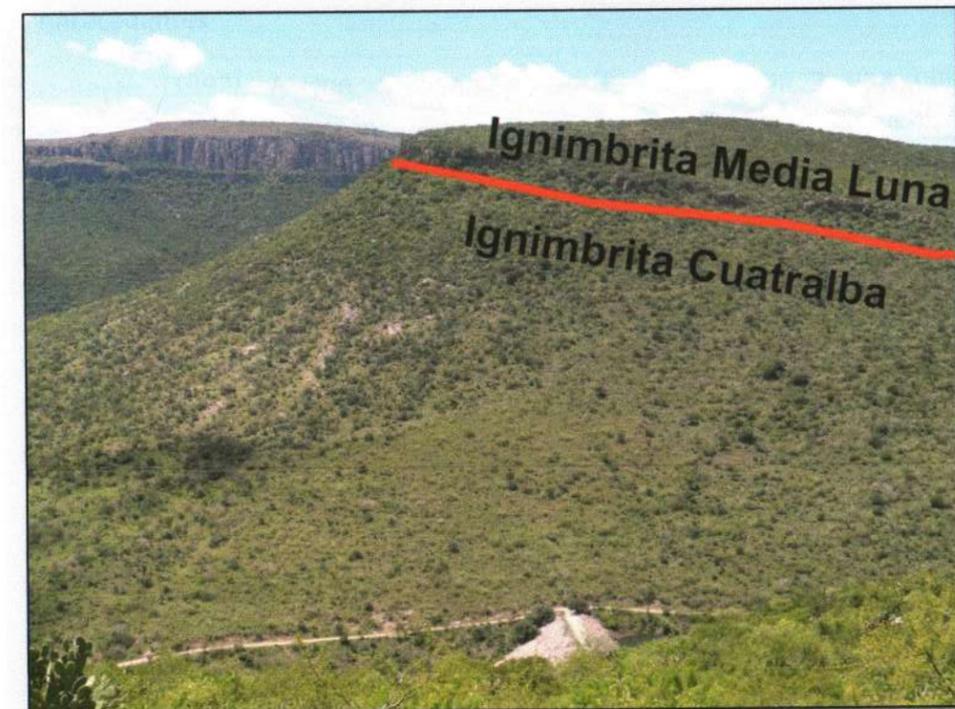
- Espesor

En este trabajo se pudo estimar un espesor aproximado de 155 m, esta medición se llevó a cabo al realizar una sección al norte de la Presa Alfaro (Figura 12).

- Contactos con otras unidades

A lo largo del frente SW de la Sierra de Guanajuato se observó el contacto por falla de la Ignimbrita Cuatralba con el Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato y el contacto inferior por discordancia angular con el Conglomerado Duarte. El contacto superior es una discordancia angular entre esta unidad con la Ignimbrita Media Luna y el Basaltos Dos Aguas.

Ruiz-González (2015). Reporta que el contacto superior entre la Ignimbrita Cuatralba con la Andesita Bernalejo es concordante (Figura 34).



**Figura 34.** Contacto entre la Ignimbrita Cuatralba y la Igimbrita Media Luna.

- Correlación

Aranda-Gómez et al., 2003, considera a la Ignimbrita Cuatralba parte de la fase de máxima actividad de la Sierra Madre Occidental.

- Edad

En esta investigación se realizaron fechamientos de varias muestras (EA 9, EA11, EA7, EA141) por medio del método U/Pb en zircón (LA-ICPMS), obteniendo como resultados edades de  $31.16 \pm 0.30$  Ma,  $31.51 \pm 0.29$  Ma,  $31.56 \pm 0.25$  Ma y  $31.20 \pm 0.23$  Ma, ubicándolas en el Rupeliano (Oligoceno temprano).

#### 4.11 Basalto Dos Aguas.

- Antecedentes

Martínez-Reyes (1992). Asigno el nombre Basalto Dos Aguas a una unidad que corresponde a la estructura volcánica que se encuentra al NW de la ciudad de León (Figura 12). La describe como derrames de basalto de olivino con augita, acompañados de otros productos volcánicos de la misma composición.

Botero-Santa (2011). Describe a esta unidad como derrames basálticos, que en el sector NE de la Sierra de Guanajuato se encuentra intercalado con un depósito de color rojizo mal seleccionado, con fragmentos vesiculados de basalto que varían de 2 a 50 cm de diámetro, que ocasionalmente se ve estratificado y es interpretado como un depósito de escoria a la ocurrencia de conos cineríticos.

- Descripción de la unidad

En nuestra zona de estudio, el Basalto Dos Aguas aflora a lo largo del frente SW de la Sierra de Guanajuato, específicamente en la Mesa de Medina, Mesa de Los Vargas y Cerro El Timbal (Figura 12). Se trata de derrames basálticos de coloración que va de negro a gris oscuro, que se observó de forma masiva y ocasionalmente estratificado. En muestra de mano se observaron algunas vetillas blancas, óxidos en tonos café y naranja. Tiene textura afanítica (Figura 35). Al microscopio se observaron escasos fenocristales de olivino en una proporción menor al 5% de forma subidiomorfa, con fracturas irregulares que presentan una ligera alteración.



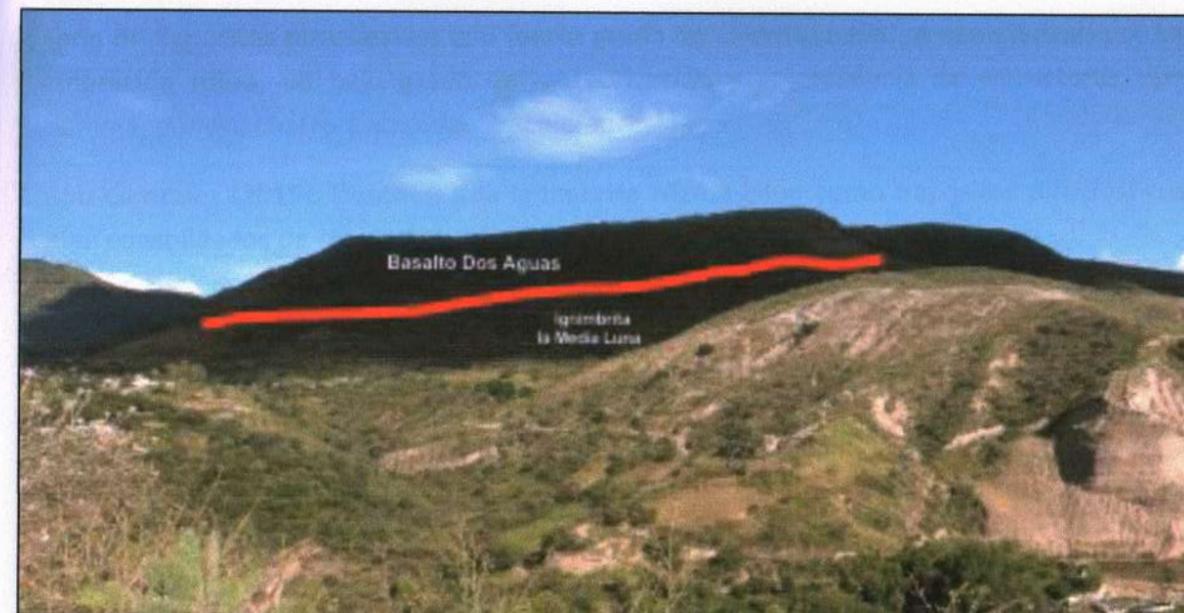
**Figura 35.** Afloramiento de Basalto Dos Aguas, ubicado en el Cerro El Timbal.

- Espesor

En este trabajo se pudo estimar un espesor aproximado de 175 m, esta medición se llevó a cabo al realizar una sección cerca de la comunidad de El Sauz Seco (Figura 12).

- Contactos con otras unidades

En el sector SW de la Sierra de Guanajuato, se pudo observar en La Mesa de Medina y en las comunidades de La Virgen y Sauz Seco (Figura 12), el contacto discordante entre la Ignimbrita Cuatralba y el Basalto Dos Aguas. Mientras que en Mesa de Los Vargas (Figura 12) se observa al Basalto Dos Aguas sobreyaciendo a la Ignimbrita Media Luna (Figura 35).



**Figura 35.** Contacto entre Ignimbrita La Media Luna y el Basalto Dos Aguas.

- Edad

Martínez-Reyes (1992). Le asigna una edad tentativa pliocénica.

Por su posición estratigráfica sobre la Ignimbrita La Media Luna de  $23.39 \pm 0.14$  Ma, se le asigna al Basalto Dos Aguas una edad aproximada del Mioceno temprano.

#### 4.12 Ignimbrita Media Luna.

- Antecedentes

Martínez-Reyes (1992). Agrupa a esta unidad en el paquete de depósitos piroclásticos de la Ignimbrita Cuatralba que afloran en la Sierra de Guanajuato.

Botero-Santa *et al.* 2015. Reporta por primera vez a esta unidad. La describe como, una serie de depósitos piroclásticos con fuerte grado de consolidación, se caracterizan por su coloración rojiza, un bajo grado de meteorización y la presencia de estructuras tipo fiamme, pómez, cuarzo y abundante sanidino.

Ruiz-González (2015). Describe a la Ignimbrita Media Luna como depósitos piroclásticos bien consolidados de coloración rojiza, presentan cristales de sanidino y cuarzo.

- Descripción de la unidad

En nuestra zona de estudio, la Ignimbrita Media Luna aflora a lo largo del frente SW de la Sierra de Guanajuato, específicamente en la Mesa de Ibarra, Mesa de Los Reyes y Mesa de Los Vargas (Figura 12). Se trata de depósitos piroclásticos de coloración que va de rosada a rojiza, se presenta de forma masiva y con bajo grado de intemperismo. Se observan óxidos, estructuras de fiammes quizá rellenas de cuarzo y pómez aplastada color beige. Tiene textura porfídica con fenocristales de cuarzo, abundante sanidino y plagioclasa en tamaños que van de 0.5 a 1.5 centímetros. La matriz es afanítica, donde se puede distinguir vidrio (Figura 36).



Figura 36. Afloramiento de Ignimbrita Media Luna, ubicado en las cercanías de la Presa La Laborcita.

- Espesor

En este trabajo se pudo estimar un espesor aproximado de 100 m, esta medición se llevó a cabo al realizar una sección cerca de la comunidad San Juan de Otates hacia Mesa de Los Vargas (Figura 12).

- Contacto con otras unidades

En el sector SW de la Sierra de Guanajuato, se pudo observar los contactos inferiores de esta unidad, uno en discordancia angular con la Ignimbrita Cuatralba y el otro en contacto por falla con el Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato. Mientras que en el contacto superior se observó un suelo, sin presencia de una discordancia angular con el Basalto dos Aguas.

- Edad

En esta investigación se realizaron dos fechamientos en las muestras (EA 6 y EA 152), por el método U/Pb en zircón (LA-ICPMS), obteniendo como resultados edades de  $23.96 \pm 0.20$  Ma y  $23.86 \pm 0.17$  Ma ubicándola al final del Oligoceno.

### 5. Fechamientos isotópicos

- 5.1 Fundamentación teórica.

Isótopo: Átomos del mismo elemento (igual número atómico) que tiene diferente masa. Existen dos tipos de isótopos: estables e inestables. Los isótopos inestables se desintegran, decaen, emitiendo partículas o radiación.

Método de fechamientos U/Pb: Dentro de los cinco elementos (Rb, Sr, Pb, Th, U) más empleados en fechamientos de materiales terrestres se encuentran: U (isótopos inestables 235 y 238), Th (isótopo inestable 232) y Pb (isótopos estables 206, 207, 208).

Como par isotópico se encuentra el U - Pb.

La técnica para fechamientos isotópicos por el método de U/Pb está basada en el decaimiento radiactivo de los isótopos padre de uranio (U) 328, 235, 234 a isótopos hijo de plomo (Pb) 206, 207, 208 (Figura 37). Esos decaimientos provienen de una serie de reacciones complejas que involucran (U) y (Th) (Figura 38).

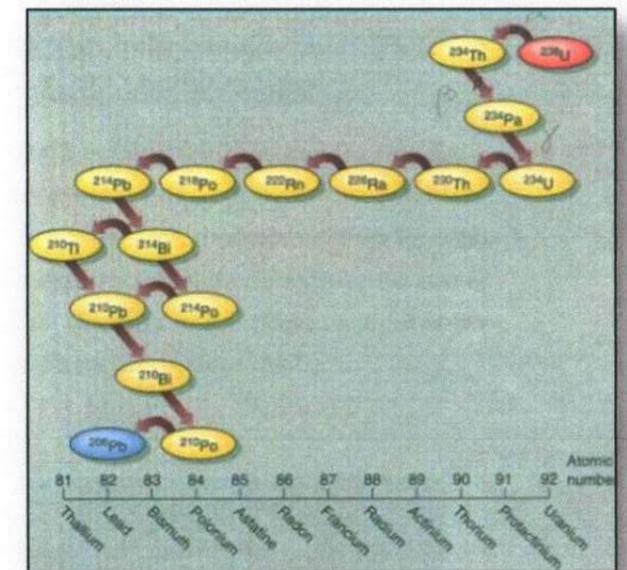


Figura 37. Esquema de decaimiento isotópico de <sup>238</sup>U a <sup>206</sup>Pb.

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

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

Figura 38. Ecuaciones para las dos cadenas de decaimiento de U. Explicación: P indica la abundancia ahora, i la abundancia inicial de cada isótopo. La división entre <sup>204</sup>Pb, es con el fin de tener relaciones isotópicas y no abundancias absolutas.

Donde por cada isótopo padre, aparece un isótopo hijo. Así se puede determinar cuánto tiempo ha transcurrido a partir de la relación entre ambos isótopos.

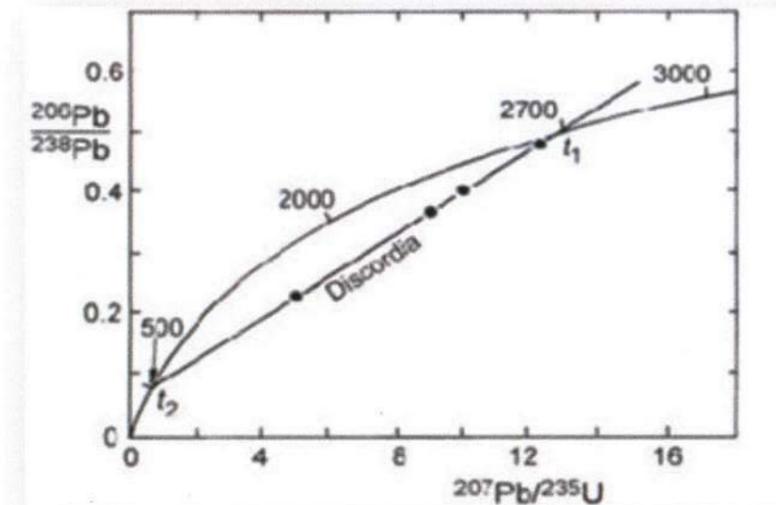
Para calcular una edad isotópica es necesario conocer cuántos isótopos padre decaen por unidad de tiempo ( $\lambda$ ) y cuántos isótopos hijo ya había al iniciar el conteo. Todo esto se lleva a cabo en un sistema cerrado (Figura 39).

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{Y_{\text{hoy}} - Y_{\text{inicial}}}{X_{\text{hoy}}} + 1 \right]$$

**Figura 39.** Ecuación para calcular una edad isotópica. Explicación:  $t$ = edad en años,  $\lambda$ =constante de decaimiento radioactivo,  $Y$ =relación isotópica de los isótopos hijos,  $X$ =relación isotópica de los padres

La vida media para  $U^{238}/Pb^{206}$  es de 4500 millones de años, mientras que para  $^{235}U/^{207}Pb$  es de 704 millones de años.

Al elaborar un diagrama de concordia (Figura 38) (Wetherhill, 1956), se genera una línea de concordia, donde los puntos en la curva proporcionan una edad concordante. Mientras que si ocurre pérdida de plomo en la muestra tendrá lugar una discrepancia en la edad conocida como discordancia. La edad de la concordia está relacionada directamente con el decaimiento radioactivo. Si una serie de muestras de circón ha perdido diferentes cantidades de plomo, las muestras generan una línea discordante (Figura 40).



Para que el método de U/Pb se pueda llevar a cabo es necesario contar con un mineral que **Figura 40.** Diagrama de concordia (Wetherhill, 1956). Explicación:  $t_1$  evento de cristalización o edad de herencia,  $t_2$  edad del evento que abrió el sistema y por lo tanto la pérdida de Pb (Faure & Mesing, 2005).

hijo (Pb) y tener una estructura cristalina fuerte y poco sensible a disolución, alteración, etc.

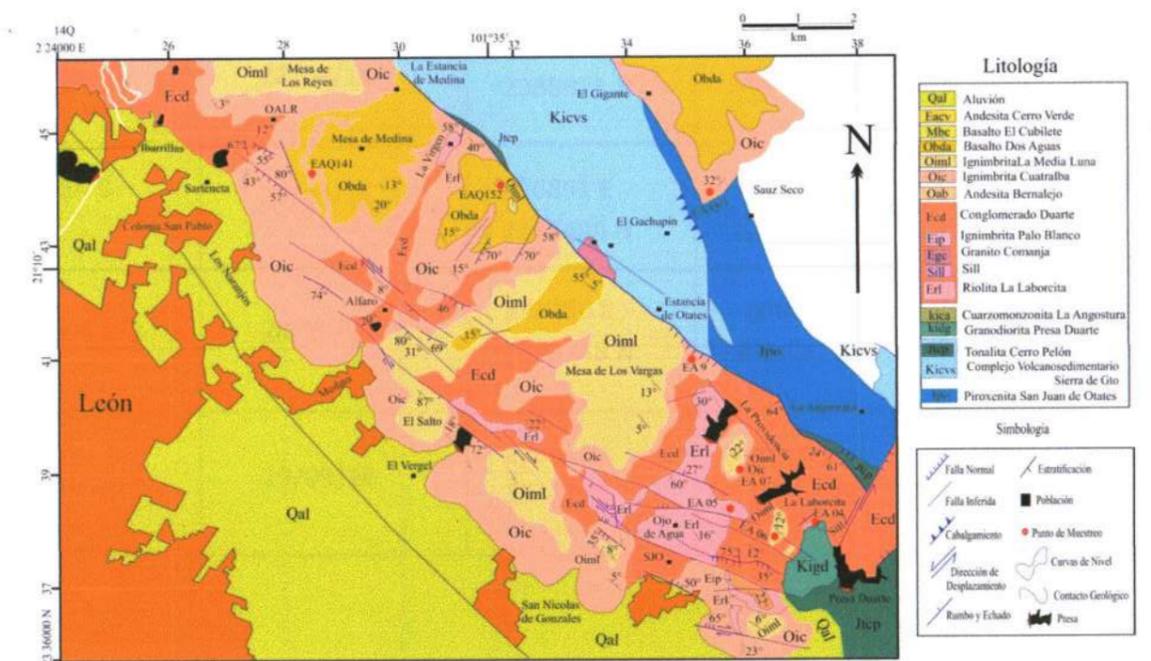
Zircón: Mineral con alto contenido de U (generalmente >100ppm). Estructura cristalina compacta. No contiene Pb inicial. Su  $T_c$  para el sistema U-Pb ~ 800°C (cristalizan la mayoría de los magmas). Alta resistencia mecánica (dureza 7) y química (silicato muy resistente, se disuelve en una mezcla de HF + HNO<sub>3</sub> concentrado).

#### • 5.2 Resultados.

En nuestro trabajo de campo se pudieron estimar algunas edades relativas de las litologías observadas, mediante la posición estratigráfica en la que se encontraron y trabajos anteriores en los cuales se hacía mención de estas unidades. Sin embargo se consideró necesario hacer estudios isotópicos por el método de U/Pb en zircón mediante Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS), para obtener con mayor certeza la edad de cristalización de las rocas analizadas.

Estos fechamientos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI) del Centro de Geociencias de la UNAM, campus Juriquilla.

Con el propósito de saber su edad de cristalización se analizaron un total de ocho muestras de tomadas en el área de estudio (Figura 41 y tabla 1).



OALR: Ojo de Agua de Los Reyes. SJO: San Juan de Otates.

Figura 41. Mapa geológico en el que se indican los lugares donde se recolectaron las muestras.

Tabla 1. Muestras fechadas

| Muestra | Fecha de recolección | Coordenadas UTM       | Unidad estratigráfica    | Método de fechamiento        |
|---------|----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|
| EA0 4   | 26/08/14             | 237446 E<br>2337334 N | Sill                     | U/Pb en zircón<br>(LA-ICPMS) |
| EA0 5   | 27/08/14             | 236279 E<br>2337748 N | Rolita<br>La Laborcita   | U/Pb en zircón<br>(LA-ICPMS) |
| EA 9    | 28/08/14             | 235378 E<br>2340372 N | Ignimbrita<br>Cuatralba  | U/Pb en zircón<br>(LA-ICPMS) |
| EA 11   | 30/08/14             | 235837 E<br>2343430 N | Ignimbrita<br>Cuatralba  | U/Pb en zircón<br>(LA-ICPMS) |
| EA 7    | 28/08/14             | 236188 E<br>2338375 N | Ignimbrita<br>Cuatralba  | U/Pb en zircón<br>(LA-ICPMS) |
| EA 6    | 27/08/14             | 236891 E<br>2337489 N | Ignimbrita<br>Media Luna | U/Pb en zircón<br>(LA-ICPMS) |
| EA 152  | 28/10/14             | 231786 E<br>2343748 N | Ignimbrita<br>Media Luna | U/Pb en zircón<br>(LA-ICPMS) |
| EA 141  | 29/09/14             | 228221 E<br>2344195 N | Ignimbrita<br>Cuatralba  | U/Pb en zircón<br>(LA-ICPMS) |

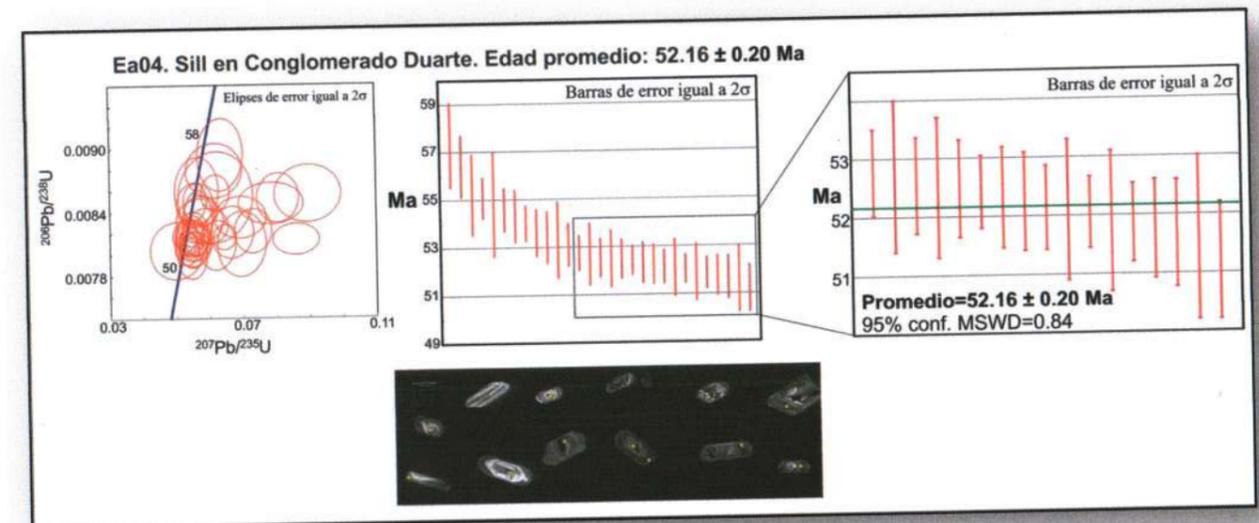
### • 5.3 Sill de composición granítica

Esta muestra (EA0 4) fue tomada cerca de la Presa Duarte. Se analizaron un total de 41 zircones de los 63 montados en la probeta (Figura 42). Algunos zircones son alargados y otros cortos, subédricos y euédricos, algunos presentan un brillo muy intenso.

La edad de cristalización promedio que se obtuvo por  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fue de  $52.16 \pm 0.20$  Ma, obtenida de 17 zircones concordantes considerados los más jóvenes, con una confiabilidad estadística del 95% (Figura 43).



**Figura 42** Zircones de la muestra EA0 4. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plan y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

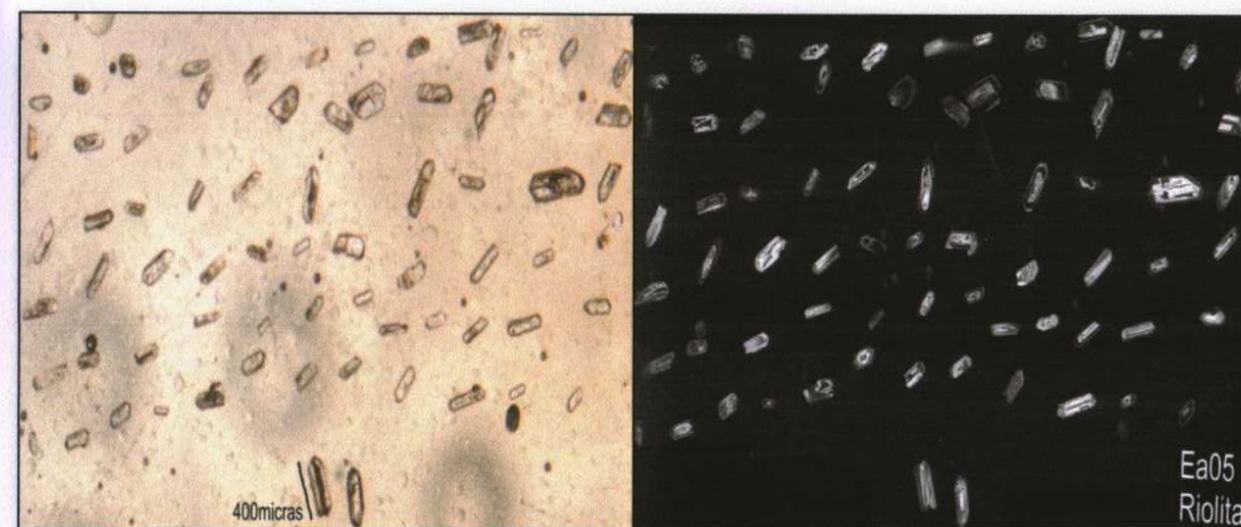


**Figura 43.** De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircones donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

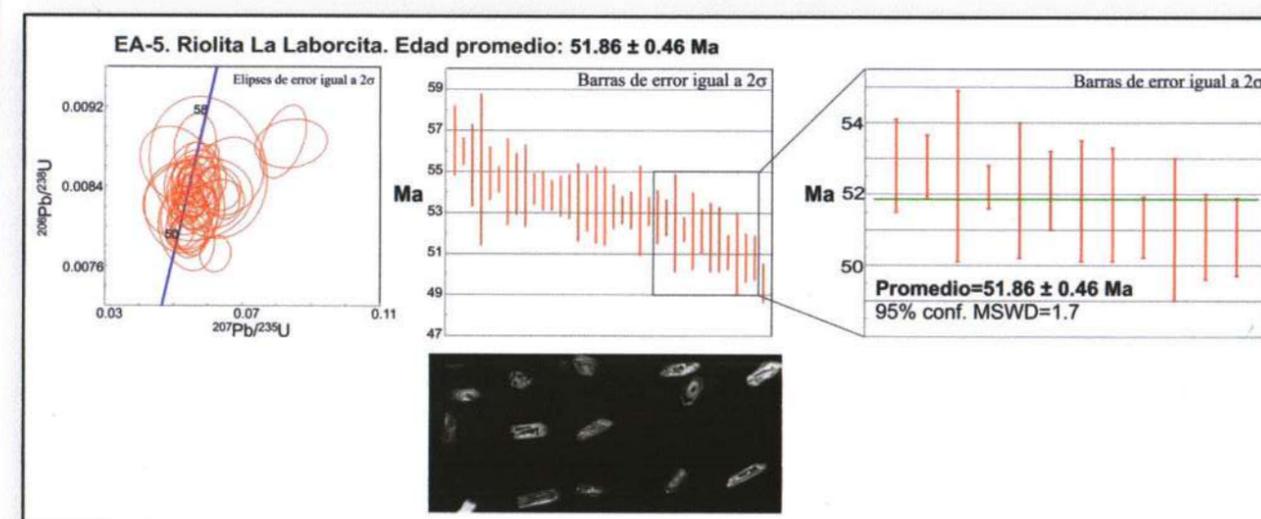
#### • 5.4 Riolita La Laborcita

Esta muestra (EA0 5) fue tomada cerca de la Presa La Laborcita. Se analizaron un total de 40 zircons de los 70 montados en la probeta (Figura 44). Algunos zircons son alargados y delgados, mientras que otros son cortos y anchos, subédricos y euédricos, algunos presentan un brillo muy intenso.

La edad de cristalización promedio que se obtuvo por  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fue de  $51.86 \pm 0.46$  Ma, obtenida de 12 zircons concordantes considerados los más jóvenes, con una confiabilidad estadística del 95% (Figura 45).



**Figura 44.** Zircons de la muestra EAQ 5. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plan y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.



**Figura 45.** De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircons donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

### 5.5 Ignimbrita Cuatralba

Esta muestra (EA 9) fue tomada en la Mesa de Los Vargas, debajo de la Ignimbrita Media Luna. Se analizaron un total de 38 zircones de los 57 montados en la probeta (Figura 46). Los zircones son cortos y anchos, subédricos y euédricos, la mayoría son opacos y algunos están corroídos.

La edad de cristalización promedio que se obtuvo por  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fue de  $31.16 \pm 0.30$  Ma, obtenida de 13 zircones concordantes considerados los más jóvenes, con una confiabilidad estadística del 95% (Figura 47).

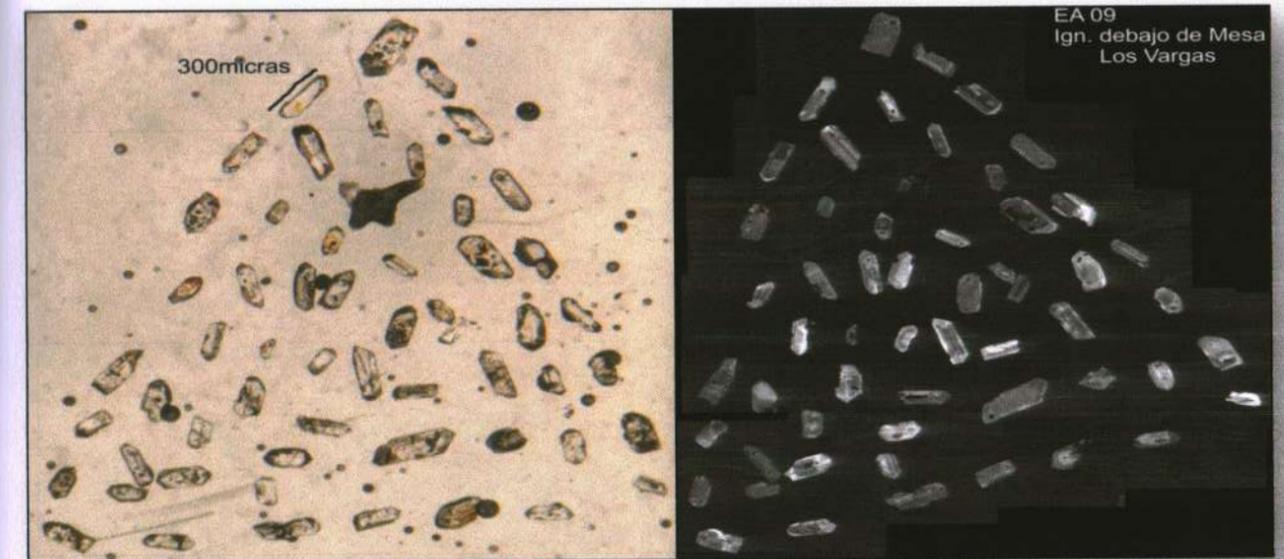


Figura 46. Zircones de la muestra EAQ 5. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz planay objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

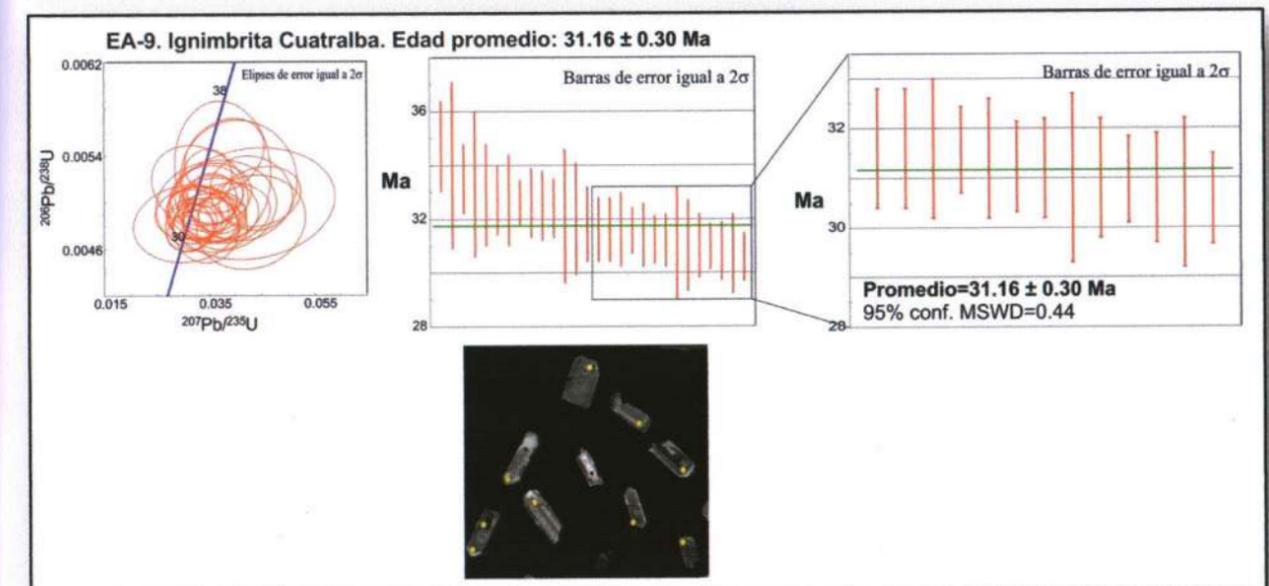
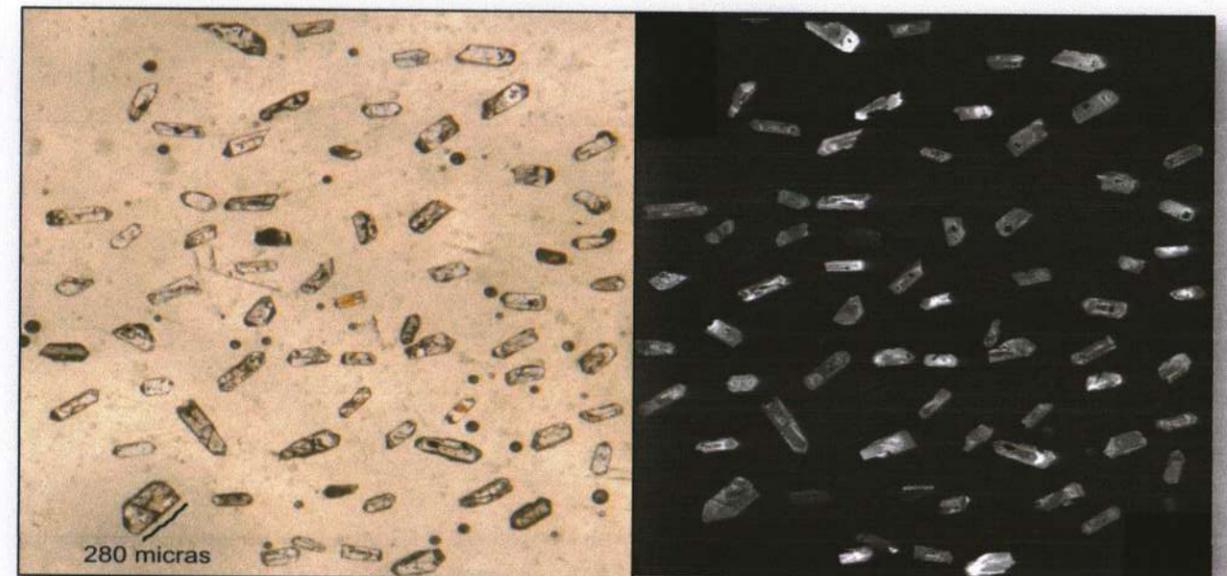


Figura 47. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircones donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos

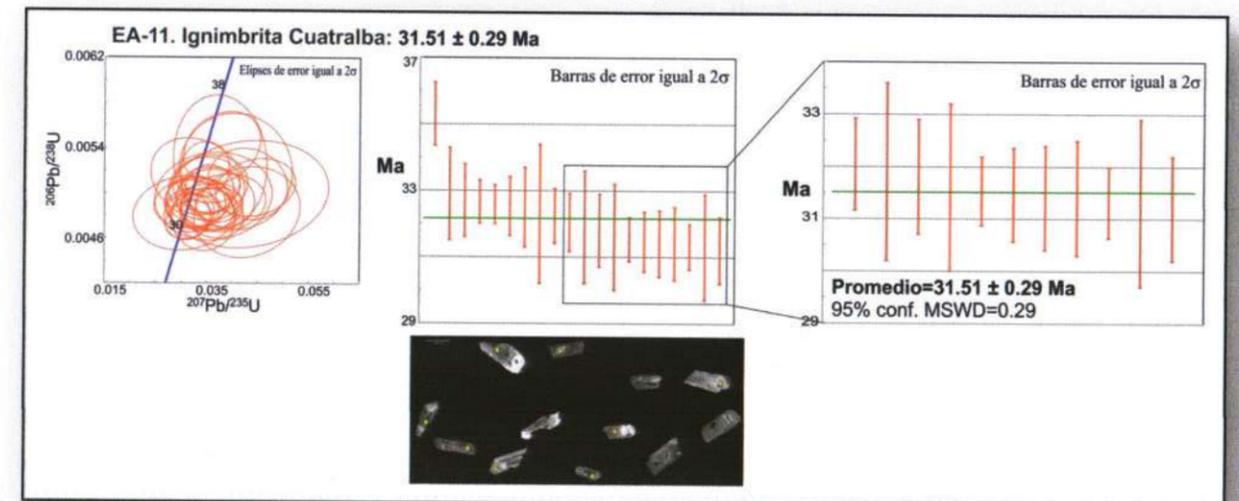
### • 5.6 Ignimbrita Cuatralba

Esta muestra (EA 11) fue tomada cerca del Sauz Seco, debajo de Basaltos Dos Aguas. Se analizaron un total de 35 zircones de los 64 montados en la probeta (Figura 48). En su mayoría los zircones son cortos y anchos pero hay algunos alargados y delgados, subédricos y euédricos, la mayoría son opacos.

La edad de cristalización promedio que se obtuvo por  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fue de  $31.51 \pm 0.29 \text{ Ma}$ , obtenida de 11 zircones concordantes considerados los más jóvenes, con una confiabilidad estadística del 95% (Figura 49).



**Figura 48.** Zircones de la muestra EAQ 5. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

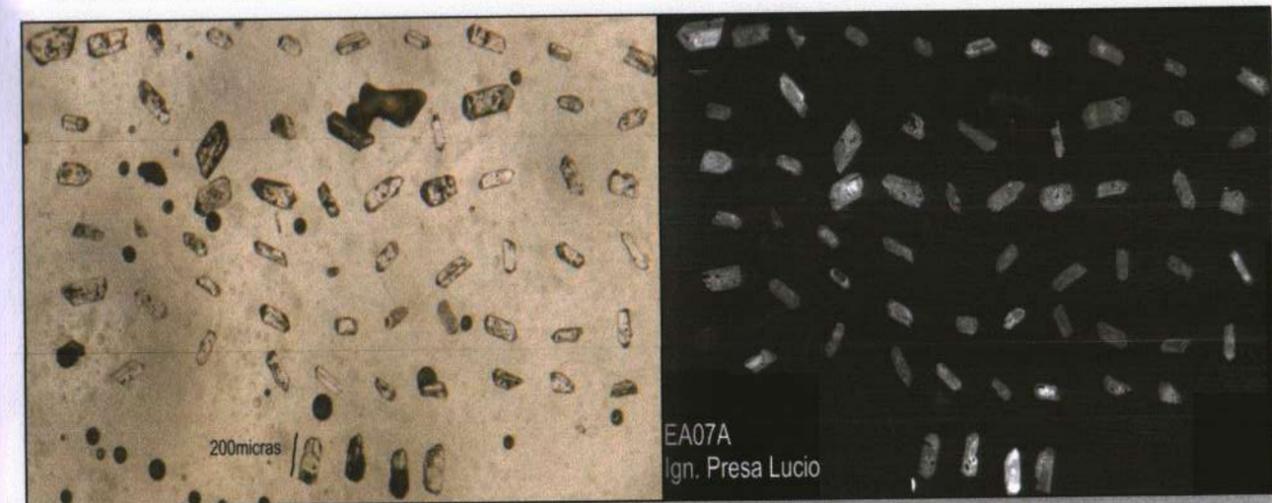


**Figura 49.** De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircones donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la radiación.

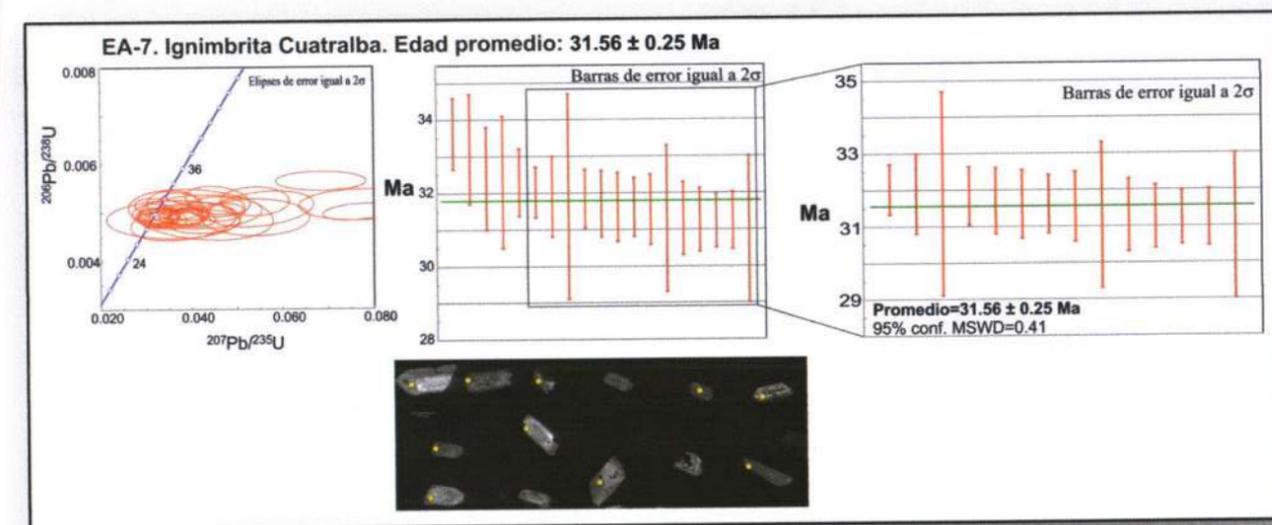
### • 5.7 Ignimbrita Cuatralba

Esta muestra (EA 7) fue tomada cerca de La Providencia, debajo de la Ignimbrita Media Luna. Se analizaron un total de 40 zircones de los 60 montados en la probeta (Figura 50). Los zircones son cortos y anchos, subédricos y euédricos, la mayoría son opacos y algunos están corroídos.

La edad de cristalización promedio que se obtuvo por  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fue de  $31.56 \pm 0.25$  Ma, obtenida de 14 zircones concordantes considerados los más jóvenes, con una confiabilidad estadística del 95% (Figura 51).



**Figura 50.** Zircones de la muestra EA 7. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.



**Figura 51.** De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircones donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

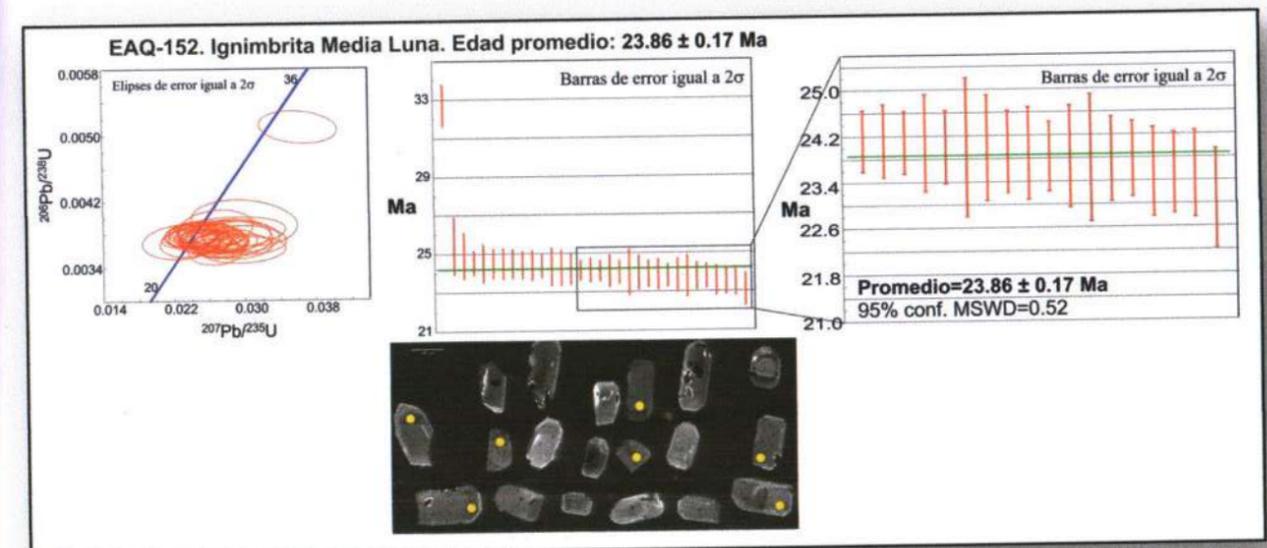
### • 5.8 Ignimbrita Media Luna

Esta muestra (EA 152) fue tomada cerca de La Patricia, al este de la Presa Alfaro. Se analizaron un total de 35 zircons de los 53 montados en la probeta (Figura 52). Los zircons son cortos y anchos, subédricos, algunos son subangulares y subredondeados.

La edad de cristalización promedio que se obtuvo por  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fue de  $23.86 \pm 0.17$  Ma, obtenida de 18 zircons concordantes considerados los más jóvenes, con una confiabilidad estadística del 95% (Figura 53).



**Figura 52.** Zircons de la muestra EA 152. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

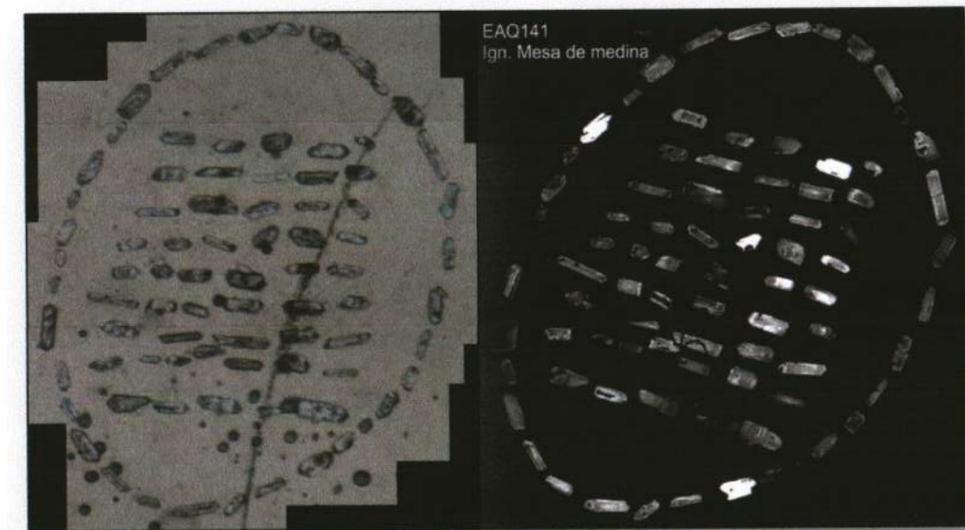


**Figura 53.** De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircons donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

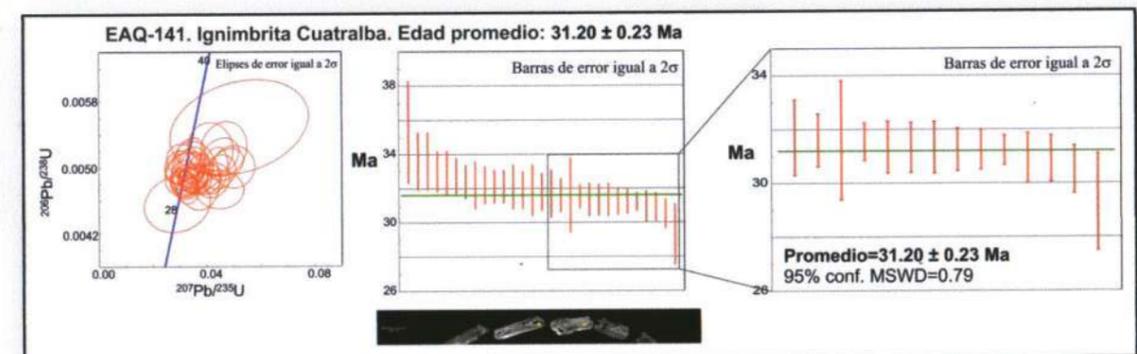
### • 5.9 Ignimbrita Cuatralba

Esta muestra (EA 141) fue tomada en la Mesa de Medina, intercalada con los Basaltos Dos Aguas. Se analizaron un total de 34 zircones de los 70 montados en la probeta (Figura 54). Algunos zircones son cortos y anchos, mientras que otros son alargados y delgados, subédricos y euédricos, algunos son subangulares.

La edad de cristalización promedio que se obtuvo por  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fue de  $31.20 \pm 0.23 \text{ Ma}$ , obtenida de 14 zircones concordantes considerados los más jóvenes, con una confiabilidad estadística del 95% (Figura 55).



**Figura 54.** Zircones de la muestra EA 141. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.



**Figura 55.** De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircones donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la ablación láser.

### • 5.10 Ignimbrita La Media Luna

Esta muestra (EA 06) fue tomada encima de la Ignimbrita Palo Blanco, intercalada con el Conglomerado Duarte. Se analizaron un total de 34 zircons de los 71 montados en la probeta (Figura 56). Algunos zircons son cortos y anchos, subédricos y euédricos, algunos son subangulares.

La edad de cristalización promedio que se obtuvo por  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fue de  $23.96 \pm 0.20$  Ma, obtenida de 15 zircons concordantes considerados los más jóvenes, con una confiabilidad estadística del 95% (Figura 57).



Figura 56. Zircons de la muestra EA 141. La fotografía de la izquierda fue tomada con un microscopio petrográfico con luz plana y objetivo 5x. A la derecha la imagen de catodoluminiscencia.

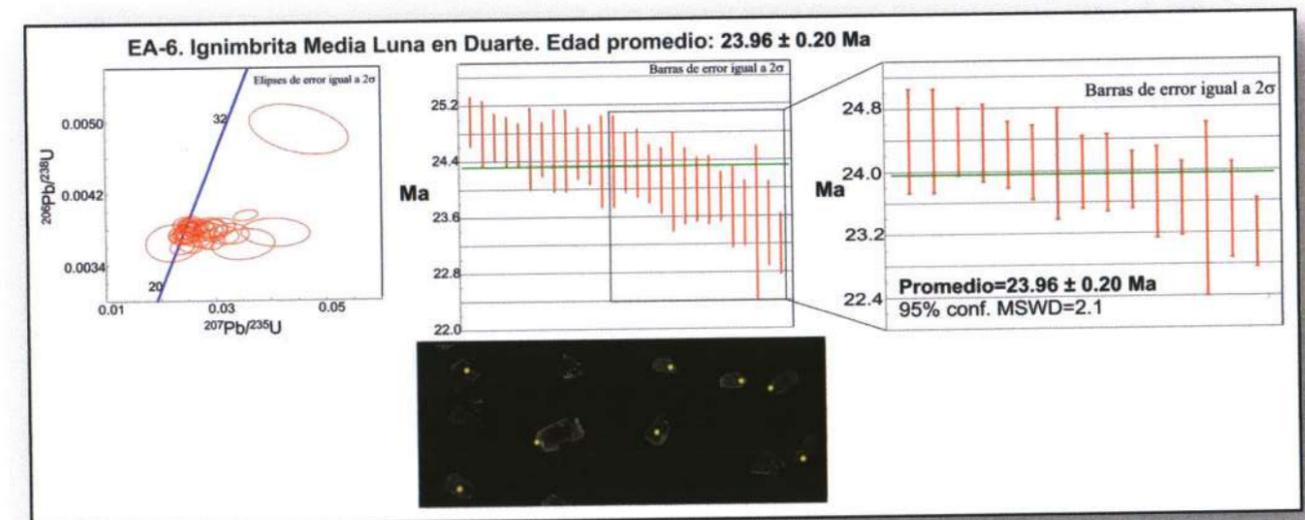


Figura 57. De izquierda a derecha: diagrama de Tera-Wasserburg, diagramas de edad media ponderada. Abajo imagen de catodoluminiscencia de algunos zircons donde se indican con punto amarillo los cráteres producidos por la

## 6. Geología estructural

Dentro de nuestra área de estudio se pudieron identificar tres sectores: 1) Sector Ibarillas. 2) Sector Alfaro – El Salto. 3) Sector Duarte – San Juan de Otates.

- **6.1 Grupo de fallas del Sector Ibarillas**

Al noreste del municipio de León, entre las comunidades de Ibarillas, la Sarteneta y Ojo de Agua de Los Reyes (Figura 12), en el mapa estructural (Figura 58) se puede identificar con claridad un conjunto de fallas de tipo normal de rumbo NW-SE y echados al SW. La longitud de estas fallas va de aproximadamente 150 metros hasta aproximadamente 600 metros. Estas estructuras afectan al Conglomerado Duarte, y la Ignimbrita Cuatralba. Una de esas fallas, de rumbo NW-SE con echado de 80° al SW, es el contacto entre la Ignimbrita Cuatralba y el Basalto Dos Aguas, suponemos que esa falla se extiende algunos kilómetros hacia el SE como se indica en el mapa con línea intermitente. En la proyección estereográfica de la (Figura 59) se observan estructuras con rumbos NW pero echados al NE las cuales corresponden a fallas antitéticas a las estructuras principales que son las que aparecen en el mapa de la (Figura 58). Adicionalmente se midieron fallas de rumbo NE-SW con echados al NW y SE (Figura 59), que solo se observaron a nivel de afloramiento.

- **6.2 Grupo de fallas del Sector Alfaro – El Salto**

Al este del municipio de León, entre las comunidades de Alfaro y El Salto (Figura 12), se identificó un grupo de fallas de tipo normal y oblicuo, el cual consta de un gran número de segmentos enlazados y fallas individuales que van de unos pocos metros hasta casi 1.5 km de longitud, con dos orientaciones preferenciales: N65°-55°W/5°-25°SW y N60°-50°W/20°-35°NE. También se observaron fallas con orientación NE-SW y echados al SE. Todas estas fallas afectan al Conglomerado Duarte, Riolita La Laborcita, Ignimbrita Cuatralba e Ignimbrita la Media Luna. Una de esas fallas de rumbo NW-SE con un echado de 58° al SW es el contacto entre el Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato y la Ignimbrita Cuatralba.

- **6.3 Grupo de fallas del Sector Duarte – San Juan de Otates**

Al sureste del municipio de León, entre las comunidades de San Juan de Otates, Duarte, Ojo de Agua, La Laborcita y Palo Blanco (Figura 12), se localiza un grupo de fallas de tipo normal y oblicuo, este sector consta de estructuras entrelazadas que van desde unos pocos metros hasta más de 1 km de longitud. Estas estructuras tienen un rumbo NW-SE con una concentración mayor entre N30°-50°E, con echados preferentes hacia el SW y algunos hacia el NE. Dentro de este sector también reportamos algunas fallas de orientación NE-SW y echados hacia el NW y SE. Estas estructuras se encuentran afectando al Conglomerado Duarte, Ignimbrita Cuatralba y Riolita La Laborcita. Algunas de estas fallas marcan contactos tales como: un contacto por falla normal de rumbo NW-SE y echados de 64° y 61° hacia el SW entre la Piroxenita San Juan de Otates y el Conglomerado Duarte. Otro contacto por falla normal de rumbo NW-SE y echado de 27° hacia el NE entre Riolita La Laborcita y el Conglomerado Duarte.

- **6.4 La Falla del Bajío**

Adicionalmente a las fallas que afloran en los sectores descritos, hay un gran sistema regional de fallas que constituye el frente SW de la Sierra de Guanajuato, a este sistema de fallas se le conoce como Falla del Bajío y se describe a continuación:

Martínez-Reyes (1986). Denomina como Falla del Bajío a una estructura de tipo normal con actividad cenozoica que limita a la Sierra de Guanajuato.

Nieto-Samaniego et al. (1992). Describe esta estructura como, un grupo de fallas normales que marcan el límite sudoccidental de la Sierra de Guanajuato, separándola de la planicie del Bajío. Este sistema tiene un rumbo general NW-SE con inclinación hacia el SW. Se extiende desde León, Gto, hasta su intersección con el *graben* de la Saucedá.

Nieto-Samaniego et al. (2005). Propone que la falla del Bajío marca el límite sur de la Mesa Central y considera que muestra dos segmentos mayores: el más oriental, se extiende desde Celaya hasta Irapuato, donde la zona de falla tiene dirección ~E-W. En el bloque levantado se aprecian dos grupos de fallas con direcciones NW-SE Y ENE a NE. El segundo segmento tienen un rumbo NW-SE y forma el escarpe SW de la Sierra de Guanajuato, siendo dicha sierra el bloque levantado de la falla, ese segmento tiene 80 km de largo y se extiende desde Irapuato hasta León. La estructura está formada por una serie de fallas normales de ángulo alto, escalonadas y con el boque hundido al SW.

Botero-Santa et al. (2014). Describe a la Falla el Bajío como, el límite norte de la planicie del Bajío, considera que es una estructura de tipo normal con 140 km de longitud, con un rumbo predominante NW-SE e inclinación al SW. En el sector NE de la Sierra de Guanajuato esta falla constituye el límite entre el sector central de la Faja Volcánica Transmexicana ubicada a sur y la Sierra de Guanajuato ocalizada al norte. Le asigna una edad de actividad del cenozoico.

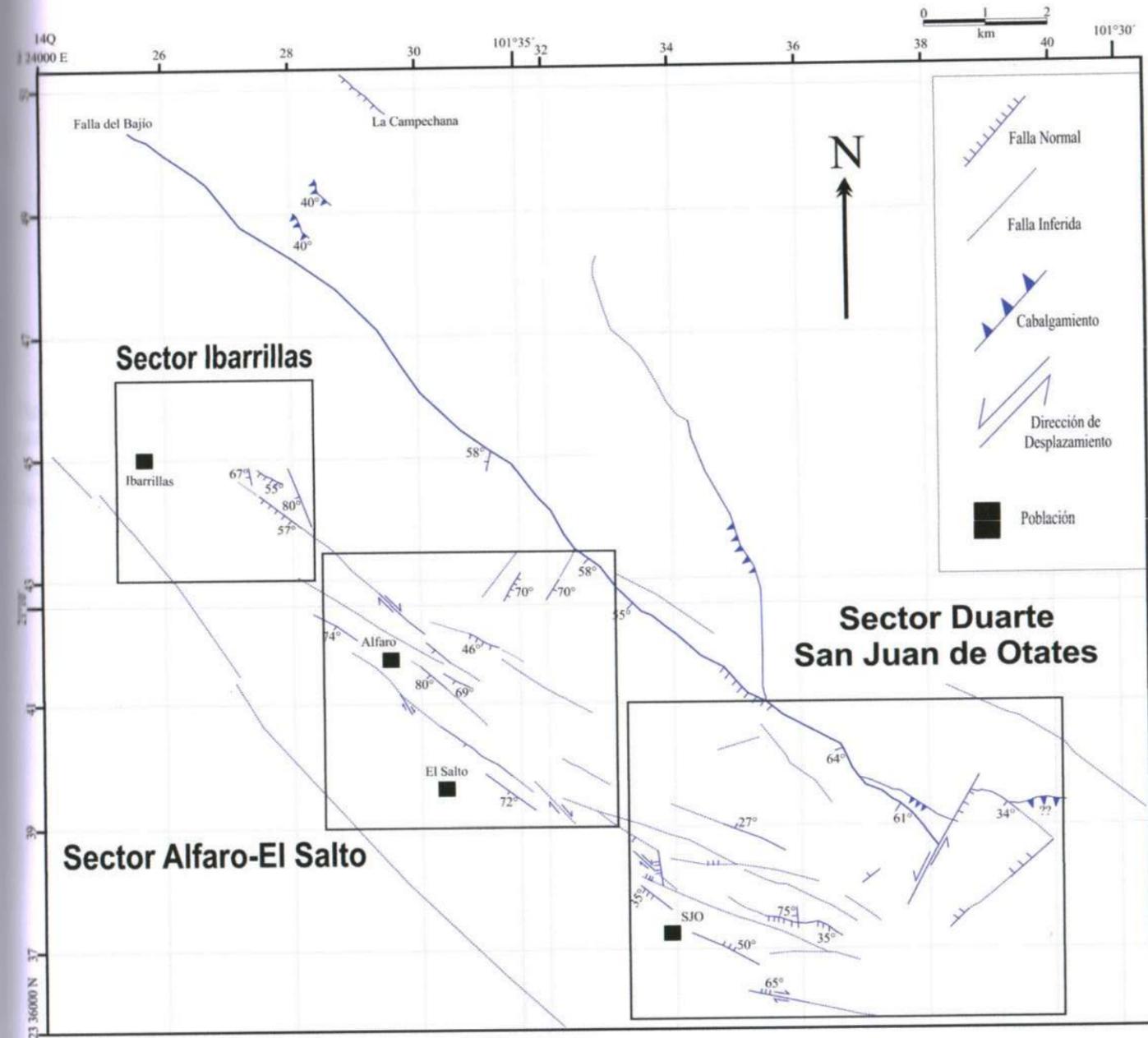
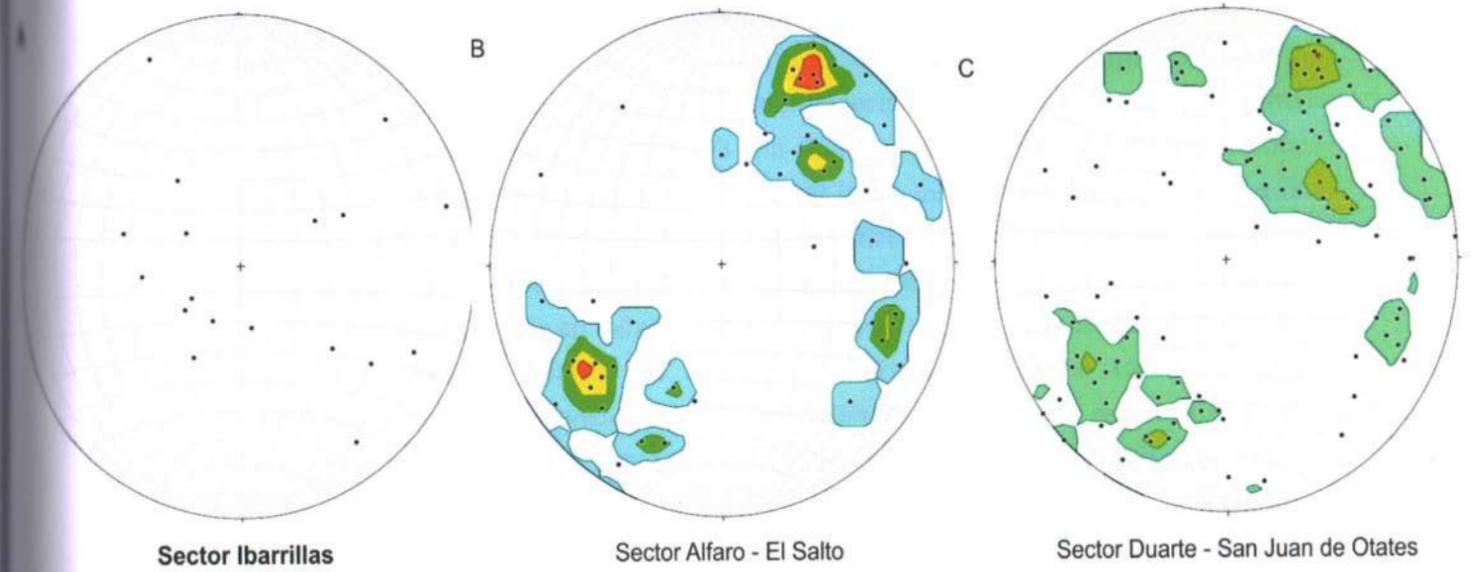


Figura 58. Mapa que muestra los tres sectores estructurales del frente SW de la Sierra de Guanajuato (Sector Ibarilla, Sector Alfaro – El Salto y Sector Duarte – San Juan de Otates).



**Figura 59.** Proyecciones estereográficas usando la falsilla de Schmidt hemisferio inferior, donde se graficaron los polos de las fallas medidas en el campo dentro de nuestra área de estudio. El área se separó en tres sectores. A) Sector Ibarillas  $n=18$ . B) Sector Alfaro – El Salto El  $n= 64$ . C) Sector Duarte – San Juan de Otates El  $n= 129$ . En las proyecciones B y C se utilizó el método de conteo con 1% de área. Se utilizó el programa Stereonet 8, que est basado en Allmendinger et al. (2012).

## 7. Discusión

- Edad y pulsos de levantamiento de la Sierra de Guanajuato. Se logró definir que ocurrieron al menos tres pulsos durante el levantamiento de la Sierra de Guanajuato. El primero de dichos pulsos tuvo lugar en el Eoceno medio-tardío y está evidenciado por la presencia de una discordancia ubicada entre el Granito Comanja cuya edad es de  $51.19 \pm 0.33$  Ma (Ruiz-González (2015); U-Pb en zircón, LA-ICPMS) y el Conglomerado Duarte, el cual tiene intercalado hacia su base a la Riolita La Laborcita de  $51.86 \pm 0.46$  Ma (U-Pb en zircón, LA-ICPMS). No se conoce la profundidad de emplazamiento del granito, pero al ser cubierto por el conglomerado evidencia su exhumación y el levantamiento de la Sierra. El segundo pulso tuvo lugar a finales del Eoceno y hasta el Oligoceno tardío, y está evidenciado por la presencia de dos discordancias: la primera registrada en el Eoceno tardío – Oligoceno, entre el Conglomerado Duarte y la Ignimbrita Cuatralba de  $31.56 \pm 0.25$  Ma (U-Pb en zircón, LA-ICPMS). La segunda en el Oligoceno tardío, entre la Ignimbrita Cuatralba y la Ignimbrita La Media Luna de  $23.96 \pm 0.20$  Ma (U-Pb en zircón, LA-ICPMS). El último pulso tuvo lugar en el Mioceno y esta evidenciado por la presencia de un grupo de fallas, a las que se les atribuye el desplazamiento de la Ignimbrita la Media Luna, el Basalto dos Aguas y el Basalto El Cubilete, en este último se reportó un desplazamiento de aproximadamente 400-600 metros (Nieto-Samaniego et al., 2005).

| Pulsos de levantamiento                                                     | Discordancias                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Eventos sedimentarios, magmáticos y tectónicos                                                                                                                          | Grupos de fallas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p style="text-align: center;">1</p> <p>Eoceno medio-<br/>Eoceno tardío</p> | <p><i>-Eoceno medio</i></p> <p>Discordancia ubicada entre los cuerpos intrusivos y conglomerados continentales. En la localidad de Duarte (Figura 12), aflora el Granito Comanja de <math>51.19 \pm 0.33</math> Ma (Ruiz Gonzáles, 2015) subyaciendo al Conglomerado Duarte. También Ruiz-Gonzáles (2015) reporta unas coladas de andesita sobreyaciendo al Granito Comanja.</p> | <p>Ruiz-Gonzáles (2015) propone actividad extensional hacia finales del Eoceno temprano, esta extensión se da al mismo tiempo que la exhumación de Granito Comanja.</p> | <p><i>-Grupo de fallas del Eoceno</i></p> <p>Conjunto de fallas de tipo normal y oblicuo de rumbo NW-SE con echados al SW, este conjunto de fallas se extiende a lo largo del frente SW de la SG con una longitud aproximada de 11 Km y se les asigna esta edad ya que son contemporáneas a los eventos de turmalinización del Granito Comanja (Ruiz-González, 2015).</p> |

|                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p style="text-align: center;">2<br/>Eoceno tardío-<br/>Oligoceno<br/>tardío</p> | <p style="text-align: center;"><i>-Eoceno tardío-Oligoceno</i></p> <p>Discordancia que se hace evidente porque la Ignimbrita Cuatralba descansa en discordia angular sobre Conglomerado Duarte.</p> <p style="text-align: center;"><i>-Oligoceno tardío</i></p> <p>Discordancia angular entre las unidades Ignimbrita Cuatralba e Ignimbrita La Media Luna. Ruiz-González (2015) reporta un contacto discordante entre la Ignimbrita Cuatralba y la Andesita Bernalejo.</p> | <p>A lo largo del frente SW de la SG, pudimos separar al Conglomerado Duarte en tres niveles de diferente edad: 1) El más antiguo se encuentra subyaciendo a la Riolita La Laborcita, por lo cual proponemos una edad anterior a los <math>51.86 \pm 0.24</math> Ma. 2) Un segundo conglomerado, contiene clastos del Granito Comanja y se ubica sobreyaciendo a la Ignimbrita Palo Blanco, por lo cual le asignamos una edad de entre los 51 Ma – 48 Ma. 3) Por último un conglomerado que se encuentra depositado sobre las rocas volcánicas eocénicas y debajo de la Ignimbrita Cuatralba; basados en esto proponemos una edad de depósito entre 48 Ma y 31 Ma.</p> | <p style="text-align: center;"><i>-Grupo de fallas del Eoceno – Oligoceno</i></p> <p>Grupo de fallas transversales a la Falla del Bajío, de tipo normal de rumbo NE-SW y echados en su mayoría al SE, aunque unas pocas buzanan hacia el NW. Algunas de estas fallas marcan el contacto entre el Conglomerado Duarte y la Tonalita Cero Pelón. Estas estructuras afectan al Conglomerado Duarte y a la Ignimbrita Cuatralba (<math>31.56 \pm 0.25</math> Ma) y son sepultadas por la Ignimbrita La Media Luna (<math>23.96 \pm 0.20</math> Ma).</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 8. Conclusión

### 8.1 Conclusiones particulares

- Se identificó un Sill félsico. Este intrusivo de composición granítica y textura porfídica se encuentra aflorando entre la Presa Duarte y Presa La Laborcita e intrusionando capas de Conglomerado Duarte. Lo describimos como una roca de coloración clara que va de beige a rosado, en algunas partes tiene coloración café, debido al intemperismo. Tiene fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, contiene micas de coloración verde oscuro y clastos líticos quizá de composición riolítica. Se obtuvo con el método de U/Pb en zircón (LA-ICPMS) una edad de cristalización para esta muestra (EA4) de Sill de  $52.16 \pm 0.20$  Ma, ubicándola en el Ypresiano Eoceno temprano.
- También se identificó a la Riolita La Laborcita. La describimos como una roca de coloración rojiza, moderadamente intemperizada. Tiene una textura que va de afanítica a porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato y plagioclasa. La matriz es afanítica y en ella se distingue vidrio. Se propone denominar a estas rocas como Riolita La Laborcita, dada su localización en las cercanías de la presa con el mismo nombre. Se obtuvo con el método de U/Pb en zircón (LA-ICPMS) una edad de cristalización para esta muestra (EA5) de riolita de  $51.86 \pm 0.46$  Ma, ubicándola en el Ypresiano Eoceno temprano.
- La edad de depósito del Conglomerado Duarte la pudimos ubicar entre los 52 y 31 Ma.
- Se confirmó la edad de cristalización de la Ignimbrita Cuatralba y la Ignimbrita La Media Luna. La edad que reporta para estas unidades Botero-Santa (2011) es de  $31.7 \pm 0.6$  Ma y  $23.4 \pm 0.2$  Ma. Mientras que en este trabajo se fecho a estas mismas unidades por el método de U/Pb en zircón (LA-ICPMS) obteniendo una edad de  $31.51 \pm 0.29$  Ma y  $23.86 \pm 0.17$  Ma.

## 8.2 Conclusiones Generales

La Sierra de Guanajuato registra tres pulsos de levantamiento: 1) el primero ocurrido a los aproximadamente 51 Ma en el Eoceno temprano, 2) el segundo aproximadamente posterior a los 51 Ma y anterior a los 31 Ma entre el Eoceno medio y el Oligoceno, 3) el último pulso ocurrió aproximadamente posterior a los 23 Ma en el Mioceno.

En la Sierra de Guanajuato hubo cuatro fases magmáticas; 1) Entre los 52 y 28 Ma, ubicando esta fase del Ypresiano al Rupeliano, donde se incluyen el Granito Comanja, un intrusivo-sill, Riolita La Laborcita e Ignimbrita Palo Blanco. 2) De 32 a 31 Ma, ubicando esta fase en el Oligoceno temprano, incluye a la Andesita Bernalejo y a la Ignimbrita Cuatralba. 3) De 24 Ma, ubicando esta fase en la cima del Oligoceno, incluye a la Ignimbrita Media Luna. 4) Fase magmática del Mioceno que incluye al Basalto Dos Aguas, Andesita Cerro Verde y Basaltos El Cubilete.

• **Referencias**

- Aguirre-Díaz, G.J., Nelson, S.A., Ferrari, L., López-Martínez, M., 1997, Ignimbrites of the central Mexican Volcanic Belt, Amealco and Huichapan Calderas (Querétaro-Hidalgo), en Aguirre-Díaz, G.J., Aranda-Gómez, J.J., Carrasco-Núñez, G., Ferrari, L. (eds.), Magmatism and tectonics of central and northwestern México- A selection of the 1997 IAVCEI General Assembly excursions: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Excursión 1, 1-39.
- Aranda-Gómez, J.J., Aranda-Gómez, J.M., Nieto-Samaniego, A.F., 1989, Consideraciones acerca de la evolución tectónica durante el Cenozoico de la Sierra de Guanajuato y la parte Meridional de la Mesa Central: *Revista del Instituto de Geología*, 8(1), 33-46.
- Baez-López, J. A., 2014, Estratigrafía de la parte sur del Distrito Minero de Guanajuato, México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, tesis de maestría, 127 pp.
- Botero-Santa, P. A., 2011, Origen y evolución de la falla de El Bajío en su sector noroeste: Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, tesis de maestría, 113 pp.
- Corona-Chávez, P., 1988, Análisis estratigráfico estructural de la porción centro-sur de la Sierra de Guanajuato: México, D.F., Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Arquitectura, tesis profesional, 60 pp.
- Echegoyén Sánchez, J., Romero-Martínez, S., Velázquez-Silva, S., 1970, Geología y yacimientos minerales de la parte central del distrito minero de Guanajuato: *Boletín Consejo de Recursos Minerales no Renovables*, 75, 36 pp.
- 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, 14 pp.
- Lapierre, H.; Ortiz, L. E.; Abouchami, W.; Monod, O.; Coulon, C.; and Zimmermann, J. L. 1992. A crustal section of an intra-oceanic island arc: the Late Jurassic– Early Cretaceous Guanajuato magmatic sequence, central Mexico. *Earth Planet. Sci. Lett.* 108:61–77.
- Martínez-Reyes, J., 1987, Resumen de la Geología de la Sierra de Guanajuato, en Simposio sobre la Geología de la región de Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, 50-70.

- Martínez-Reyes, J., 1992, Mapa geológico de la Sierra de Guanajuato con resumen de la geología de la Sierra de Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas y Mineras, 8, 1 mapa con resumen de la geología.
- Martini, M., Mori, L., Solari, L., Centeno-García, E., Sandstone Provenance of the Arperos Basin (Sierra de Guanajuato, Central Mexico): Late Jurassic–Early Cretaceous 124 Back-Arc Spreading as the Foundation of the Guerrero Terrane: *The Journal of Geology*, 2011, v. 119, p. 597–617.
- Martini, M., Mori, L., Solari, L., Martínez-López, M., Correlating the Arperos Basin from Guanajuato, central Mexico, to Santo Tomás, southern Mexico: implications for the paleogeography and origin of the Guerrero terrane, p 1-17.
- Martini, M., Solari, L., Camprubí, A., 2013, Kinematics of the Guerrero terrane accretion in the Sierra de Guanajuato, central Mexico: new insights for the structural evolution of arc-continent collisional zones: *International Geology Review*, 574-589 pp.
- Miranda Avilés, R., Puy Alquiza, M.J., Velázquez Hernández, J., Vega Corza, R.A., 2009, nuevos datos sobre la estratigrafía del Conglomerado Duarte en la Sierra de Guanajuato: evidencias de basculamiento asimétrico sin-depósito pos-Laramide (resumen), en Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, Puerto Vallarta, Jal.: *GEOS*, 29(1), p 98.
- Nieto-Samaniego, Á.F., 1990, Fallamiento y estratigrafía cenozoicos en la parte sudoriental de la Sierra de Guanajuato: *Revista del Instituto de Geología*, 9(2), 146-155.
- Nieto-Samaniego, A. F., García-Dobarganes Bueno, J. E., y Aguirre-Maese, A. L., 1992, Interpretación estructural de los rasgos geomorfológicos principales de la Sierra de Guanajuato, México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol. 10, núm. 1, p. 15.
- Nieto-Samaniego, Á.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Camprubí-Cano, A., 2005, La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario, temas selectos de la Geología Mexicana, 57(3), 285-318.
- Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.A., and Camprubí, A., 2007, Mesa Central of México: Stratigraphy, structure, and Cenozoic tectonic evolution, in Alaniz-Álvarez, S.A., and Nieto-Samaniego, Á.F., eds., *Geology of México: Celebrating the Centenary of the Geological Society of México: Geological Society of America Special Paper 422*, p. 41–70, doi: 10.1130/2007.2422(02).

- Nieto-Samaniego, A. 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*, v. 13, p117-122.
- Nieto-Samaniego, A. F., Ojeda-García, A. C., Alaniz-Álvarez, S. A., Xu, S.-S., 2012, Geología de la región de Salamanca, Guanajuato, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(3), p. 411-425.
- Quintero-Legorreta, O., 1992, Geología de la región de Comanja, estados de Guanajuato y Jalisco: Universidad Nacional Autónoma de México, *Revista del Instituto de Geología*, v. 10, p. 6–25.
- Ruiz-González, F.J., 2015, Estudio de las vetas de turmalina que registran la historia de la exhumación del granito Comanja, Sierra de Guanajuato, México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, tesis de maestría, 156 pp.
- Solari, L., Gómez-Tuena, A., Bernal, J., Pérez-Arvizu, O., Tanner, M., 2009, U /Pb zircon geochronology by an integrated LA-ICPMS microanalytical workstation: 127 achievements in precision and accuracy, *Geostandards and Geoanalytical Research*, v. 34(1), p. 5-18.
- Tristán González, M., 1996, Estratigrafía y tectónica del graben de Villa de Reyes en los estados de San Luis Potosí y Guanajuato, México: folleto técnico, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología, núm. 107, p.91.
- Tristán-González, M., Aguilón-Robles, A., Barboza-Gudiño, J, R., Torres-Hernández, J, R., Bellon Hervé, Doncel-López, R., Ríos-Rodríguez, R., Labarthe-Hernández., 2009, Geocronología y distribución espacial del Vulcanismo en el Campo Volcánico de San Luis Potosí: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 287-303 pp.
- Tristán-González, M., Aguirre-Díaz, G. J., Labarthe-Hernández, Torres-Hernández, J. R., Bellon, 2009b, Post-Laramide and pre-Basin and Range deformation and implications for Paleogene (55–25 Ma) volcanism in central Mexico: A geological basis for a volcano-tectonic stress model: *Tectonophysics* 471, 136–152.
- Zimmermann, J.L., Stein, G., Lapierre, H., Vidal, R., Campa, M.F., Monod, O., 1990, Données géochronologiques nouvelles sur les granites laramiens du centro et l'ouest du Mexique (Guerrero et Guanajuato): Société Géologique France, 13e Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble, France, 127 pp.

# **ANEXOS**

## **1: PETROGRÁFICOS**

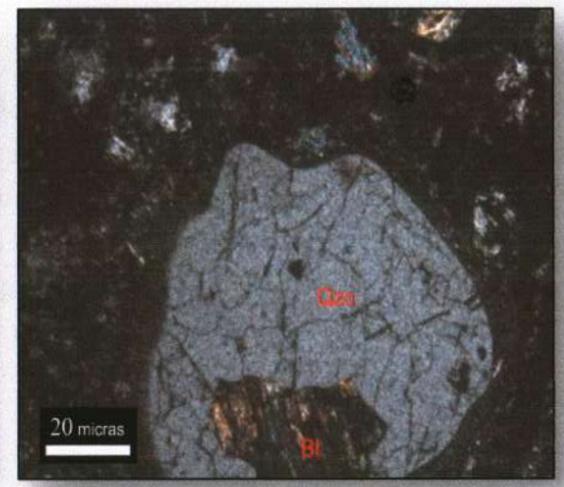
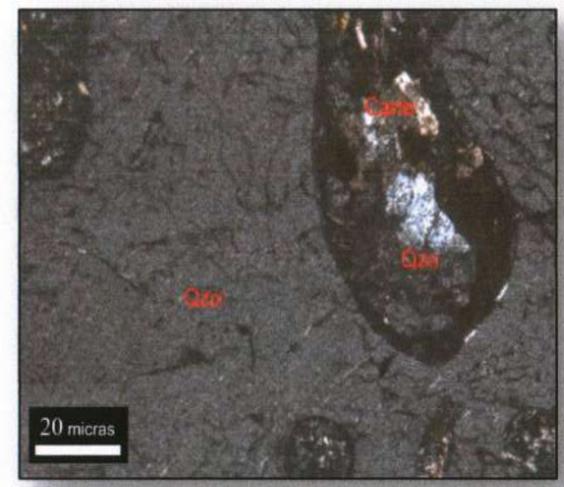
### A.1. MUESTRA: (EAQ 4) Sill.

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento, la roca de composición félsica se observa intrusionando capas de Conglomerado Duarte. En muestra de mano, tiene una coloración clara que va de beige a rosado, en algunas partes tiene coloración café, debido al intemperismo. Tiene una textura porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, contiene micas de coloración verde oscuro y clastos líticos, quizá de composición riolítica, en tamaños que van de 3 a 7 milímetros. La matriz es afanítica (Figura 1 y 2).



**Figuras 1 y 2.** Sill félsico, muestra tomada entre el conglomerado Duarte, cerca de la presa de Duarte.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca hipocristalina (~90% cristales ~10% matriz). Se observaron cuarzos con golfos de corrosión – disolución, otros que presentan caries rellenas de cuarzo y material oscuro, plagioclasas polisintéticas, sanidinos con maclas simples de Carlsbad, algunas biotitas cloritizadas y óxidos en tonalidades rojizas. Contiene ~50% de cuarzo, ~30% de plagioclasa, ~10% feldespatos y ~10% de óxidos. Su textura es traquítica y porfídica, formada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa (albita), sandino y biotita de forma subhedral y anhedral. La matriz es microcristalina, formada por vidrio y numerosos microlitos de cuarzo, sanidino, plagioclasa y biotita alineados en diferentes direcciones en torno a los fenocristales (Figura 3 y 4).



En la Fig. 3 Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se observa, un fenocristal de cuarzo fracturado, con caries rellenas de microcristales de cuarzo y un material de coloración café oscuro.

En la Fig. 4 Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se aprecia un fenocristal de cuarzo de forma anhedral, moderadamente fracturado, con límites entrecrecidos y en la parte inferior una biotita tabular de coloración parda a verde.

Bt: Biotita Qzo: Cuarzo

**Clasificación.** Sill de composición granítica.

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
SISTEMA EDUCATIVO

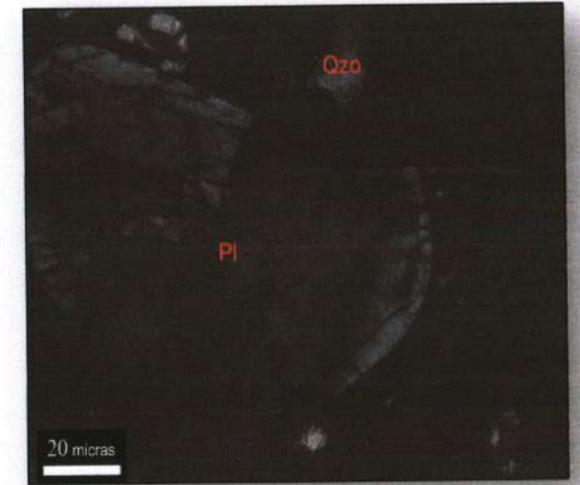
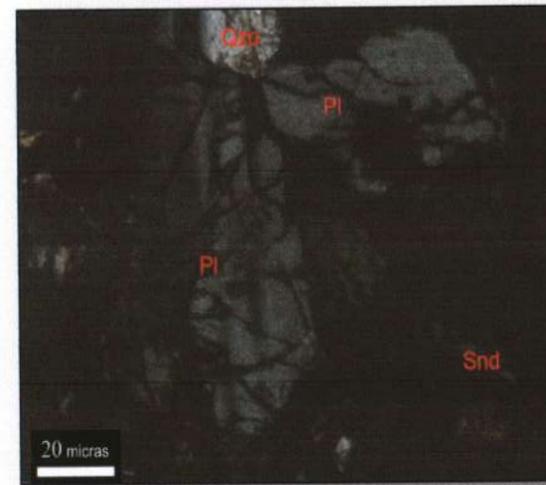
**A.2. MUESTRA: (EA05) Riolita La Laborcita.**

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento, la roca presenta una estructura bandeada de flujo. En muestra de mano, se observa de coloración rojiza, también presenta algunos tonos en amarillo y naranja debido al intemperismo, en algunas zonas se observaron vetillas rellenas de cuarzo. Tiene una textura que va de afanítica a porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato y plagioclasa en tamaño de 2 a 5 milímetros. La matriz es afanítica, en ella se puede distinguir vidrio (Figura 5 y 6).



**Figuras 5 y 6.** Riolita, muestra tomada debajo del Conglomerado Duarte, cerca de la Presa La Laborcita.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca hipocristalina (~70% cristales ~30% vidrio). Se observó cuarzo, plagioclasas macladas y moderadamente fracturadas, sanidinos rotos y algunos óxidos en tonalidades rojizas a naranja. Su textura es de flujo, atáxica y porfídica, formada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa (albita) y sanidino de forma subhedral. La matriz es criptocristalina a microcristalina con numerosos microlitos de cuarzo, sanidino y vidrio (Figura 7 y 8).



**En la Fig. 7** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se aprecian plagioclasas (albita; 12°, 21°, 16°) con maclas polisintéticas y de Carlsbad, algunos sanidinos con su típica macla de Carlsbad en una matriz vítrea.

**En la Fig. 8** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se observa un fenocristal de plagioclasa con zoneamiento (maclas oscilatorias), y algunos microcristales de cuarzo y sanidino.

**Pl:** Plagioclasa

**Snd:** Sanidino

**Qzo:** Cuarzo

**Clasificación:** Riolita.

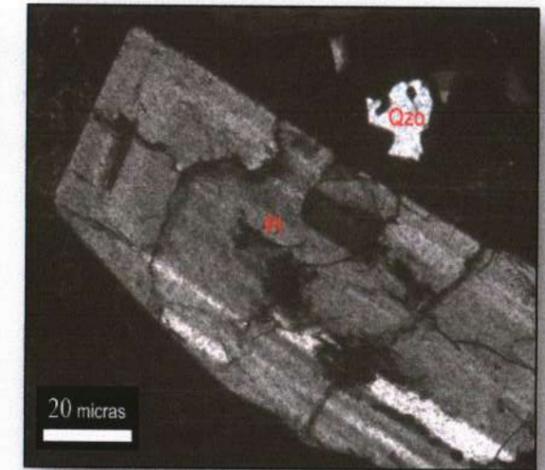
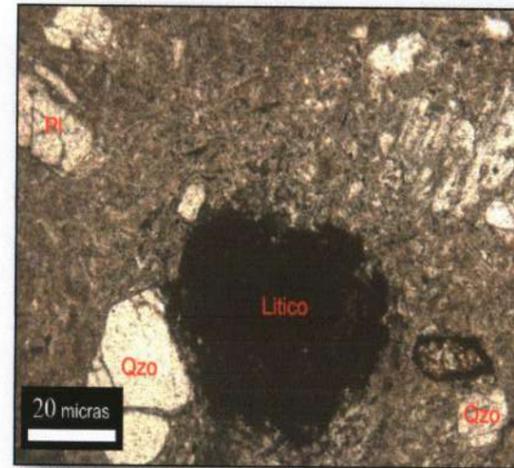
### A.3. MUESTRA: (EA-9) Ignimbrita Cuatralba.

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento, la roca se observa en capas y ligeramente inclinada. En muestra de mano, tiene una coloración rosa fuerte a rojo, con escasa presencia de fiammes, se encuentra ligeramente intemperizada. Tiene textura porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato, plagioclasa y contiene clastos líticos en tamaños que van de 1- 3 milímetros. La matriz es afanítica, donde se puede distinguir vidrio (Figura 9y 10)



**Figuras 9 y 10.** Ignimbrita, muestra tomada debajo de la Ignimbrita Media Luna, en Mesa de Los Vargas.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca hipocristalina (~30% cristales ~70% vidrio). Se observaron cuarzos que presentan golfos de disolución – corrosión y algunos con caries rellenas de material oscuro, plagioclasas moderadamente fracturadas, sanidinos, espículas de vidrio sin mucha deformación, algunos óxidos con tonalidades rojas y litios. Su textura es eutáxica y porfídica, formada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa (albita), y sanidino, de formas euhedral y subhedral, contiene fragmentos líticos de coloración café oscuro subangulares. La matriz es criptocristalina a microcristalina, con numerosos microlitos de cuarzo, plagioclasa y vidrio (Figura 11 y 12).



**En la Fig. 11** Fotografía tomada con objetivo 4x, con luz plana. Se aprecia un lítico sub redondeado de color café oscuro, algunos cuarzos fracturados y plagioclasas, rodeados por espículas de vidrio.

**En la Fig. 12** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se aprecia un fenocristal subhedral de plagioclasa con maclas oscilatorias y un cuarzo corroído con una carie rellena de material oscuro.

**PL:** Plagioclasa    **Qzo:** Cuarzo

**Clasificación:** Ignimbrita ligeramente soldada.

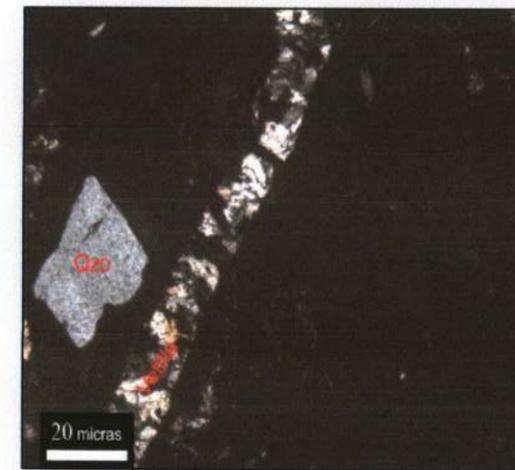
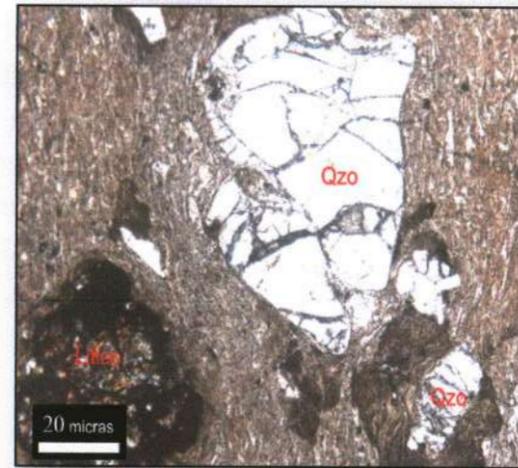
#### A.4. MUESTRA: (EAQ11) Ignimbrita Cuatralba.

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento la roca se observa en capas, inclinada y ligeramente fracturada. En muestra de mano tiene una coloración rojiza a café, con tonos naranja debido a intemperismo. Tiene textura porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato y plagioclasa que van de 1 -2 milímetros. La matriz es afanítica donde se puede distinguir vidrio (Figura 13 y 14).



**Figura 13 y 14.** Ignimbrita, muestra tomada debajo de basaltos, cerca de la comunidad Sauz Seco.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca hipocristalina (~25% cristales ~75% vidrio). Se observaron cuarzos con golfos de disolución – corrosión muy fracturados, plagioclasas, sanidinos, algunos óxidos en tonalidades rojas, líticos subredondeados de color café oscuro y rojizo y espículas de vidrio deformadas. Su textura es de flujo, compresión y porfídica formada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa y sanidino de forma subhedral y anhedral, contiene fragmentos líticos subredondeados. La matriz es criptocristalina a microcristalina con microlitos de cuarzo, plagioclasa y vidrio (Figura 15, 16 y 17).



En la **Fig. 15** Fotografía tomada con objetivo 4x, con luz plana. Se aprecia un cuarzo con golfos de corrosión, muy fracturado, en la parte inferior izquierda se observa un lítico subredondeado color café oscuro, rodeados por microlitos de cuarzo y espículas de vidrio deformado.

En la **Fig. 16** Fotografía tomada con objetivo 4x, con luz plana. Se observa una plagioclasa fracturada, un cuarzo de forma anhedral, algunas esferulitas, microlitos de cuarzo y plagioclasa.

En la **Fig. 17** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se aprecia una vetilla aparentemente rellena de cuarzo, en la parte izquierda se observa un cuarzo de color gris de forma subhedral y algunos microlitos de cuarzo y plagioclasa.

**Clasificación:** Ignimbrita moderadamente soldada.

**A.5. MUESTRA: (EAQ7) Ignimbrita Cuatralba.**

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento, la roca se observa en capas y moderadamente fracturada. En muestra de mano tiene una coloración rosa fuerte a rojo, se encuentra ligeramente intemperizada, con tonalidades amarillas y naranja, se observaron, algunas fiammes aplastadas con tamaños que van de 2 a 3 centímetros y óxidos de color marrón. Tiene textura porfídica con fenocristales de cuarzo, sanidino y plagioclasa. La matriz es afanítica y se puede distinguir vidrio (Figura 18 y 19).



**Figuras 18 y 19.** Ignimbrita, muestra tomada debajo de la Ignimbrita Media Luna, entre Presa Lucio y Presa La Laborcita.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca hipocristalina (~30% cristales ~70% vidrio). Se observaron cuarzos fracturados, plagioclasas, espículas de vidrio deformadas y óxidos de color café oscuro. Su textura es de flujo, compresión y porfídica, formada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa y sanidino de forma subhedral y anhedral, contiene fragmentos líticos de forma subredondeada y subangular. La matriz es criptocristalina a microcristalina con microlitos de cuarzo, plagioclasa y vidrio.



**En la Fig. 20** Fotografía tomada con objetivo 4x, con luz plana. Se aprecian fenocristales de cuarzo fracturados, microlitos de cuarzo y plagioclasa, rodeados de espículas de vidrio en forma alargada con textura de flujo.

**En la Fig. 21** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicoles cruzados. Se observa un fenocristal de plagioclasa con macla de Carlsbad, y en la parte inferior derecha, un cristal de cuarzo.

**Clasificación.** Ignimbrita con un moderado soldamiento.

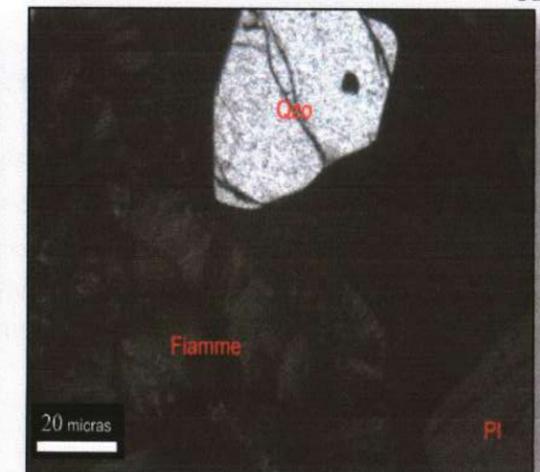
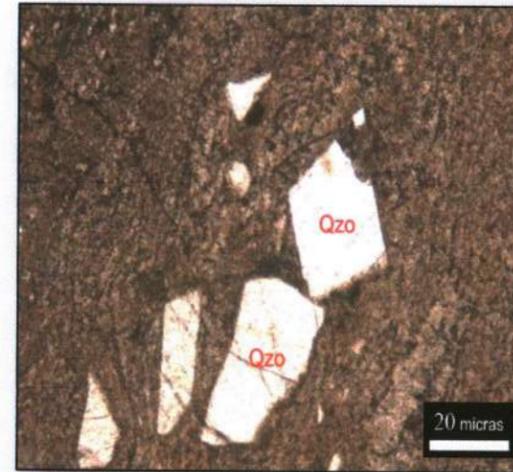
**A.6. MUESTRA: (EAQ6) Ignimbrita La Media Luna.**

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento, la roca se observa de forma masiva sin gradación, dentro de este se observan varias fases de ignimbrita; una con bajo grado de compactación y otra muy compacta. En muestra de mano, tiene una coloración rosada a rojiza, se aprecia muy bajo grado de intemperismo en zonas con coloración naranja. Se observaron óxidos de color rojo y fiammes rellenas quizá de cuarzo. Tiene textura porfídica con fenocristales de cuarzo, sanidino y plagioclasa en tamaños que van de 0.5 a 1.5 centímetros. La matriz es afanítica donde se puede distinguir vidrio (Figura 22 y 23).



**Figuras 22 y 23.** Ignimbrita, muestra tomada encima del Conglomerado Duarte, cerca de la Presa La Laborcita.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca hipocristalina (~15% cristales ~85% vidrio). Se observaron cuarzos que presentan golfos de corrosión y un fracturamiento moderado, plagioclasas polisintéticas, sanidinos, espículas de vidrio deformadas y alineadas, óxidos en tonalidades rojas a café y fiammes aplastadas rellenas de cuarzo. Su textura es de flujo, compresión y porfídica, formada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa y sanidino de formas subhedral y anhedral. La matriz es criptocristalina a microcristalina con microlitos de cuarzo, plagioclasa y vidrio (Figura 24 y 25).



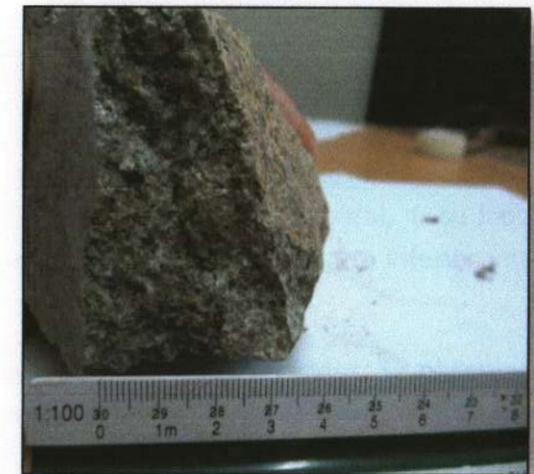
**En la Fig. 24** Fotografía tomada con objetivo 4x, con luz plana. Se aprecian unos fenocristales de cuarzo de forma subhedral, ligeramente fracturados, algunos microlitos de cuarzo y plagioclasa, rodeados de espículas de vidrio deformadas y alineadas.

**En la Fig. 25** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se observa, en la parte izquierda una fiamme rellena de cuarzo, un cuarzo de forma anhedral ligeramente fracturado y una plagioclasa en la parte inferior derecha.

**Clasificación.** Ignimbrita con moderado soldamiento.

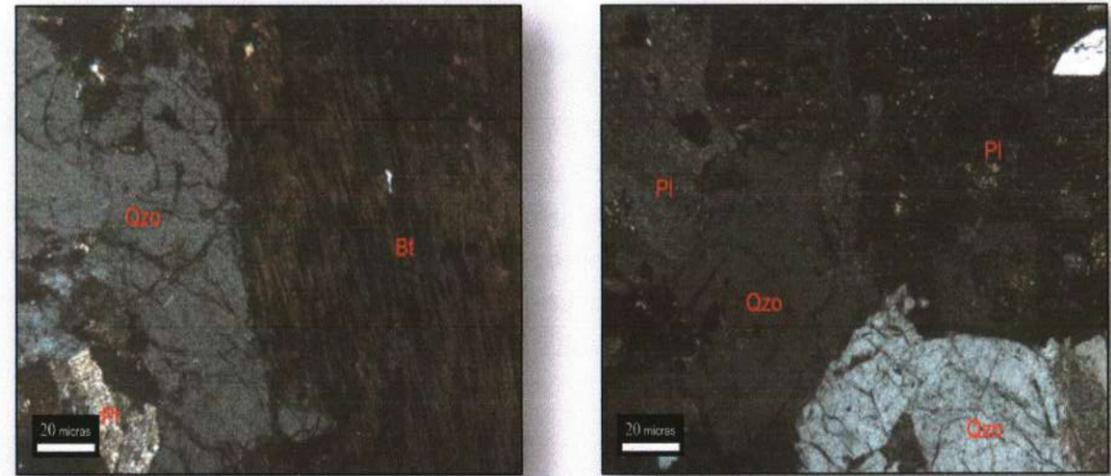
**A.7. MUESTRA: (EAQ2) Granodiorita Presa Duarte.**

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento, la roca intrusiva de composición intermedia, se observa de forma masiva y moderadamente intemperizada. En muestras de mano tiene, una coloración clara, con minerales oscuros y verde aunque en algunas partes presenta tonalidades amarillas, debido a intemperismo. Tiene una textura fanerítica con cristales de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíboles en tamaños que van de 1 a 5 milímetros (Figura 25 y 26).



**Figuras 25 y 26.** Granodiorita, muestra tomada cerca de la Presa Duarte.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca holocristalina. Se observaron cristales inequigranulares de cuarzo, plagioclasa, biotita y hornblenda, también algunas plagioclasas alteradas y cuarzos muy fracturados. Su textura es fanerítica e hipidiomorfa, formada por cristales que son euhedrales y subhedrales. El porcentaje de minerales es de ~ 50% cuarzo, 40% plagioclasa, 10% biotita y anfíbol (Figura 27 y 28).



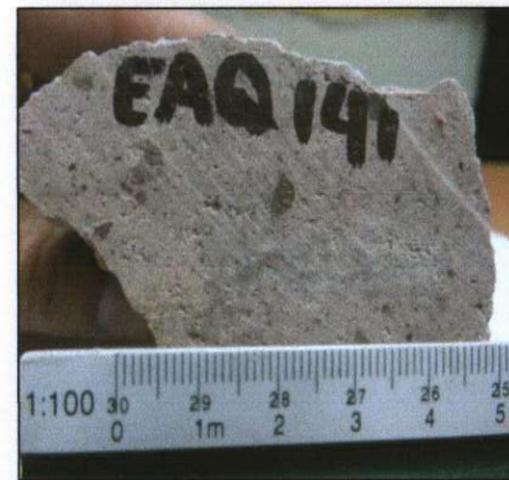
**En la Fig. 27** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicoles cruzados. Se aprecia un cristal grueso de biotita color café oscuro con su típica exfoliación basal, a su lado izquierdo un cristal de cuarzo moderadamente fracturado y en la parte inferior una plagioclasa.

**En la Fig. 28** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicoles cruzados. Se observan unas plagioclasas alteradas, cuarzoes fracturados y claramente una textura intergranular.

**Clasificación.** Granodiorita.

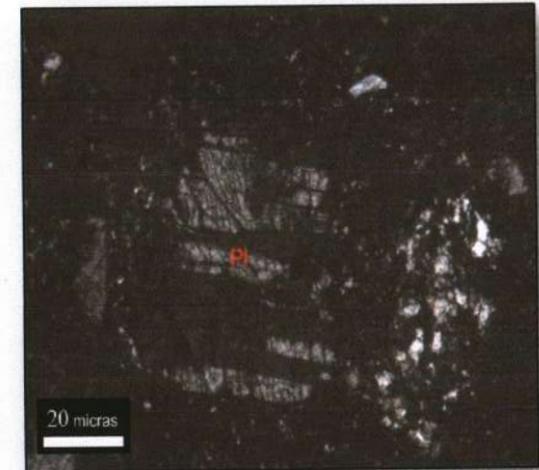
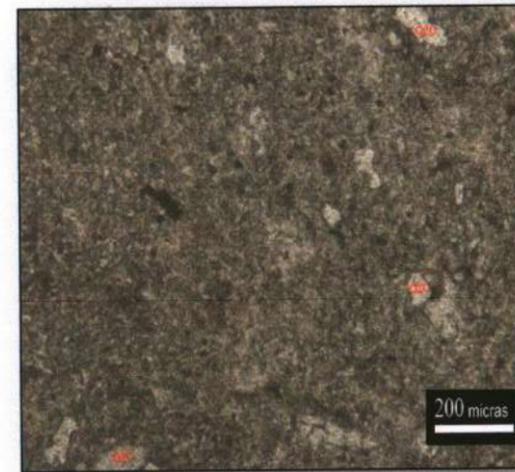
**A.8. MUESTRA: (EAQ141) Ignimbrita Cuatralba.**

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento, la roca se observa de manera masiva, sin gradación ni orden en los clastos. En muestra de mano, tiene una coloración rosa claro, tiene un bajo grado de intemperismo y pómez sin aplastar de color beige que van de 0.5 a 1.5 centímetros. Tiene textura porfídica con fenocristales de cuarzo, sanidino, plagioclasa y contiene clastos líticos de forma subangular en tamaños que van de 1 a 4 milímetros. La matriz es afanítica (Figura 29 y 30).



**Figuras 29 y 30.** Ignimbrita, muestra tomada encima de ignimbrita Cuatralba, en Mesa de Ibarilla.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca hipocristalina (~15% cristales ~85% vidrio). Se observaron cuarzos y plagioclasas rotos, espículas de vidrio sin deformación, óxidos en tonalidades café oscuro y líticos subangulares y subredondeados. Su textura es mesocristalina, vitrofídica y porfídica, formada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa, sanidino de forma subhedral y fragmentos líticos de color rojo oscuro. La matriz es criptocristalina a microcristalina, con microlitos de cuarzo, plagioclasa, sanidinos y espículas de vidrio (Figura 31 y 32).



**En la Fig. 31** Fotografía tomada con objetivo 5x, con luz plana. Se observa una matriz consolidada formada por espículas de vidrio, material criptocristalino y microlitos de cuarzo y plagioclasa.

**En la Fig. 32** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se aprecian fenocristales de plagioclasa y cuarzo muy fracturados, microlitos de cuarzo y material criptocristalino.

**Clasificación.** Ignimbrita con débil soldamiento.

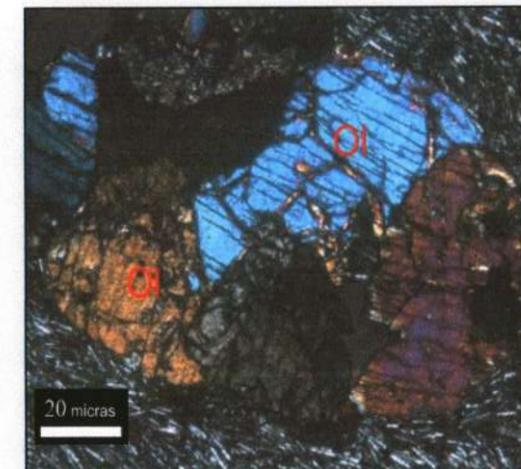
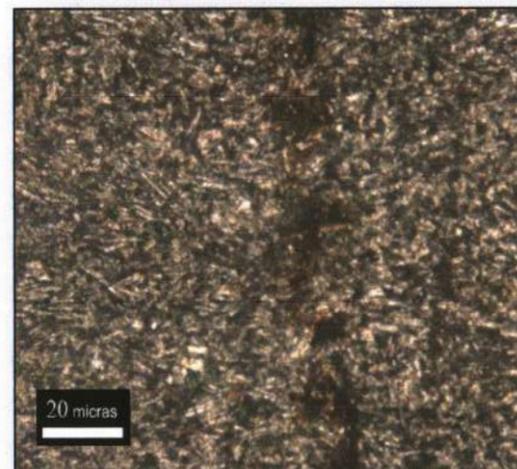
**A.9. MUESTRA: (EAQ8) Basalto Dos Aguas.**

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento, la roca se observa de forma masiva. En muestra de mano tiene una coloración que va de negro a gris oscuro. Se observaron algunas vetillas blancas, óxidos en tonos café y naranja. Tiene una textura afanítica (Figura 33 y 34).



**Figuras 33 y 34.** Basalto, muestra tomada encima de ignimbrita Cuatralba cerca de Santa Rosa de Lima.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca hipocristalina (~90% cristales ~10% matriz). Se observaron escasos fenocristales de olivino en una proporción menor al 5% de forma subidiomorfa, con fracturas irregulares que presentan una ligera alteración, con trazas de exfoliación longitudinal y plagioclasa prismática dispuesta al azar y augita. Su textura es intersticial y subofítica. La matriz, es una pasta microlítica, compuesta por numerosos microlitos de plagioclasa, augita y minerales de hierro (Figura 35 y 36).



**En la Fig. 35** Fotografía tomada con objetivo 4x, con luz plana. Se aprecian microcristales de plagioclasa prismática dispuesta al azar, augita en tonalidades amarillas y una zona de oxidación.

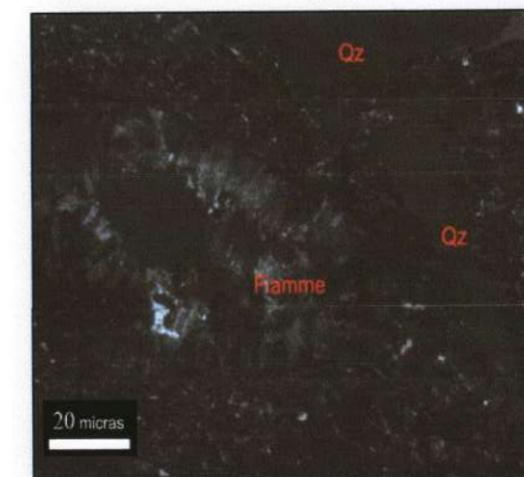
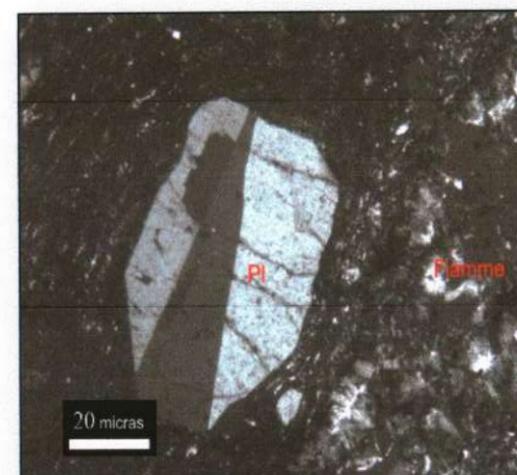
**En la Fig. 36** Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se aprecian olivinos subhedrales, con fractura irregular y exfoliación, rodeados por una pasta microlítica de plagioclasa, augita y algunos óxidos.

**Clasificación.** Basalto

#### A.10. MUESTRA: (EAQ152) Ignimbrita Media Luna.

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:** En el afloramiento, la roca se observa en capas compactas. En muestra de mano, tiene una coloración rosada se observa, bajo grado de intemperismo en zonas de color naranja. Se observaron óxidos y pómez aplastada de color beige. Tiene textura porfídica con fenocristales de cuarzo, sanidino y plagioclasa, en tamaños que van de 0.5 a 1 centímetro. La matriz es afanítica, donde se puede distinguir vidrio.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:** Roca hipocristalina (~10% cristales ~90% vidrio). Se observó cuarzo y plagioclasa de formas subhedral y anhedral, sanidino, vesículas de vidrio claramente reconocibles pero moderadamente distorsionadas con alineación, pocos óxidos, algunos líticos deforma subangular y fiammes rellenas de cuarzo. Su textura es de flujo, compresión y porfídica, formada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa y sanidino. La matriz es criptocristalina a microcristalina con microlitos de cuarzo, plagioclasa y vidrio (Figura 37 y 38).



En la Fig. 37 Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se aprecia un gran fenocristal de plagioclasa y una fiamme ligeramente aplastada, rodeados por vesículas de vidrio en forma alargada con textura de flujo.

En la Fig. 38 Fotografía tomada con objetivo 4x, con nicols cruzados. Se aprecian fragmentos de fenocristal de cuarzo y una fiamme sin aplastar, rodeados por una matriz vítrea.

**Clasificación.** Ignimbrita con moderado soldamiento

# **ANEXOS**

## **2: Geocronológicos**



Tabla 2. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EAS Riolita La Laborcita.

| Zircon-ID_EAS  | U (ppm) <sup>1</sup> |       | Th/U |        | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |        | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |        | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |        | $^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ |       | Rho  | $^{216}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |       | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |        | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |       | Best age (Ma) | $\pm 2\sigma$ | Disc % |
|----------------|----------------------|-------|------|--------|-----------------------------------|--------|----------------------------------|--------|----------------------------------|--------|-----------------------------------|-------|------|----------------------------------|-------|----------------------------------|--------|-----------------------------------|-------|---------------|---------------|--------|
|                | 198.6                | 119.1 | 0.60 | 0.0514 | 0.0069                            | 0.0570 | 0.0064                           | 0.0083 | 0.0003                           | 0.0029 | 0.0002                            | -0.33 |      | 53.3                             | 1.9   | 56.0                             | 6.1    | 630.0                             | 130.0 |               |               |        |
| Zircon-042_EAS | 252                  | 93.1  | 0.37 | 0.0511 | 0.0061                            | 0.0574 | 0.0064                           | 0.0083 | 0.0003                           | 0.0029 | 0.0002                            | -0.33 | 53.3 | 1.9                              | 56.0  | 6.1                              | 630.0  | 130.0                             | 53.3  | 1.9           | 4.82          |        |
| Zircon-043     | 446                  | 268   | 0.60 | 0.0480 | 0.0054                            | 0.0556 | 0.0062                           | 0.0083 | 0.0003                           | 0.0028 | 0.0002                            | -0.05 | 54.4 | 1.5                              | 56.5  | 6.1                              | 312.0  | 79.0                              | 54.4  | 1.5           | 3.72          |        |
| Zircon-044     | 536                  | 137.8 | 0.26 | 0.0478 | 0.0032                            | 0.0566 | 0.0056                           | 0.0084 | 0.0002                           | 0.0026 | 0.0002                            | 0.06  | 53.5 | 1.9                              | 54.9  | 6.0                              | 440.0  | 110.0                             | 53.5  | 1.9           | 2.55          |        |
| Zircon-045     | 488                  | 208.8 | 0.54 | 0.0476 | 0.0034                            | 0.0552 | 0.0058                           | 0.0083 | 0.0002                           | 0.0025 | 0.0002                            | 0.15  | 53.8 | 1.0                              | 55.8  | 3.5                              | 360.0  | 70.0                              | 53.8  | 1.0           | 3.58          |        |
| Zircon-046     | 673                  | 169.5 | 0.25 | 0.0490 | 0.0100                            | 0.0557 | 0.0053                           | 0.0083 | 0.0001                           | 0.0026 | 0.0002                            | 0.49  | 54.4 | 2.7                              | 98.0  | 47.0                             | 1440.0 | 340.0                             | 54.4  | 2.7           | 45.51         |        |
| Zircon-047     | 227.5                | 137.6 | 0.60 | 0.0496 | 0.0050                            | 0.0552 | 0.0053                           | 0.0083 | 0.0001                           | 0.0026 | 0.0002                            | -0.02 | 53.3 | 1.1                              | 54.5  | 3.6                              | 285.0  | 64.0                              | 53.3  | 1.1           | 2.20          |        |
| Zircon-048     | 691                  | 252.1 | 0.36 | 0.0484 | 0.0085                            | 0.0522 | 0.0088                           | 0.0082 | 0.0004                           | 0.0026 | 0.0002                            | 0.14  | 53.1 | 2.2                              | 56.0  | 12.0                             | 900.0  | 530.0                             | 53.1  | 2.2           | 5.18          |        |
| Zircon-049     | 263                  | 218   | 0.83 | 0.0589 | 0.0034                            | 0.0622 | 0.0037                           | 0.0077 | 0.0002                           | 0.0031 | 0.0002                            | -0.07 | 53.1 | 0.9                              | 54.9  | 5.1                              | 460.0  | 120.0                             | 53.1  | 0.9           | 3.24          |        |
| Zircon-050     | 1318                 | 483   | 0.37 | 0.0481 | 0.0022                            | 0.0537 | 0.0024                           | 0.0081 | 0.0001                           | 0.0026 | 0.0002                            | 0.08  | 52.5 | 2.4                              | 51.4  | 8.4                              | 540.0  | 150.0                             | 52.5  | 2.4           | -2.14         |        |
| Zircon-051     | 2241                 | 254   | 0.11 | 0.0489 | 0.0044                            | 0.0545 | 0.0044                           | 0.0079 | 0.0002                           | 0.0026 | 0.0002                            | -0.04 | 49.6 | 1.0                              | 61.2  | 3.5                              | 574.0  | 73.0                              | 49.6  | 1.0           | 19.00         |        |
| Zircon-052     | 434                  | 111.7 | 0.26 | 0.0541 | 0.0056                            | 0.0624 | 0.0066                           | 0.0082 | 0.0002                           | 0.0030 | 0.0002                            | 0.06  | 52.2 | 0.6                              | 53.8  | 4.2                              | 433.0  | 96.0                              | 52.2  | 0.6           | 1.69          |        |
| Zircon-053     | 410                  | 188.6 | 0.46 | 0.0518 | 0.0050                            | 0.0549 | 0.0059                           | 0.0081 | 0.0003                           | 0.0027 | 0.0002                            | 0.18  | 50.8 | 1.2                              | 53.8  | 4.2                              | 433.0  | 96.0                              | 50.8  | 1.2           | 5.58          |        |
| Zircon-054     | 459                  | 397   | 0.86 | 0.0518 | 0.0050                            | 0.0549 | 0.0059                           | 0.0081 | 0.0003                           | 0.0027 | 0.0002                            | 0.43  | 52.8 | 1.3                              | 61.2  | 6.3                              | 626.0  | 92.0                              | 52.8  | 1.3           | 13.73         |        |
| Zircon-055     | 514                  | 187   | 0.36 | 0.0444 | 0.0038                            | 0.0562 | 0.0050                           | 0.0088 | 0.0003                           | 0.0029 | 0.0002                            | 0.14  | 51.8 | 1.7                              | 54.2  | 5.7                              | 340.0  | 99.0                              | 51.8  | 1.7           | 4.43          |        |
| Zircon-056     | 276.7                | 225.6 | 0.82 | 0.0552 | 0.0046                            | 0.0634 | 0.0047                           | 0.0083 | 0.0002                           | 0.0030 | 0.0002                            | -0.29 | 56.5 | 1.7                              | 56.0  | 4.9                              | 223.0  | 64.0                              | 56.5  | 1.7           | -0.89         |        |
| Zircon-057     | 1719                 | 245   | 0.14 | 0.0481 | 0.0026                            | 0.0552 | 0.0050                           | 0.0083 | 0.0001                           | 0.0028 | 0.0002                            | -0.11 | 53.5 | 1.4                              | 62.3  | 4.5                              | 506.0  | 69.0                              | 53.5  | 1.4           | 14.13         |        |
| Zircon-058     | 563                  | 220.1 | 0.39 | 0.0543 | 0.0047                            | 0.0630 | 0.0053                           | 0.0084 | 0.0002                           | 0.0031 | 0.0002                            | -0.07 | 53.8 | 1.1                              | 61.9  | 5.1                              | 530.0  | 82.0                              | 53.8  | 1.1           | 2.51          |        |
| Zircon-059     | 262                  | 130.3 | 0.50 | 0.0504 | 0.0066                            | 0.0546 | 0.0069                           | 0.0081 | 0.0003                           | 0.0029 | 0.0002                            | 0.12  | 52.1 | 1.9                              | 53.7  | 6.6                              | 610.0  | 140.0                             | 52.1  | 1.9           | 13.09         |        |
| Zircon-060     | 210.7                | 224.4 | 1.07 | 0.0490 | 0.0058                            | 0.0552 | 0.0065                           | 0.0085 | 0.0003                           | 0.0026 | 0.0002                            | 0.20  | 54.3 | 2.0                              | 55.3  | 6.5                              | 468.0  | 77.0                              | 54.3  | 2.0           | 2.98          |        |
| Zircon-061     | 139.3                | 56.6  | 0.41 | 0.0580 | 0.0150                            | 0.0600 | 0.0140                           | 0.0086 | 0.0006                           | 0.0038 | 0.0005                            | -0.14 | 55.1 | 3.7                              | 59.0  | 13.0                             | 710.0  | 310.0                             | 55.1  | 3.7           | 1.81          |        |
| Zircon-062     | 1186                 | 310   | 0.26 | 0.0491 | 0.0034                            | 0.0578 | 0.0044                           | 0.0086 | 0.0002                           | 0.0030 | 0.0002                            | 0.61  | 54.9 | 1.3                              | 57.0  | 4.2                              | 243.0  | 58.0                              | 54.9  | 1.3           | 6.61          |        |
| Zircon-063     | 568                  | 59.3  | 0.49 | 0.0468 | 0.0069                            | 0.0641 | 0.0086                           | 0.0088 | 0.0002                           | 0.0030 | 0.0002                            | 0.45  | 56.7 | 1.3                              | 61.8  | 8.0                              | 870.0  | 100.0                             | 56.7  | 1.3           | 3.68          |        |
| Zircon-064     | 1264                 | 315   | 0.25 | 0.0473 | 0.0022                            | 0.0543 | 0.0024                           | 0.0084 | 0.0001                           | 0.0027 | 0.0001                            | -0.04 | 54.2 | 0.8                              | 54.1  | 2.1                              | 165.0  | 35.0                              | 54.2  | 0.8           | -0.13         |        |
| Zircon-065     | 1492                 | 156.3 | 0.10 | 0.0467 | 0.0021                            | 0.0530 | 0.0023                           | 0.0083 | 0.0001                           | 0.0026 | 0.0002                            | -0.16 | 53.1 | 0.7                              | 52.4  | 2.2                              | 221.0  | 54.0                              | 53.1  | 0.7           | -1.30         |        |
| Zircon-066     | 412                  | 330   | 0.80 | 0.0489 | 0.0046                            | 0.0542 | 0.0049                           | 0.0081 | 0.0002                           | 0.0027 | 0.0001                            | 0.17  | 52.1 | 1.1                              | 54.1  | 4.5                              | 369.0  | 95.0                              | 52.1  | 1.1           | 3.70          |        |
| Zircon-067     | 288.5                | 137.8 | 0.48 | 0.0495 | 0.0047                            | 0.0568 | 0.0058                           | 0.0083 | 0.0003                           | 0.0026 | 0.0002                            | 0.12  | 53.4 | 1.9                              | 56.7  | 5.4                              | 480.0  | 130.0                             | 53.4  | 1.9           | 5.82          |        |
| Zircon-068     | 127                  | 51.7  | 0.41 | 0.0437 | 0.0081                            | 0.0511 | 0.0089                           | 0.0086 | 0.0003                           | 0.0032 | 0.0003                            | -0.24 | 55.3 | 2.0                              | 51.3  | 9.0                              | 680.0  | 170.0                             | 55.3  | 2.0           | -7.80         |        |
| Zircon-069     | 1078                 | 453   | 0.42 | 0.0467 | 0.0025                            | 0.0543 | 0.0028                           | 0.0084 | 0.0002                           | 0.0027 | 0.0001                            | 0.09  | 54.1 | 1.0                              | 53.6  | 2.7                              | 147.0  | 43.0                              | 54.1  | 1.0           | -0.86         |        |
| Zircon-070     | 997                  | 409   | 0.41 | 0.0477 | 0.0026                            | 0.0547 | 0.0036                           | 0.0079 | 0.0001                           | 0.0026 | 0.0001                            | 0.04  | 50.8 | 1.1                              | 51.9  | 2.6                              | 277.0  | 68.0                              | 51.1  | 0.9           | 1.60          |        |
| Zircon-071     | 559                  | 171.6 | 0.31 | 0.0515 | 0.0038                            | 0.0547 | 0.0036                           | 0.0079 | 0.0001                           | 0.0026 | 0.0001                            | -0.23 | 50.8 | 1.1                              | 54.0  | 3.4                              | 354.0  | 74.0                              | 50.8  | 1.1           | 5.93          |        |
| Zircon-072     | 492                  | 94.3  | 0.49 | 0.0499 | 0.0080                            | 0.0547 | 0.0086                           | 0.0085 | 0.0003                           | 0.0028 | 0.0002                            | 0.44  | 54.5 | 5.2                              | 114.0 | 30.0                             | 1660.0 | 370.0                             | 54.5  | 5.2           | 52.19         |        |
| Zircon-073     | 277                  | 166   | 0.60 | 0.0503 | 0.0044                            | 0.0548 | 0.0046                           | 0.0081 | 0.0003                           | 0.0028 | 0.0002                            | 0.03  | 51.7 | 1.6                              | 54.8  | 4.6                              | 410.0  | 100.0                             | 51.7  | 1.6           | 5.66          |        |
| Zircon-074     | 153                  | 107   | 0.70 | 0.0590 | 0.0085                            | 0.0657 | 0.0086                           | 0.0085 | 0.0003                           | 0.0031 | 0.0003                            | 0.18  | 54.5 | 2.1                              | 64.4  | 8.3                              | 710.0  | 110.0                             | 54.5  | 2.1           | 15.37         |        |
| Zircon-075     | 1183                 | 280.9 | 0.24 | 0.0489 | 0.0030                            | 0.0551 | 0.0032                           | 0.0082 | 0.0001                           | 0.0026 | 0.0002                            | 0.16  | 52.8 | 0.9                              | 54.5  | 3.1                              | 217.0  | 61.0                              | 52.8  | 0.9           | 3.17          |        |
| Zircon-076     | 248                  | 133   | 0.54 | 0.0484 | 0.0072                            | 0.0537 | 0.0067                           | 0.0079 | 0.0003                           | 0.0029 | 0.0003                            | -0.25 | 51.0 | 2.0                              | 53.0  | 6.4                              | 400.0  | 120.0                             | 51.0  | 2.0           | 3.77          |        |
| Zircon-077     | 2018                 | 192.2 | 0.10 | 0.0479 | 0.0023                            | 0.0555 | 0.0026                           | 0.0084 | 0.0001                           | 0.0031 | 0.0002                            | -0.06 | 53.9 | 0.7                              | 54.8  | 2.5                              | 190.0  | 57.0                              | 53.9  | 0.7           | 1.73          |        |
| Zircon-078     | 1540                 | 140   | 0.09 | 0.0469 | 0.0023                            | 0.0546 | 0.0029                           | 0.0085 | 0.0001                           | 0.0028 | 0.0002                            | 0.30  | 54.6 | 0.6                              | 54.0  | 2.8                              | 101.0  | 39.0                              | 54.6  | 0.6           | -1.13         |        |
| Zircon-079     | 4610                 | 500   | 0.11 | 0.0477 | 0.0023                            | 0.0566 | 0.0027                           | 0.0087 | 0.0001                           | 0.0029 | 0.0002                            | -0.01 | 56.0 | 0.7                              | 55.9  | 2.6                              | 168.0  | 38.0                              | 56.0  | 0.7           | -0.14         |        |
| Zircon-080     | 383                  | 102.3 | 0.27 | 0.0681 | 0.0046                            | 0.0818 | 0.0055                           | 0.0089 | 0.0003                           | 0.0038 | 0.0003                            | 0.44  | 56.8 | 1.9                              | 79.8  | 5.2                              | 838.0  | 82.0                              | 56.8  | 1.9           | 28.82         |        |

Tabla 3. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA9 Igmibrita Cuatralba.

| Zircon-EA9     | U (ppm) <sup>1</sup> | Th (ppm) <sup>1</sup> | Th/U | CORRECTED RATIOS <sup>2</sup>                |                                             |                                             | CORRECTED AGES (Ma)                          |        |                                         |                                         |                                          | Disc % |                   |       |      |        |       |        |       |       |
|----------------|----------------------|-----------------------|------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|--------|-------------------|-------|------|--------|-------|--------|-------|-------|
|                |                      |                       |      | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb ±2σ abs | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±2σ abs | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U ±2σ abs | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th ±2σ abs | Rho    | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb ±2σ |        | Best age (Ma) ±2σ |       |      |        |       |        |       |       |
| Zircon-001_EA9 | 63                   | 37.4                  | 0.43 | 0.1440                                       | 0.0360                                      | 0.0260                                      | 0.0059                                       | 0.0006 | 0.0054                                  | 0.0013                                  | 0.55                                     | 37.8   | 37.7              | 114.0 | 34.0 | 3550.0 | 160.0 | 2550.0 | 160.0 | 66.54 |
| Zircon-002     | 72.4                 | 35.3                  | 0.49 | 0.1460                                       | 0.0320                                      | 0.0150                                      | 0.0057                                       | 0.0003 | 0.0055                                  | 0.0006                                  | 0.13                                     | 36.9   | 34.9              | 119.0 | 14.0 | 2480.0 | 120.0 | 2480.0 | 120.0 | 68.59 |
| Zircon-003     | 428                  | 183                   | 0.43 | 0.1671                                       | 0.0094                                      | 0.0063                                      | 0.0055                                       | 0.0002 | 0.0059                                  | 0.0004                                  | 0.18                                     | 35.6   | 34.0              | 110.3 | 5.6  | 2523.0 | 77.0  | 2523.0 | 77.0  | 70.16 |
| Zircon-004     | 42.5                 | 16.8                  | 0.40 | 0.2730                                       | 0.0780                                      | 0.0770                                      | 0.0067                                       | 0.0005 | 0.0116                                  | 0.0037                                  | 0.37                                     | 45.3   | 34.4              | 230.0 | 57.0 | 2270.0 | 200.0 | 2270.0 | 200.0 | 81.88 |
| Zircon-005     | 76.2                 | 35.5                  | 0.47 | 0.2760                                       | 0.0720                                      | 0.0580                                      | 0.0069                                       | 0.0006 | 0.0099                                  | 0.0034                                  | 0.24                                     | 44.1   | 4.1               | 317.0 | 48.0 | 2200.0 | 220.0 | 2200.0 | 220.0 | 79.68 |
| Zircon-006     | 480                  | 206.8                 | 0.43 | 0.0515                                       | 0.0058                                      | 0.0355                                      | 0.0050                                       | 0.0002 | 0.0017                                  | 0.0001                                  | 0.01                                     | 32.4   | 1.1               | 35.3  | 3.8  | 459.0  | 97.0  | 32.4   | 1.1   | 8.22  |
| Zircon-007     | 103                  | 40.43                 | 0.39 | 0.0555                                       | 0.0098                                      | 0.0357                                      | 0.0060                                       | 0.0051 | 0.0018                                  | 0.0003                                  | 0.05                                     | 32.7   | 1.3               | 35.4  | 5.9  | 900.0  | 220.0 | 32.7   | 1.3   | 7.63  |
| Zircon-008     | 169                  | 60.2                  | 0.36 | 0.2560                                       | 0.0080                                      | 0.0340                                      | 0.0078                                       | 0.0003 | 0.0126                                  | 0.0010                                  | 0.15                                     | 50.3   | 1.7               | 326.0 | 15.0 | 2761.0 | 62.0  | 2761.0 | 62.0  | 86.03 |
| Zircon-009     | 180.8                | 101.8                 | 0.56 | 0.0519                                       | 0.0071                                      | 0.0358                                      | 0.0047                                       | 0.0051 | 0.0019                                  | 0.0002                                  | 0.00                                     | 32.6   | 0.8               | 35.6  | 4.6  | 720.0  | 180.0 | 32.6   | 0.8   | 8.40  |
| Zircon-010     | 64.3                 | 32.17                 | 0.50 | 0.0570                                       | 0.0150                                      | 0.0332                                      | 0.0075                                       | 0.0051 | 0.0018                                  | 0.0002                                  | 0.04                                     | 31.6   | 0.9               | 37.1  | 3.6  | 472.0  | 96.0  | 31.6   | 0.9   | 14.91 |
| Zircon-011     | 314.9                | 123.8                 | 0.39 | 0.0562                                       | 0.0060                                      | 0.0373                                      | 0.0037                                       | 0.0049 | 0.0019                                  | 0.0002                                  | 0.05                                     | 33.5   | 1.3               | 34.5  | 3.9  | 465.0  | 99.0  | 33.5   | 1.3   | 2.90  |
| Zircon-012     | 204.4                | 89.6                  | 0.44 | 0.0489                                       | 0.0063                                      | 0.0346                                      | 0.0039                                       | 0.0052 | 0.0019                                  | 0.0003                                  | 0.07                                     | 32.0   | 2.1               | 35.9  | 9.2  | 760.0  | 230.0 | 32.0   | 2.1   | 10.86 |
| Zircon-013     | 93.9                 | 39.5                  | 0.42 | 0.0540                                       | 0.0150                                      | 0.0363                                      | 0.0094                                       | 0.0050 | 0.0022                                  | 0.0003                                  | 0.19                                     | 31.2   | 0.9               | 44.3  | 6.2  | 800.0  | 130.0 | 32.5   | 1.3   | 26.64 |
| Zircon-014     | 504                  | 267.4                 | 0.53 | 0.0644                                       | 0.0093                                      | 0.0446                                      | 0.0064                                       | 0.0051 | 0.0021                                  | 0.0002                                  | 0.05                                     | 31.2   | 0.9               | 32.0  | 4.2  | 870.0  | 200.0 | 31.2   | 0.9   | 2.41  |
| Zircon-015     | 180                  | 73.1                  | 0.41 | 0.0494                                       | 0.0069                                      | 0.0322                                      | 0.0043                                       | 0.0049 | 0.0019                                  | 0.0002                                  | -0.05                                    | 32.0   | 1.3               | 44.3  | 6.2  | 800.0  | 130.0 | 32.5   | 1.3   | 26.64 |
| Zircon-016     | 124.3                | 67.2                  | 0.54 | 0.1840                                       | 0.0240                                      | 0.0480                                      | 0.0090                                       | 0.0059 | 0.0099                                  | 0.0006                                  | 0.28                                     | 37.6   | 2.6               | 130.0 | 16.0 | 2740.0 | 150.0 | 2740.0 | 150.0 | 72.05 |
| Zircon-017     | 69.2                 | 35.04                 | 0.51 | 0.0640                                       | 0.0120                                      | 0.0429                                      | 0.0085                                       | 0.0048 | 0.0016                                  | 0.0003                                  | 0.12                                     | 31.1   | 2.1               | 42.3  | 8.2  | 870.0  | 150.0 | 31.1   | 2.1   | 26.48 |
| Zircon-018     | 176                  | 106.3                 | 0.60 | 0.0940                                       | 0.0130                                      | 0.0655                                      | 0.0092                                       | 0.0064 | 0.0025                                  | 0.0003                                  | 0.24                                     | 32.8   | 1.4               | 64.1  | 8.8  | 1400.0 | 160.0 | 1400.0 | 160.0 | 48.53 |
| Zircon-019     | 111.3                | 56.9                  | 0.51 | 0.0620                                       | 0.0100                                      | 0.0430                                      | 0.0064                                       | 0.0051 | 0.0020                                  | 0.0002                                  | -0.09                                    | 32.7   | 1.7               | 42.5  | 6.2  | 880.0  | 170.0 | 32.7   | 1.7   | 23.06 |
| Zircon-020     | 66.7                 | 34.33                 | 0.51 | 0.0510                                       | 0.0100                                      | 0.0376                                      | 0.0075                                       | 0.0053 | 0.0017                                  | 0.0004                                  | -0.07                                    | 34.0   | 3.1               | 37.3  | 7.3  | 940.0  | 280.0 | 34.0   | 3.1   | 8.85  |
| Zircon-021     | 185.7                | 84.7                  | 0.46 | 0.1160                                       | 0.0140                                      | 0.0720                                      | 0.0060                                       | 0.0050 | 0.0037                                  | 0.0003                                  | -0.06                                    | 34.9   | 1.5               | 75.2  | 6.5  | 1460.0 | 140.0 | 1460.0 | 140.0 | 57.88 |
| Zircon-022     | 108.6                | 46.2                  | 0.43 | 0.0505                                       | 0.0089                                      | 0.0321                                      | 0.0049                                       | 0.0049 | 0.0018                                  | 0.0002                                  | 0.11                                     | 31.6   | 1.2               | 31.9  | 6.0  | 800.0  | 160.0 | 31.6   | 1.2   | 0.94  |
| Zircon-023     | 98.3                 | 47.1                  | 0.48 | 0.0486                                       | 0.0072                                      | 0.0327                                      | 0.0049                                       | 0.0049 | 0.0015                                  | 0.0002                                  | -0.02                                    | 31.6   | 1.2               | 32.6  | 4.8  | 530.0  | 130.0 | 31.6   | 1.2   | 3.07  |
| Zircon-024     | 75.3                 | 46.3                  | 0.61 | 0.0680                                       | 0.0210                                      | 0.0430                                      | 0.0130                                       | 0.0050 | 0.0016                                  | 0.0004                                  | 0.13                                     | 32.1   | 2.5               | 42.0  | 13.0 | 1090.0 | 270.0 | 32.1   | 2.5   | 23.57 |
| Zircon-025     | 82.1                 | 47.7                  | 0.58 | 0.0610                                       | 0.0150                                      | 0.0406                                      | 0.0091                                       | 0.0052 | 0.0019                                  | 0.0003                                  | -0.01                                    | 33.3   | 2.7               | 42.6  | 7.9  | 940.0  | 270.0 | 33.3   | 2.7   | 21.83 |
| Zircon-026     | 130.6                | 60                    | 0.46 | 0.0560                                       | 0.0110                                      | 0.0383                                      | 0.0068                                       | 0.0049 | 0.0016                                  | 0.0002                                  | 0.13                                     | 31.6   | 1.4               | 37.9  | 6.7  | 470.0  | 110.0 | 31.6   | 1.4   | 16.62 |
| Zircon-027     | 250.2                | 110.6                 | 0.44 | 0.0479                                       | 0.0053                                      | 0.0322                                      | 0.0035                                       | 0.0048 | 0.0014                                  | 0.0001                                  | 0.10                                     | 31.0   | 0.9               | 32.1  | 3.4  | 392.0  | 82.0  | 31.0   | 0.9   | 3.52  |
| Zircon-028     | 189                  | 76                    | 0.40 | 0.0497                                       | 0.0082                                      | 0.0379                                      | 0.0062                                       | 0.0048 | 0.0017                                  | 0.0002                                  | 0.25                                     | 34.7   | 1.7               | 37.6  | 6.1  | 630.0  | 180.0 | 34.7   | 1.7   | 7.71  |
| Zircon-029     | 142                  | 62.9                  | 0.44 | 0.0507                                       | 0.0089                                      | 0.0337                                      | 0.0054                                       | 0.0049 | 0.0018                                  | 0.0002                                  | -0.29                                    | 31.4   | 1.2               | 33.6  | 5.3  | 640.0  | 140.0 | 31.4   | 1.2   | 6.55  |
| Zircon-030     | 229.1                | 119.4                 | 0.52 | 0.0529                                       | 0.0073                                      | 0.0360                                      | 0.0050                                       | 0.0049 | 0.0015                                  | 0.0002                                  | 0.21                                     | 31.2   | 1.0               | 35.8  | 4.9  | 500.0  | 120.0 | 31.2   | 1.0   | 12.85 |
| Zircon-031     | 258.6                | 220.1                 | 0.89 | 0.3480                                       | 0.0280                                      | 0.2280                                      | 0.0090                                       | 0.0081 | 0.0080                                  | 0.0087                                  | 0.50                                     | 52.1   | 2.1               | 328.0 | 21.0 | 2712.0 | 82.0  | 2712.0 | 82.0  | 84.59 |
| Zircon-032     | 189.2                | 94.8                  | 0.50 | 0.0527                                       | 0.0083                                      | 0.0344                                      | 0.0051                                       | 0.0048 | 0.0017                                  | 0.0002                                  | 0.00                                     | 30.7   | 1.5               | 34.2  | 5.0  | 590.0  | 140.0 | 30.7   | 1.5   | 10.23 |
| Zircon-033     | 175.3                | 74.2                  | 0.42 | 0.0480                                       | 0.0060                                      | 0.0311                                      | 0.0037                                       | 0.0048 | 0.0014                                  | 0.0002                                  | 0.06                                     | 30.8   | 1.1               | 31.6  | 3.8  | 470.0  | 120.0 | 30.8   | 1.1   | 2.53  |
| Zircon-034     | 138.7                | 74.6                  | 0.54 | 0.0513                                       | 0.0089                                      | 0.0367                                      | 0.0063                                       | 0.0049 | 0.0015                                  | 0.0002                                  | -0.04                                    | 31.8   | 1.4               | 36.5  | 6.1  | 600.0  | 180.0 | 31.8   | 1.4   | 12.88 |
| Zircon-035     | 123.3                | 69.4                  | 0.56 | 0.0469                                       | 0.0078                                      | 0.0345                                      | 0.0057                                       | 0.0051 | 0.0014                                  | 0.0002                                  | 0.11                                     | 32.6   | 1.3               | 36.0  | 5.3  | 640.0  | 170.0 | 32.6   | 1.3   | 9.44  |
| Zircon-036     | 56.5                 | 37.2                  | 0.66 | 0.0500                                       | 0.0140                                      | 0.0307                                      | 0.0083                                       | 0.0048 | 0.0018                                  | 0.0002                                  | 0.11                                     | 31.0   | 1.7               | 30.3  | 8.2  | 900.0  | 210.0 | 31.0   | 1.7   | -2.31 |
| Zircon-037     | 298.7                | 181.4                 | 0.61 | 0.0537                                       | 0.0079                                      | 0.0360                                      | 0.0051                                       | 0.0048 | 0.0017                                  | 0.0001                                  | -0.18                                    | 31.0   | 1.2               | 35.8  | 5.0  | 620.0  | 190.0 | 31.0   | 1.2   | 13.41 |
| Zircon-038_EA9 | 285.1                | 127.1                 | 0.45 | 0.0485                                       | 0.0059                                      | 0.0314                                      | 0.0037                                       | 0.0048 | 0.0014                                  | 0.0001                                  | 0.19                                     | 30.6   | 0.9               | 31.3  | 3.6  | 580.0  | 130.0 | 30.6   | 0.9   | 2.90  |

Tabla 4. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA6 Ignimbrita La Media Luna.

|                | U (ppm) <sup>1</sup> | Th (ppm) <sup>1</sup> | Th/U | CORRECTED RATIOS <sup>2</sup>               |                                             |                                              | CORRECTED AGES (Ma)                     |                                         |                                         | Best age (Ma) | Disc % |       |       |      |       |
|----------------|----------------------|-----------------------|------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|--------|-------|-------|------|-------|
|                |                      |                       |      | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±2σ abs | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±2σ abs | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th ±2σ abs | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±2σ |               |        |       |       |      |       |
| Zircon-117_EA6 | 842                  | 399.2                 | 0.47 | 0.0467                                      | 0.0036                                      | 0.0236                                       | 0.0018                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.09  | 23.9  | 0.4  | -0.76 |
| Zircon-118     | 1147                 | 563                   | 0.49 | 0.0497                                      | 0.0036                                      | 0.0264                                       | 0.0018                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | -0.04 | 24.6  | 0.4  | 7.28  |
| Zircon-119     | 1714                 | 919                   | 0.54 | 0.0482                                      | 0.0026                                      | 0.0257                                       | 0.0013                                  | 0.0039                                  | 0.0001                                  | 0.0013        | 0.0001 | 0.01  | 25.0  | 0.4  | 3.22  |
| Zircon-120     | 668                  | 363                   | 0.54 | 0.0480                                      | 0.0046                                      | 0.0248                                       | 0.0023                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.18  | 24.1  | 0.5  | 3.17  |
| Zircon-121     | 841                  | 370.1                 | 0.44 | 0.0478                                      | 0.0039                                      | 0.0238                                       | 0.0018                                  | 0.0036                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.17  | 23.2  | 0.4  | 2.93  |
| Zircon-122     | 839                  | 358                   | 0.43 | 0.0639                                      | 0.0055                                      | 0.0328                                       | 0.0026                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0015        | 0.0001 | -0.04 | 24.1  | 0.6  | 26.18 |
| Zircon-123     | 1362                 | 509                   | 0.37 | 0.0559                                      | 0.0044                                      | 0.0294                                       | 0.0022                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0014        | 0.0001 | 0.02  | 24.4  | 0.7  | 17.04 |
| Zircon-124     | 615.2                | 296.9                 | 0.48 | 0.0480                                      | 0.0056                                      | 0.0246                                       | 0.0018                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.17  | 24.4  | 0.5  | 2.17  |
| Zircon-125     | 231.1                | 91.2                  | 0.39 | 0.0699                                      | 0.0099                                      | 0.0349                                       | 0.0047                                  | 0.0036                                  | 0.0001                                  | 0.0017        | 0.0002 | 0.12  | 23.3  | 0.9  | 32.74 |
| Zircon-126     | 966                  | 463                   | 0.50 | 0.0548                                      | 0.0038                                      | 0.0276                                       | 0.0016                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0013        | 0.0001 | -0.21 | 23.6  | 0.4  | 66.20 |
| Zircon-127     | 873                  | 426.8                 | 0.49 | 0.0440                                      | 0.0040                                      | 0.0256                                       | 0.0016                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0013        | 0.0001 | -0.21 | 23.6  | 0.5  | 14.35 |
| Zircon-128     | 1653                 | 886                   | 0.54 | 0.0462                                      | 0.0036                                      | 0.0244                                       | 0.0018                                  | 0.0039                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.11  | 24.8  | 0.5  | 49.20 |
| Zircon-129     | 756                  | 334                   | 0.44 | 0.0655                                      | 0.0035                                      | 0.0354                                       | 0.0018                                  | 0.0039                                  | 0.0001                                  | 0.0016        | 0.0001 | 0.33  | 25.4  | 0.3  | -1.22 |
| Zircon-130     | 1610                 | 673                   | 0.42 | 0.0473                                      | 0.0030                                      | 0.0241                                       | 0.0015                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.20  | 24.2  | 0.4  | 27.93 |
| Zircon-131     | 871                  | 425.2                 | 0.49 | 0.0585                                      | 0.0053                                      | 0.0290                                       | 0.0021                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0015        | 0.0002 | -0.11 | 23.7  | 0.6  | 18.21 |
| Zircon-132     | 639                  | 263.1                 | 0.41 | 0.0546                                      | 0.0043                                      | 0.0286                                       | 0.0022                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0013        | 0.0001 | 0.10  | 24.4  | 0.4  | 15.05 |
| Zircon-133     | 1114                 | 440                   | 0.39 | 0.0577                                      | 0.0048                                      | 0.0303                                       | 0.0026                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0013        | 0.0001 | 0.25  | 24.6  | 0.6  | 18.98 |
| Zircon-134     | 921                  | 429                   | 0.47 | 0.0466                                      | 0.0029                                      | 0.0247                                       | 0.0014                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | -0.04 | 24.7  | 0.4  | 0.48  |
| Zircon-135     | 1471                 | 681                   | 0.46 | 0.0521                                      | 0.0033                                      | 0.0277                                       | 0.0015                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.19  | 24.6  | 0.6  | 11.08 |
| Zircon-136     | 1538                 | 698                   | 0.45 | 0.0515                                      | 0.0055                                      | 0.0267                                       | 0.0015                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.04  | 24.4  | 0.7  | 8.65  |
| Zircon-137     | 602                  | 321                   | 0.53 | 0.0478                                      | 0.0098                                      | 0.0221                                       | 0.0040                                  | 0.0037                                  | 0.0002                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.09  | 23.5  | 1.1  | -6.33 |
| Zircon-138     | 162                  | 61.3                  | 0.38 | 0.0493                                      | 0.0060                                      | 0.0498                                       | 0.0020                                  | 0.0040                                  | 0.0004                                  | 0.0022        | 0.0001 | 0.20  | 25.7  | 0.5  | 47.47 |
| Zircon-139     | 972                  | 454                   | 0.45 | 0.0441                                      | 0.0062                                      | 0.0453                                       | 0.0027                                  | 0.0041                                  | 0.0004                                  | 0.0021        | 0.0001 | 0.45  | 26.5  | 0.5  | 49.27 |
| Zircon-140     | 1729                 | 1180                  | 0.68 | 0.0614                                      | 0.0050                                      | 0.0314                                       | 0.0022                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0015        | 0.0001 | -0.05 | 24.0  | 0.6  | 23.47 |
| Zircon-141     | 684                  | 354.7                 | 0.52 | 0.0512                                      | 0.0058                                      | 0.0259                                       | 0.0026                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0013        | 0.0001 | -0.23 | 24.1  | 0.7  | 7.35  |
| Zircon-142     | 601                  | 212.2                 | 0.35 | 0.0496                                      | 0.0038                                      | 0.0248                                       | 0.0017                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | 0.03  | 24.0  | 0.5  | 3.69  |
| Zircon-143     | 867                  | 387.9                 | 0.45 | 0.0489                                      | 0.0034                                      | 0.0253                                       | 0.0016                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | -0.12 | 24.5  | 0.4  | 3.50  |
| Zircon-144     | 1122                 | 628                   | 0.56 | 0.0483                                      | 0.0032                                      | 0.0252                                       | 0.0013                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | -0.33 | 24.6  | 0.6  | 2.96  |
| Zircon-145     | 1491                 | 830                   | 0.56 | 0.0478                                      | 0.0046                                      | 0.0250                                       | 0.0020                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | -0.28 | 23.5  | 0.6  | 6.04  |
| Zircon-146     | 786                  | 311                   | 0.40 | 0.0456                                      | 0.0040                                      | 0.0237                                       | 0.0019                                  | 0.0037                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | -0.13 | 24.0  | 0.5  | -0.71 |
| Zircon-147     | 637                  | 329                   | 0.52 | 0.0552                                      | 0.0048                                      | 0.0290                                       | 0.0024                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0014        | 0.0001 | 0.04  | 24.6  | 0.6  | 15.24 |
| Zircon-148     | 649                  | 352.4                 | 0.54 | 0.0650                                      | 0.0110                                      | 0.0452                                       | 0.0073                                  | 0.0049                                  | 0.0002                                  | 0.0020        | 0.0002 | -0.35 | 31.5  | 1.5  | 29.69 |
| Zircon-149     | 254.4                | 157.3                 | 0.62 | 0.0511                                      | 0.0040                                      | 0.0259                                       | 0.0018                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0013        | 0.0001 | 0.20  | 24.5  | 0.4  | 5.44  |
| Zircon-150     | 1348                 | 597                   | 0.44 | 0.0800                                      | 0.0110                                      | 0.0408                                       | 0.0051                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0020        | 0.0002 | -0.07 | 24.2  | 0.8  | 40.30 |
| Zircon-151     | 480                  | 208.6                 | 0.43 | 0.0460                                      | 0.0100                                      | 0.0276                                       | 0.0020                                  | 0.0054                                  | 0.0005                                  | 0.0017        | 0.0004 | -0.46 | 24.6  | 0.5  | 86.38 |
| Zircon-152     | 128.4                | 38                    | 0.30 | 0.0481                                      | 0.0032                                      | 0.0248                                       | 0.0014                                  | 0.0038                                  | 0.0001                                  | 0.0012        | 0.0001 | -0.29 | 24.7  | 0.4  | 0.64  |
| Zircon-153_EA6 | 1515                 | 692                   | 0.46 |                                             |                                             |                                              |                                         |                                         |                                         |               |        |       | 287.0 | 85.0 |       |



Tabla 6. Datos analíticos de las dataciones U/Pi en la muestra EA 152 Igmbrita La Media Luna.

| (ppm)              | P    | Ti    | Y    | Nb    | La     | Ce    | Pr    | Nd    | Sm    | Eu    | Gd    | Tb    | Dy    | Ho    | Er   | Yb   | Lu    | Hf    | Pb  | Th    | U    |
|--------------------|------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-----|-------|------|
| Zircon-001_EAQ-152 | 551  | 888   | 7640 | 18    | 0.03   | 69    | 0.525 | 10.7  | 31    | 0.35  | 203   | 72.1  | 830   | 297   | 1179 | 1640 | 288   | 7340  | 5.2 | 611   | 1371 |
| Zircon-002         | 361  | 956   | 4670 | 45.7  | 0.015  | 99.2  | 0.254 | 5.32  | 16.8  | 0.207 | 122.6 | 43.1  | 499   | 175   | 700  | 996  | 175   | 7580  | 7.9 | 1176  | 2020 |
| Zircon-003         | 300  | 928   | 2320 | 11.6  | 0      | 41.9  | 0.218 | 4.57  | 10    | 0.138 | 64.1  | 21.9  | 247   | 87.7  | 352  | 541  | 102.6 | 6400  | 2.4 | 300   | 583  |
| Zircon-004         | 402  | 8.8   | 3350 | 20.2  | 4.45   | 81.2  | 1.99  | 13.5  | 16.2  | 0.213 | 96.7  | 31.6  | 362   | 127.2 | 511  | 749  | 138.5 | 6730  | 4.0 | 567   | 1049 |
| Zircon-005         | 343  | 10.14 | 2910 | 17.7  | 0      | 53.2  | 0.17  | 3.8   | 10.94 | 0.125 | 78    | 26.3  | 301   | 107.2 | 435  | 653  | 120.4 | 7510  | 3.7 | 457   | 975  |
| Zircon-006         | 414  | 9.34  | 7440 | 18.8  | 0.023  | 64.1  | 0.469 | 11    | 28.6  | 0.357 | 200   | 67.7  | 794   | 284   | 1139 | 1610 | 284   | 7780  | 5.3 | 561   | 1320 |
| Zircon-007         | 340  | 10.32 | 2320 | 10.83 | 2.71   | 48.6  | 1.29  | 10.44 | 13    | 0.184 | 68.2  | 22.1  | 247   | 86.6  | 354  | 537  | 103.1 | 6320  | 2.4 | 364   | 584  |
| Zircon-008         | 429  | 9.01  | 1579 | 15.76 | 0.17   | 12.7  | 0.19  | 2.34  | 5.47  | 0.15  | 36.2  | 12.81 | 155.5 | 57.6  | 243  | 398  | 75.4  | 11220 | 3.3 | 226   | 610  |
| Zircon-009         | 313  | 9.19  | 3520 | 6.58  | 0.599  | 25    | 0.393 | 6.61  | 15.7  | 0.21  | 95.9  | 32.5  | 372   | 132.1 | 542  | 810  | 149.7 | 7000  | 1.7 | 178   | 437  |
| Zircon-010         | 289  | 9.76  | 3410 | 4.7   | 0.0017 | 21.6  | 0.328 | 7.79  | 17.4  | 0.252 | 102.2 | 32.8  | 361   | 127.8 | 516  | 768  | 144.7 | 6640  | 1.6 | 160.4 | 390  |
| Zircon-011         | 363  | 9.68  | 2760 | 15.06 | 0      | 49.5  | 0.119 | 3.21  | 10.03 | 0.107 | 71.7  | 24.5  | 282   | 103.5 | 417  | 636  | 117   | 6750  | 2.7 | 258   | 704  |
| Zircon-012         | 332  | 7.75  | 3970 | 8.66  | 0.032  | 39.5  | 0.349 | 7.45  | 18.8  | 0.211 | 120   | 38.4  | 428   | 152   | 609  | 890  | 164   | 6320  | 2.1 | 218   | 522  |
| Zircon-013         | 206  | 9.26  | 1480 | 5.43  | 0      | 22.9  | 0.159 | 3.66  | 7.68  | 0.082 | 41.7  | 13.11 | 150   | 54.4  | 227  | 370  | 74    | 6440  | 0.8 | 71.5  | 207  |
| Zircon-014         | 2290 | 19.8  | 7030 | 17.8  | 277    | 780   | 114   | 600   | 178   | 1.01  | 338   | 83    | 812   | 272   | 1070 | 1480 | 260   | 6950  | 4.5 | 501   | 1150 |
| Zircon-015         | 326  | 7.73  | 2160 | 10.05 | 0      | 38.4  | 0.153 | 3.45  | 8.98  | 0.06  | 60.3  | 19.63 | 222   | 81.5  | 337  | 518  | 96.4  | 6160  | 1.9 | 193.1 | 491  |
| Zircon-016         | 252  | 10.4  | 1530 | 5.91  | 0      | 23.9  | 0.142 | 3.26  | 7.16  | 0.126 | 39.1  | 13.6  | 159   | 56    | 237  | 375  | 75.6  | 7000  | 1.3 | 151   | 331  |
| Zircon-017         | 229  | 9.23  | 3310 | 4.55  | 0.021  | 20.3  | 0.335 | 7.93  | 16.7  | 0.228 | 100.7 | 30.8  | 353   | 125.8 | 508  | 771  | 145   | 6750  | 1.4 | 160   | 393  |
| Zircon-018         | 383  | 10.06 | 2920 | 15.6  | 0      | 53.2  | 0.144 | 4.16  | 11    | 0.106 | 73    | 25.2  | 300   | 108   | 438  | 680  | 125.5 | 7400  | 2.5 | 229   | 669  |
| Zircon-019         | 329  | 9.76  | 2500 | 13.17 | 0.0027 | 46.4  | 0.131 | 3.66  | 10.4  | 0.106 | 68.9  | 23.3  | 260   | 95.7  | 374  | 574  | 107.1 | 6800  | 2.8 | 353   | 703  |
| Zircon-020         | 435  | 8.9   | 5370 | 26.8  | 0.013  | 73.3  | 0.253 | 6.4   | 20    | 0.266 | 142   | 47.1  | 556   | 204   | 321  | 497  | 92.3  | 7170  | 2.3 | 246   | 598  |
| Zircon-021         | 308  | 9.23  | 2100 | 10.97 | 0      | 36.6  | 0.17  | 2.8   | 7.69  | 0.095 | 56.9  | 18.9  | 217   | 77.7  | 321  | 497  | 92.3  | 7170  | 2.3 | 246   | 598  |
| Zircon-022         | 419  | 9.8   | 3290 | 16.2  | 0      | 61.4  | 0.214 | 4.53  | 13.6  | 0.185 | 89.2  | 30    | 349   | 123   | 497  | 784  | 147   | 6830  | 2.7 | 226   | 676  |
| Zircon-023         | 453  | 8.9   | 2390 | 10.7  | 0      | 41.3  | 0.18  | 3.57  | 8.86  | 0.116 | 63    | 21.4  | 246   | 89    | 364  | 570  | 106.6 | 6750  | 2.0 | 179   | 517  |
| Zircon-024         | 270  | 8.88  | 1358 | 5.46  | 0      | 21.4  | 0.086 | 8.8   | 6.68  | 0.085 | 36.8  | 12.17 | 138.1 | 50.4  | 211  | 342  | 67.1  | 6780  | 1.1 | 87.6  | 259  |
| Zircon-025         | 435  | 8.53  | 4160 | 37    | 0.79   | 147   | 0.99  | 8.8   | 15.5  | 0.203 | 112   | 38.1  | 430   | 153   | 614  | 884  | 156   | 6680  | 6.3 | 858   | 1600 |
| Zircon-026         | 1950 | 14.5  | 3490 | 14.1  | 115    | 368   | 46    | 240   | 70    | 0.439 | 143   | 36.8  | 391   | 132   | 537  | 781  | 143   | 6020  | 2.6 | 265   | 670  |
| Zircon-027         | 470  | 8.66  | 4620 | 50    | 0.02   | 94.8  | 0.174 | 3.9   | 15.3  | 0.161 | 117.8 | 42.3  | 489   | 174   | 712  | 1008 | 178   | 6660  | 6.6 | 879   | 1738 |
| Zircon-028         | 574  | 8.54  | 8330 | 28.7  | 0.057  | 91.6  | 0.588 | 12.1  | 33    | 0.452 | 227   | 77.7  | 908   | 320   | 1274 | 1790 | 312   | 6760  | 6.1 | 676   | 1512 |
| Zircon-029         | 369  | 9.75  | 4670 | 18.5  | 0.03   | 68.1  | 0.3   | 7.23  | 19.9  | 0.206 | 130   | 43    | 500   | 175   | 711  | 1041 | 190   | 6740  | 3.1 | 323   | 858  |
| Zircon-030         | 416  | 8.99  | 3000 | 15.9  | 0.0053 | 58.1  | 0.231 | 4.28  | 12.7  | 0.123 | 83.1  | 28    | 321   | 114   | 460  | 698  | 129   | 6860  | 2.9 | 361   | 794  |
| Zircon-031         | 329  | 9.1   | 1920 | 8.02  | 0.0028 | 31.1  | 0.147 | 3.79  | 8.2   | 0.079 | 51.6  | 16.4  | 195   | 71.3  | 295  | 459  | 87.3  | 6630  | 1.6 | 166   | 407  |
| Zircon-032         | 577  | 9.44  | 5150 | 45    | 0.0018 | 106.6 | 0.232 | 5.35  | 19.7  | 0.228 | 138   | 46.5  | 544   | 188   | 751  | 1087 | 191   | 7700  | 7.0 | 1072  | 1850 |
| Zircon-033         | 470  | 7.97  | 3450 | 27.2  | 0      | 67    | 0.155 | 3.43  | 10.85 | 0.127 | 83.2  | 28.9  | 350   | 125.4 | 508  | 751  | 132.6 | 7010  | 4.4 | 475   | 1133 |
| Zircon-034         | 393  | 9.08  | 2600 | 13.8  | 0.069  | 46.6  | 0.16  | 3.44  | 9.67  | 0.106 | 67.5  | 22.6  | 269   | 96    | 395  | 598  | 109.8 | 6840  | 2.6 | 280   | 682  |
| Zircon-035_EAQ-152 | 612  | 10    | 4170 | 34.2  | 7      | 111   | 3.1   | 16.9  | 18.8  | 0.186 | 119.3 | 38.2  | 443   | 154   | 619  | 888  | 158   | 7180  | 6.0 | 926   | 1610 |

Tabla 7. Datos analíticos de las dataciones U/Pi en la muestra EA 141 Ignimbrita Cuatralba.

| (ppm)              | P   | Ti    | Y    | Nb    | La     | Ce    | Pr     | Nd   | Sm    | Eu    | Gd    | Tb    | Dy    | Ho    | Er    | Yb    | Lu    | Hf    | Pb   | Th    | U    |
|--------------------|-----|-------|------|-------|--------|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| Zircon-107_EAQ-141 | 322 | 10.87 | 4780 | 9.96  | 0.52   | 21.4  | 0.85   | 13.7 | 26.4  | 1.22  | 149   | 47    | 503   | 177   | 705   | 1064  | 193   | 9880  | 3.8  | 495   | 800  |
| Zircon-108         | 108 | 11.4  | 557  | 2.65  | 10.8   | 8.6   | 3.2    | 15.7 | 3.3   | 0.31  | 13.4  | 4.42  | 52    | 20.2  | 83.9  | 155   | 29.8  | 8780  | 0.8  | 44.1  | 122  |
| Zircon-109         | 311 | 19.8  | 2110 | 8.15  | 0.52   | 14.9  | 0.359  | 5.55 | 11.3  | 0.85  | 61.1  | 19.7  | 218   | 77    | 316   | 500   | 95.4  | 8690  | 2.4  | 330   | 445  |
| Zircon-110         | 412 | 8.7   | 1533 | 14.5  | 0.87   | 15.4  | 0.46   | 3.17 | 6.1   | 0.13  | 36.6  | 12.22 | 149.8 | 55.7  | 238   | 389   | 74.5  | 12440 | 2.8  | 208   | 547  |
| Zircon-111         | 233 | 10.6  | 2390 | 6.25  | 0.083  | 12.03 | 0.254  | 4.97 | 11.5  | 0.347 | 69.8  | 22.2  | 247   | 87.5  | 358   | 571   | 109.1 | 12820 | 2.2  | 195   | 427  |
| Zircon-112         | 106 | 9.3   | 1063 | 4.71  | 1.15   | 17.4  | 1.02   | 7.58 | 7.8   | 0.57  | 31.8  | 9.62  | 104.3 | 37.3  | 157   | 266   | 52    | 8440  | 1.4  | 113   | 257  |
| Zircon-113         | 530 | 11.6  | 1900 | 11.09 | 6.88   | 38.5  | 2.72   | 18   | 11.5  | 0.56  | 55.6  | 17.8  | 196   | 70.9  | 282   | 460   | 84.2  | 8140  | 2.9  | 376   | 582  |
| Zircon-114         | 270 | 11.3  | 1230 | 6.36  | 2.41   | 14.7  | 0.82   | 5.1  | 5.93  | 0.327 | 31.7  | 10.4  | 117.7 | 44.5  | 191   | 313   | 59.3  | 8690  | 2.1  | 218   | 389  |
| Zircon-115         | 461 | 11.55 | 5630 | 10.76 | 0.603  | 24.3  | 1.07   | 19.1 | 40.3  | 2.65  | 196   | 58.3  | 616   | 209   | 818   | 1230  | 227   | 7920  | 3.9  | 570   | 763  |
| Zircon-116         | 168 | 7.77  | 1620 | 18.3  | 0      | 9.6   | 0.024  | 1.11 | 3.9   | 0.121 | 34.1  | 12.8  | 156   | 59.4  | 252   | 420   | 82.7  | 11810 | 3.6  | 202   | 702  |
| Zircon-117         | 432 | 16.1  | 863  | 2.76  | 5.18   | 17.4  | 1.98   | 11.7 | 6.45  | 0.81  | 24.2  | 7.2   | 81.4  | 29.9  | 129   | 229   | 46.6  | 7790  | 1.0  | 95.5  | 185  |
| Zircon-118         | 170 | 12.3  | 2580 | 3.76  | 0.019  | 7.7   | 0.552  | 10.7 | 20.7  | 2.77  | 93    | 25.5  | 288   | 95    | 379   | 598   | 114   | 7700  | 1.3  | 179   | 260  |
| Zircon-119         | 626 | 15.2  | 1230 | 4.85  | 15.6   | 46.6  | 6      | 32.3 | 11.8  | 0.66  | 37.7  | 10.77 | 119   | 43.6  | 180   | 304   | 58.8  | 8540  | 1.3  | 126   | 270  |
| Zircon-120         | 600 | 13.3  | 2240 | 13.2  | 13.6   | 64    | 4.7    | 32   | 17.8  | 0.6   | 67.8  | 21.3  | 233   | 81.3  | 336   | 526   | 98    | 9150  | 3.0  | 365   | 591  |
| Zircon-121         | 331 | 12.5  | 3690 | 6.79  | 0.588  | 16.7  | 0.9    | 13.4 | 24.8  | 1.79  | 125   | 37.4  | 397   | 134.6 | 550   | 834   | 156.8 | 8240  | 2.7  | 324   | 520  |
| Zircon-122         | 435 | 15.2  | 3900 | 12    | 0.37   | 26.5  | 0.736  | 12.9 | 24.6  | 1.66  | 127.3 | 40.6  | 423   | 143   | 584   | 884   | 164   | 8600  | 3.2  | 523   | 670  |
| Zircon-123         | 326 | 11.21 | 1229 | 10.44 | 17.1   | 72.6  | 6.43   | 39.1 | 20.1  | 1.02  | 53    | 13.2  | 132.9 | 43.9  | 175   | 292   | 57.4  | 11840 | 1.8  | 175   | 332  |
| Zircon-124         | 244 | 12.03 | 1452 | 9.45  | 1.06   | 20    | 0.63   | 6.4  | 8.37  | 0.449 | 43.5  | 13.17 | 146.2 | 52.4  | 217   | 357   | 69.9  | 10530 | 1.9  | 238   | 375  |
| Zircon-125         | 282 | 9.73  | 4170 | 9.86  | 0.252  | 25.5  | 0.75   | 13.3 | 27.4  | 1.41  | 144   | 43.3  | 450   | 155   | 621   | 937   | 173   | 8710  | 3.7  | 489   | 733  |
| Zircon-126         | 150 | 10.35 | 1508 | 9.54  | 0.222  | 21.1  | 0.445  | 6.32 | 9.25  | 0.524 | 45.6  | 14.05 | 155.3 | 54.9  | 231   | 385   | 75.5  | 9980  | 1.7  | 175   | 356  |
| Zircon-127         | 724 | 9.82  | 3410 | 20.3  | 0.2    | 40.7  | 0.37   | 6.02 | 13    | 0.256 | 82.6  | 29.6  | 335   | 117   | 508   | 846   | 155   | 10940 | 16.2 | 1790  | 3490 |
| Zircon-128         | 256 | 9.29  | 1446 | 12.86 | 3.6    | 17.8  | 0.89   | 6.8  | 6.5   | 0.18  | 35.9  | 12.46 | 141.6 | 52.2  | 221   | 360   | 69.3  | 10870 | 2.9  | 223   | 533  |
| Zircon-129         | 188 | 10.23 | 967  | 3.85  | 0      | 6.16  | 0.09   | 1.67 | 4.55  | 0.346 | 24.6  | 8.31  | 93.2  | 34.1  | 146.7 | 253   | 50    | 8250  | 1.3  | 124.8 | 257  |
| Zircon-130         | 313 | 10.72 | 2110 | 11.44 | 0.59   | 26.8  | 0.591  | 6.54 | 10.54 | 0.64  | 58.1  | 19.2  | 211   | 75.7  | 315   | 494   | 92.4  | 8290  | 3.4  | 595   | 687  |
| Zircon-131         | 305 | 15    | 861  | 2.01  | 0      | 3.4   | 0.106  | 1.92 | 4.21  | 0.653 | 21.6  | 7.42  | 83.2  | 30.3  | 130   | 240   | 49.2  | 8180  | 1.0  | 90.2  | 198  |
| Zircon-132         | 284 | 8.93  | 1442 | 12.19 | 0      | 12.8  | 0.065  | 1.41 | 5.82  | 0.168 | 33.6  | 12.28 | 139.5 | 51.5  | 218   | 356   | 69.4  | 13080 | 2.8  | 241   | 577  |
| Zircon-133         | 880 | 13.3  | 806  | 2.68  | 5.7    | 32.2  | 2.18   | 12.8 | 7.31  | 0.282 | 28.2  | 7.93  | 80    | 28.6  | 120.8 | 212   | 43.4  | 9210  | 1.1  | 113.8 | 199  |
| Zircon-134         | 299 | 9.04  | 2370 | 10.66 | 0.62   | 27.2  | 0.458  | 6.4  | 12.8  | 0.581 | 66.9  | 21.2  | 241   | 85.9  | 351   | 554   | 103.2 | 9400  | 2.9  | 366   | 564  |
| Zircon-135         | 249 | 11.19 | 1159 | 4.98  | 0.0026 | 8.98  | 0.099  | 1.86 | 4.58  | 0.295 | 28.3  | 9.49  | 112.1 | 41.2  | 179   | 305   | 58.2  | 10760 | 1.7  | 154.3 | 337  |
| Zircon-136         | 277 | 15.2  | 428  | 11.28 | 0      | 2.98  | 0.113  | 1.55 | 2.58  | 0.273 | 12.96 | 3.88  | 41.1  | 14.8  | 63.3  | 116.3 | 24.3  | 8900  | 0.3  | 21.6  | 49.5 |
| Zircon-137         | 279 | 11.43 | 1143 | 11.07 | 0      | 7.6   | 0.0152 | 0.85 | 3.07  | 0.102 | 25    | 9.06  | 107.9 | 40.5  | 176.7 | 299   | 56.7  | 12380 | 2.2  | 138.8 | 440  |
| Zircon-138         | 277 | 9.55  | 1500 | 6.04  | 0.052  | 10.6  | 0.167  | 3.08 | 7.01  | 0.338 | 37.1  | 12.4  | 145   | 53.2  | 230   | 370   | 71.1  | 12380 | 2.2  | 145   | 328  |
| Zircon-139         | 183 | 10.49 | 1651 | 8.29  | 0.32   | 14.89 | 0.335  | 3.75 | 7.55  | 0.427 | 42.9  | 13.97 | 162   | 59.3  | 253   | 408   | 79    | 9600  | 2.3  | 257   | 454  |
| Zircon-140         | 195 | 11.37 | 943  | 3.64  | 2.43   | 24.6  | 0.97   | 7.26 | 7.38  | 0.223 | 30.6  | 8.7   | 94.2  | 33.7  | 138.6 | 241   | 47.3  | 10030 | 1.2  | 142.4 | 242  |
| Zircon-141_EAQ-141 | 322 | 13.9  | 2910 | 4.8   | 2.72   | 14.4  | 1.61   | 15.1 | 21.6  | 3.35  | 97.8  | 30.3  | 302   | 102   | 404   | 631   | 122   | 9070  | 1.4  | 193   | 292  |

Tabla 8. Datos analíticos de las dataciones U/Pb en la muestra EA 11 Igmbrita Cuatralba.

| Sample          | U (ppm)          |                  | Th/U | CORRECTED RATIOS <sup>2</sup>                |                                             | CORRECTED AGES (Ma)                         |                                              | Best age (Ma) | ±2σ    | Disc % |
|-----------------|------------------|------------------|------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------|--------|--------|
|                 | <sup>238</sup> U | <sup>235</sup> U |      | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb ±2σ abs | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±2σ abs | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U ±2σ abs | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th ±2σ abs |               |        |        |
| Zircon-039_EA11 | 531              | 458              | 0.86 | 0.0355                                       | 0.0042                                      | 0.0049                                      | 0.0002                                       | 0.0016        | 0.0001 | 0.27   |
| Zircon-040      | 283.6            | 127.1            | 0.45 | 0.0381                                       | 0.0060                                      | 0.0051                                      | 0.0002                                       | 0.0020        | 0.0003 | -0.34  |
| Zircon-041      | 195.6            | 127.3            | 0.65 | 0.0371                                       | 0.0050                                      | 0.0051                                      | 0.0002                                       | 0.0018        | 0.0002 | 0.03   |
| Zircon-042      | 100.3            | 43.8             | 0.44 | 0.0451                                       | 0.0081                                      | 0.0048                                      | 0.0003                                       | 0.0022        | 0.0002 | 0.07   |
| Zircon-043      | 451.2            | 189.8            | 0.42 | 0.0326                                       | 0.0024                                      | 0.0049                                      | 0.0001                                       | 0.0017        | 0.0001 | -0.02  |
| Zircon-044      | 914              | 422              | 0.46 | 0.0369                                       | 0.0022                                      | 0.0051                                      | 0.0001                                       | 0.0016        | 0.0001 | 0.16   |
| Zircon-045      | 292.2            | 211.8            | 0.75 | 0.0412                                       | 0.0091                                      | 0.0056                                      | 0.0002                                       | 0.0022        | 0.0002 | -0.06  |
| Zircon-046      | 125.5            | 54.1             | 0.43 | 0.0600                                       | 0.0110                                      | 0.0050                                      | 0.0001                                       | 0.0017        | 0.0002 | -0.22  |
| Zircon-047      | 258.9            | 117.3            | 0.45 | 0.0382                                       | 0.0035                                      | 0.0050                                      | 0.0001                                       | 0.0016        | 0.0001 | 0.16   |
| Zircon-048      | 284.1            | 114.5            | 0.40 | 0.0340                                       | 0.0039                                      | 0.0050                                      | 0.0001                                       | 0.0016        | 0.0001 | 0.09   |
| Zircon-049      | 371.7            | 166.5            | 0.45 | 0.0323                                       | 0.0026                                      | 0.0049                                      | 0.0001                                       | 0.0016        | 0.0001 | -0.11  |
| Zircon-050      | 205              | 115.5            | 0.56 | 0.0319                                       | 0.0038                                      | 0.0049                                      | 0.0001                                       | 0.0016        | 0.0001 | -0.18  |
| Zircon-051      | 237.3            | 145.3            | 0.61 | 0.0358                                       | 0.0055                                      | 0.0050                                      | 0.0003                                       | 0.0016        | 0.0002 | -0.04  |
| Zircon-052      | 155.1            | 68.4             | 0.44 | 0.0372                                       | 0.0088                                      | 0.0050                                      | 0.0003                                       | 0.0018        | 0.0002 | -0.04  |
| Zircon-053      | 274.3            | 116.8            | 0.43 | 0.0353                                       | 0.0046                                      | 0.0050                                      | 0.0001                                       | 0.0025        | 0.0002 | 0.10   |
| Zircon-054      | 334.3            | 139.3            | 0.42 | 0.0533                                       | 0.0073                                      | 0.0049                                      | 0.0002                                       | 0.0024        | 0.0002 | 0.64   |
| Zircon-055      | 206.6            | 87.4             | 0.43 | 0.0463                                       | 0.0083                                      | 0.0051                                      | 0.0002                                       | 0.0022        | 0.0004 | 0.23   |
| Zircon-056      | 150.4            | 81.3             | 0.54 | 0.0335                                       | 0.0049                                      | 0.0050                                      | 0.0002                                       | 0.0016        | 0.0002 | 0.31   |
| Zircon-057      | 290              | 121.9            | 0.42 | 0.0608                                       | 0.0079                                      | 0.0050                                      | 0.0002                                       | 0.0020        | 0.0003 | 0.53   |
| Zircon-058      | 473              | 72.1             | 0.43 | 0.0220                                       | 0.0120                                      | 0.0069                                      | 0.0002                                       | 0.0011        | 0.0007 | 0.56   |
| Zircon-059      | 83.3             | 31.95            | 0.38 | 0.0618                                       | 0.0071                                      | 0.0050                                      | 0.0002                                       | 0.0028        | 0.0003 | -0.12  |
| Zircon-060      | 133.6            | 62.9             | 0.47 | 0.0440                                       | 0.0059                                      | 0.0051                                      | 0.0003                                       | 0.0019        | 0.0002 | -0.16  |
| Zircon-061      | 216.9            | 84.5             | 0.39 | 0.0334                                       | 0.0037                                      | 0.0049                                      | 0.0002                                       | 0.0016        | 0.0001 | -0.19  |
| Zircon-062      | 245.5            | 110.2            | 0.45 | 0.0571                                       | 0.0050                                      | 0.0052                                      | 0.0001                                       | 0.0026        | 0.0002 | 0.02   |
| Zircon-063      | 89.3             | 54.6             | 0.61 | 0.0306                                       | 0.0061                                      | 0.0049                                      | 0.0002                                       | 0.0018        | 0.0002 | -0.16  |
| Zircon-064      | 273.2            | 96.7             | 0.35 | 0.0725                                       | 0.0067                                      | 0.0055                                      | 0.0001                                       | 0.0025        | 0.0003 | 0.00   |
| Zircon-065      | 93.7             | 42.5             | 0.45 | 0.0363                                       | 0.0065                                      | 0.0049                                      | 0.0003                                       | 0.0015        | 0.0002 | 0.08   |
| Zircon-066      | 496              | 230.6            | 0.46 | 0.0549                                       | 0.0047                                      | 0.0050                                      | 0.0001                                       | 0.0024        | 0.0002 | 0.32   |
| Zircon-067      | 636.4            | 273.1            | 0.43 | 0.0352                                       | 0.0035                                      | 0.0051                                      | 0.0001                                       | 0.0017        | 0.0001 | 0.35   |
| Zircon-068      | 318.6            | 149.6            | 0.47 | 0.0347                                       | 0.0038                                      | 0.0050                                      | 0.0002                                       | 0.0016        | 0.0002 | -0.41  |
| Zircon-069      | 463              | 96.4             | 0.59 | 0.0820                                       | 0.0120                                      | 0.0052                                      | 0.0002                                       | 0.0020        | 0.0003 | -0.34  |
| Zircon-070      | 122.7            | 50               | 0.41 | 0.0440                                       | 0.0060                                      | 0.0049                                      | 0.0004                                       | 0.0022        | 0.0005 | 0.24   |
| Zircon-071      | 234.5            | 108              | 0.46 | 0.0460                                       | 0.0060                                      | 0.0049                                      | 0.0002                                       | 0.0024        | 0.0003 | 0.30   |
| Zircon-072      | 404              | 280.7            | 0.69 | 0.0433                                       | 0.0048                                      | 0.0055                                      | 0.0002                                       | 0.0021        | 0.0002 | 0.20   |
| Zircon-073      | 315              | 120.4            | 0.38 | 0.0780                                       | 0.0110                                      | 0.0051                                      | 0.0002                                       | 0.0020        | 0.0007 | 0.32   |
| Zircon-074      | 131.6            | 60.61            | 0.46 | 0.0357                                       | 0.0069                                      | 0.0049                                      | 0.0003                                       | 0.0019        | 0.0002 | 0.22   |
| Zircon-075_EA11 | 360              | 106.1            | 0.29 | 0.0341                                       | 0.0029                                      | 0.0051                                      | 0.0001                                       | 0.0016        | 0.0001 | 0.09   |

# **ANEXOS**

## **3: Datos estructurales**

Tabla 9. Datos estructurales recolectados en campo.

| Localidad                | Unidad            | punto | Contendidas |        |     | Salida     | Fecha                         | estructura | Rumbo | Inclinación de | dirección | pitch | azimut | estado | Tipo P/L | Comentario          |   |   |   | Extremo/Comentario                                                    |
|--------------------------|-------------------|-------|-------------|--------|-----|------------|-------------------------------|------------|-------|----------------|-----------|-------|--------|--------|----------|---------------------|---|---|---|-----------------------------------------------------------------------|
|                          |                   |       | N           | E      | Umo |            |                               |            |       |                |           |       |        |        |          | 1                   | 2 | 3 | 4 |                                                                       |
| Presa Duarte             | Sill              | 6     | 233734      | 23146  |     | 26/08/2014 | Falla oblicua                 | N70W       | 58    | NE             |           |       | 20     | 58     | P        | Falla oblicua       |   |   |   | Contacto sill con conglomerado Duarte                                 |
|                          |                   |       |             |        |     |            | contacto litológico           | S64W       | 55    | NW             |           |       | 334    | 55     | P        | contacto litológico |   |   |   |                                                                       |
| La Laborcita             | Riolita Laborcita | 16    | 2337748     | 236279 |     | 27/08/2014 | contacto litológico           | S89W       | 48    | NW             |           |       | 355    | 48     | P        | contacto litológico |   |   |   |                                                                       |
|                          |                   | 16    |             |        |     |            | Foliación de flujo            | N12W       | 74    | NE             |           |       | 78     | 74     | P        | Foliación de flujo  |   |   |   | Foliación de flujo Riolita                                            |
|                          |                   | 17    | 2337771     | 236542 |     |            | Foliación de flujo            | N14W       | 61    | NE             |           |       | 76     | 61     | P        | Foliación de flujo  |   |   |   |                                                                       |
|                          |                   | 18    |             |        |     |            | discordancia con el Cg Duarte | N12W       | 40    | NE             |           |       | 18     | 40     | P        | Discordancia        |   |   |   | Discordancia entre Conglomerado Duarte y Riolita La Laborcita         |
|                          |                   | 21    | 2337489     | 236931 |     |            | estratificación               | N24W       | 18    | NE             |           |       | 66     | 18     | P        | Estrato             |   |   |   | Estratos Conglomerado Duarte en discordancia con Riolita              |
| Llano Blanco             | Ign. Palo Blanco  | 21    |             |        |     |            | fractura frágil               | S15W       | 55    | NW             |           |       | 265    | 55     | P        | fractura            |   |   |   | fracturas en gimbria Palo Blanco contacto con Cg Duarte               |
|                          |                   | 22    |             |        |     |            | estratificación               | N40W       | 38    | NE             |           |       | 270    | 75     | P        | fractura            |   |   |   | contacto entre gimbria Palo Blanco y Cg Duarte                        |
|                          |                   | 22    |             |        |     |            | estratificación               | N40W       | 38    | NE             |           |       | 50     | 38     | P        | Estrato             |   |   |   |                                                                       |
|                          |                   | 22    |             |        |     |            | estratificación               | S86E       | 76    | NE             |           |       | 4      | 76     | P        | Estrato             |   |   |   |                                                                       |
|                          |                   | 23    | 238519      | 236213 |     |            | falla                         | N17E       | 64    | SE             |           |       | 164    | 64     | P        | Falla lateral       |   |   |   | Falla lateral con salbanda en gimbria Palo Blanco                     |
| San Juan de Otaes        | Ign. Media Luna   | 27    |             |        |     | 27/08/2014 | estratificación               | N3E        | 15    | SE             |           |       | 99     | 15     | P        | Estrato             |   |   |   | estratos de gimbria Media Luna encima de Cg Duarte                    |
| Cerro                    | Cg Duarte         | 28    | 238198      | 236221 |     | 29/08/2014 | estratificación               | N20W       | 16    | NE             |           |       | 70     | 16     | P        | Estrato             |   |   |   | estratos de Conglomerado Duarte                                       |
| Laborcita                | Tonalita C. Pelon | 28    | 238987      | 237880 |     |            | estratificación               | N65W       | 24    | NE             |           |       | 25     | 24     | P        | Estrato             |   |   |   |                                                                       |
|                          |                   | 33    | 238987      | 237880 |     |            | falla                         | N68W       | 31    | SW             |           |       | 22     | 31     | P        | Falla-czalla        |   |   |   | contacto estructural czalla falla entre Tonalita C. Pelon y Cg Duarte |
| Mesa de Moreno           | Provenita S/O     | 34    | 2340389     | 235768 |     |            | Czalla                        | S2SE       | 48    | SW             |           |       | 205    | 48     | P        | Zona de czalla      |   |   |   | czalla frágil-dúctil contacto entre Provenita y Tonalita Cerro pelon  |
|                          |                   | 36    |             |        |     |            | Falla extensional             | S40E       | 34    | SW             |           |       | 230    | 34     | P        | Falla extensional   |   |   |   | falla de bajo contacto entre Provenita y Conglomerado Duarte          |
|                          |                   | 38    |             |        |     |            | Czalla                        | S30E       | 76    | SW             |           |       | 240    | 76     | P        | Zona de czalla      |   |   |   | czalla frágil-dúctil entre metabasita y provenita                     |
|                          |                   | 38    |             |        |     |            | Czalla                        | N65W       | 80    | SW             |           |       | 205    | 80     | P        | Zona de czalla      |   |   |   | czalla frágil-dúctil entre metabasita y provenita                     |
| Presas San Juan de Otaes | Riolita Laborcita | 50    | 238947      | 235570 |     | 29/08/2014 | fractura                      | S24W       | 35    | NW             |           |       | 294    | 35     | P        | fractura frágil     |   |   |   | fracturas frágiles en aureolitas riolíticas                           |
|                          |                   | 50    |             |        |     |            | vejetas-fractura              | N65W       | 22    | NE             |           |       | 35     | 22     | P        | Vejetas-fractura    |   |   |   | vejetas de opalo en fracturas de brechas riolíticas                   |
|                          |                   | 50    |             |        |     |            | falla                         | N67W       | 90    |                |           |       | 53     | 90     | P        | Falla contacto      |   |   |   | fractura contacto entre Riolita La Laborcita y Conglomerado Duarte    |
| Presas San Juan de Otaes | Riolita Laborcita | 51    | 238816      | 235228 |     |            | estrato                       | S24W       | 35    | NW             |           |       | 294    | 35     | P        | Estrato de flujo    |   |   |   | Derrame de brecha Riolítica                                           |
|                          |                   | 51    |             |        |     |            | Fractura frágil               | S55W       | 68    | NW             |           |       | 305    | 68     | P        | Fractura            |   |   |   | Fractura frágil en flujo de brecha riolítica                          |
|                          |                   | 52    |             |        |     |            | estrato                       | S70W       | 26    | NW             |           |       | 340    | 26     | P        | Estrato de flujo    |   |   |   | Derrame de brecha Riolítica                                           |
| Ojo de Agua              | Riolita Laborcita | 53    |             |        |     |            | falla                         | N06E       | 77    | SE             |           |       | 150    | 77     | P        | Falla frágil        |   |   |   | Contacto falla Riolita La Laborcita y Conglomerado Duarte             |
|                          |                   | 53    |             |        |     |            | falla frágil                  | S80W       | 78    | NW             |           |       | 330    | 78     | P        | Falla frágil        |   |   |   | Contacto falla Riolita La Laborcita y Conglomerado Duarte             |
|                          |                   | 54    |             |        |     |            | falla frágil                  | N65W       | 68    | NE             |           |       | 25     | 68     | P        | Falla frágil        |   |   |   | Contacto falla Riolita La Laborcita y Conglomerado Duarte             |
|                          |                   | 56    | 2387739     | 235344 |     | 30/08/2014 | falla lateral                 | N79W       | 51    | NE             |           |       | 11     | 51     | P        | falla lateral       |   |   |   | falla lateral en Dactila                                              |
|                          |                   | 56    |             |        |     |            | estría                        |            |       |                |           |       |        |        | P        | estría              |   |   |   | estría sobre falla lateral Dactila                                    |
| Saur Seoa                | Ign. Cuatralba    | 60    | 2348430     | 235837 |     |            | estrato                       | S40W       | 45    | NW             |           |       | 320    | 45     | P        | Estrato             |   |   |   | estratificación gimbria Cuatralba                                     |
|                          |                   | 61    |             |        |     |            | estrato                       | S40W       | 32    | NW             |           |       | 320    | 32     | P        | Estrato             |   |   |   | estratificación gimbria Cuatralba                                     |
|                          |                   | 63    | 234578      | 237322 |     |            | foliación                     | N-5        | 22    | W              |           |       | 220    | 22     | P        | foliación           |   |   |   | foliación metasedimentos grauwacas, lutitas volcánicas                |
|                          |                   | 65    | 2342928     | 235478 |     |            | czalla dúctil                 | S30E       | 40    | SW             |           |       | 240    | 40     | P        | Czalla              |   |   |   | foliación czalla dúctil metasedimentos                                |

| Ubicación                | Código           | Altura (m) | Coord. UTM X | Coord. UTM Y | Fecha      | Descripción         | N-S  | E  | W  | N  | W  | Distancia (m) | Área (m²) | Profundidad (m) | Observaciones                                                      |
|--------------------------|------------------|------------|--------------|--------------|------------|---------------------|------|----|----|----|----|---------------|-----------|-----------------|--------------------------------------------------------------------|
| Presa Alfaro             | Cq. Duarte       | 80         | 2341021      | 229527       | 25/09/2014 | estrato             | N-S  | 30 | 30 | NE | NE | 270           | 30        | 17              | Estriato                                                           |
|                          |                  | 80         |              |              |            | Falla               | N20W | 37 |    | NE |    | 60            | 37        |                 | Falla Frágil                                                       |
|                          |                  | 80         |              |              |            | Falla lateral       | S20E | 80 | 80 | SW | SW | 250           | 80        | 20              | Falla lateral                                                      |
|                          |                  | 81         | 2341999      | 229957       |            | estratificación     | S14E | 46 | 46 | SW | SW | 194           | 46        | 46              | Estriato                                                           |
|                          |                  | 81         |              |              |            | Falla               | N10W | 68 | 68 | NE | NE | 80            | 68        |                 | Falla Frágil                                                       |
|                          |                  | 83         | 2341556      | 230004       |            | Fractura            | N50W | 72 | 72 | NE | NE | 40            | 72        |                 | Zona de fracturas                                                  |
|                          | Cq. Duarte       | 84         | 2341541      | 230480       |            | estrato             | N20W | 9  | 9  | NE | NE | 58            | 9         |                 | Estriato                                                           |
|                          |                  | 85         | 2341778      | 230065       |            | fractura            | S5E  | 90 | 90 |    |    | 265           | 90        |                 | Zona de fracturas                                                  |
| Ojo de Agua de los Reyes | Cq. Duarte       | 88         | 2344605      | 227583       | 26/09/2014 | estrato             | S35W | 26 | 26 | NW | NW | 305           | 26        |                 | Estriato                                                           |
|                          | Ign. Cuernaba    | 89         | 2344675      | 227702       |            | estrato             | N30W | 12 | 12 | NE | NE | 60            | 12        |                 | Estriato                                                           |
| San Jor del Castillo     | Basalto          | 96         | 2343274      | 229705       |            | estrato-flujo       | N60W | 17 |    | NE | NE | 30            | 17        |                 | Flujo de basalto en Mesa de Medina intercalado con gimbria         |
|                          | gimbria          | 107        | 2346753      | 233394       |            | estratificación     | N30W | 20 | 20 | NE | NE | 60            | 20        |                 | estratos de gimbria cuatrada debajo basaltos El Gigante y basaltos |
|                          | Dionta           | 108        |              |              |            | contacto litológico | N50W | 34 | 34 | NE | NE | 30            | 34        |                 | contacto de basaltos gigante con dionta                            |
| Ibarrillas               | gimbria Cuernaba | 111        | 2346267      | 229540       | 28/09/2014 | estrato             | S80W | 20 | 20 | NW | NW | 350           | 20        |                 | estrato de depósito de cada cristalino gimbria arriba CQ Duarte    |
| cañada de Ibarrillas     | CVS              | 127        | 2349821      | 228312       |            | cristala            | S35E | 40 | 40 | SW | SW | 245           | 40        |                 | cristala diáclis en metasedimentos                                 |
| Cobona San Pablo         | gimbria Cuernaba | 133        | 2344056      | 227748       |            | estrato             | S77W | 43 | 43 | SE | SE | 347           | 43        |                 | estratificación gimbria                                            |
|                          |                  | 134        | 2343988      | 227468       | 29/09/2014 | estrato             | S40W | 42 | 42 | NW | NW | 310           | 42        |                 | Estriato                                                           |
|                          |                  | 134        |              |              |            | fractura            | S43E | 74 | 74 | SW | SW | 227           | 74        |                 | Fracturas en gimbria basculada                                     |
|                          |                  | 136        | 2344043      | 227581       |            | estrato             | N5W  | 35 | 35 | NE | NE | 85            | 35        |                 | Estriato                                                           |
|                          |                  | 137        | 2344055      | 227648       |            | Falla               | S55W | 74 | 74 | NW | NW | 325           | 74        |                 | Estriato gimbria basculada                                         |
|                          |                  | 138        | 2344063      | 227714       |            | Falla               | N34E | 57 | 57 | SE | SE | 124           | 57        |                 | Falla Frágil                                                       |
|                          |                  | 138        |              |              |            | Falla               | N52E | 32 | 32 | SE | SE | 142           | 32        |                 | Falla Frágil                                                       |
|                          |                  | 139        | 2344082      | 227847       |            | estrato             | N35W | 24 | 24 | NE | NE | 55            | 24        |                 | Estriato                                                           |
|                          | Ign. Cuernaba    | 140        | 2344184      | 228023       |            | Falla               | S15E | 80 | 80 | SW | SW | 255           | 80        |                 | Falla brecha                                                       |
|                          | Cq. Duarte       | 143        | 2344204      | 227025       |            | contacto litológico | N38E | 22 | 22 | SE | SE | 120           | 22        |                 | contacto litológico                                                |

|                    |                    |     |         |        |         |            |                     |      |    |    |     |    |   |                               |                                                                                  |
|--------------------|--------------------|-----|---------|--------|---------|------------|---------------------|------|----|----|-----|----|---|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Rancho La Virgen   | dique basáltico    | 145 | 2344525 | 231305 | tercera | 28/10/2014 | dique               | N55W | 66 | NW | 295 | 66 | P | Dique                         | dique basáltico intrusiva gneímbrita basáltica que esta sobre roñita             |
|                    | ign. Cuatraba      | 146 | 2344578 | 231173 |         |            | estrato             | N30E | 22 | SE | 100 | 22 | P | Estrato                       | gneímbrita basáltica                                                             |
|                    | ignímbrita         | 148 | 2344935 | 231316 |         |            | estrato             | N30E | 50 | SE | 120 | 50 | P | Estrato                       | gneímbrita basáltica en rancho La Virgen                                         |
|                    | ignímbrita         | 149 | 2344506 | 231341 |         |            | estrato             | N26W | 40 | NE | 64  | 40 | P | Estrato                       | gneímbrita basáltica sobre roñitas                                               |
|                    | Tonolite C. Peñon  | 150 | 2344663 | 231400 |         |            | falla               | S45W | 66 | NW | 315 | 66 | P | Brecha-Falla del Bajo         | falla grande con calcárea alteración hidrotermal                                 |
|                    |                    | 150 |         |        |         |            | falla fractil       | S18W | 66 | NW | 288 | 66 | P | Brecha-Falla del Bajo         |                                                                                  |
|                    |                    | 150 |         |        |         |            | brecha-falla        | S0E  | 52 | NW | 250 | 52 | P | Brecha-Falla del Bajo         |                                                                                  |
|                    |                    | 150 |         |        |         |            | estrta              | S0E  | 52 | NW | 15W |    | L | estrta fosforilado 200        | estrta sobre falla El Bajo                                                       |
| La Partida         | ign. Cuatraba      | 155 | 2344653 | 231477 |         |            | falla               | S59W | 65 | SE | 326 | 65 | P | Falla El Bajo                 | falla grande El Bajo contacto ignimb Cuatraba con Metasedimentos C15G            |
|                    | Andesitas-M. Luna  | 157 | 2342672 | 231333 |         |            | fractura            | S77E | 88 | SW | 157 | 88 | P | Fractura                      | falla fragil con brecha de falla fragmento basalto andesita e ignímbrita         |
|                    |                    | 157 |         |        |         |            | fractura            | N39E | 70 | SE | 120 | 70 | P | Fractura                      | fractura en andesita basáltica sobrevace a ign. Cuatraba                         |
| San Antonio del    | ign. Cuatraba      | 160 | 2343136 | 231512 |         |            | falla fragil        | S10E | 33 | SW | 190 | 33 | P | Falla del Bajo                |                                                                                  |
|                    |                    | 160 |         |        |         |            | falla fragil        | S40E | 48 | SW | 230 | 48 | P | Falla del Bajo                |                                                                                  |
|                    | ign. Cuatraba      | 161 | 2343177 | 231343 |         |            | falla fragil        | S0E  | 55 | SW | 262 | 55 | P | Falla del Bajo                |                                                                                  |
|                    |                    | 161 |         |        |         |            | estrta              |      |    |    |     |    | L | estrta en falla del Bajo      |                                                                                  |
| Cerro San José del | basalto            | 168 | 2343918 | 230297 |         |            | contacto litológico | N63W | 30 | NE | 30  | 30 | P | contacto litológico           |                                                                                  |
|                    | Cg. Duarte         | 170 | 2343513 | 231072 |         | 31/10/2014 | falla               | N63W | 67 | NE | 27  | 67 | P | Falla                         | contacto entre conglomerado y basalto                                            |
|                    |                    | 170 |         |        |         |            | falla               | N65W | 44 | NE | 24  | 44 | P | Falla                         | falla conglomerado con ignímbrita basáltica                                      |
|                    | Cg. Duarte         | 171 | 2341338 | 230465 |         |            | fractura            | N64W | 64 | NE | 314 | 64 | P | Fractura                      | fractura en Cg. Duarte                                                           |
|                    |                    | 171 |         |        |         |            | fractura            | S30E | 70 | SW | 220 | 70 | P | Fractura                      |                                                                                  |
|                    | Cg. Duarte         | 173 | 2341485 | 229564 |         |            | falla               | N65W | 85 | SW | 25  | 85 | P | Falla                         | falla grande Cg. Duarte con ignimb basáltica                                     |
|                    |                    | 173 |         |        |         |            | estrta              |      |    |    |     |    | L | estrta en falla de Cg. Duarte |                                                                                  |
|                    |                    | 173 |         |        |         |            | estrta              |      |    |    |     |    | L | estrta                        |                                                                                  |
|                    | Cg. Duarte         | 173 |         |        |         |            | fractura            | N30E | 48 | SE | 140 | 48 | P | Fractura de redel             | falla grande Cg. Duarte con ignimb basáltica                                     |
|                    | ignímbrita         | 174 | 2341320 | 229659 |         |            | estrato             | S15E | 11 | SW | 195 | 11 | P | Estrato                       | Estrato de ignímbrita basáltica                                                  |
|                    |                    | 174 |         |        |         |            | fractura            | S30E | 80 | SW | 240 | 80 | P | Fractura                      | falla zona ignímbrita basáltica                                                  |
|                    |                    | 174 |         |        |         |            | fractura            | S30E | 85 | SW | 220 | 85 | P | Fractura                      |                                                                                  |
| Cerro San José del | ign. Cuatraba      | 177 | 2342341 | 229443 |         |            | falla               | S14E | 48 | NE | 194 | 48 | P | Falla                         | zona falla y brecha ignímbrita Cuatraba                                          |
|                    |                    | 177 |         |        |         |            | falla               | N30W | 64 | NE | 60  | 64 | P | Falla                         |                                                                                  |
|                    |                    | 177 |         |        |         |            | falla               | N47W | 60 | NE | 48  | 60 | P | Falla                         |                                                                                  |
|                    |                    | 177 |         |        |         |            | estrta              |      |    |    |     |    | L | estrta                        |                                                                                  |
|                    |                    | 177 |         |        |         |            | estrato             | S45E | 36 | SW | 225 | 36 | P | Estrato                       |                                                                                  |
|                    |                    | 179 | 2342021 | 229666 |         |            | falla               | N05E | 58 | NE | 220 | 58 | P | Falla                         | falla contacto conglomerado Duarte con ignímbrita                                |
|                    | ign. Cuatraba      | 179 |         |        |         |            | falla               | S38E | 78 | SW | 232 | 78 | P | Falla                         |                                                                                  |
|                    |                    | 179 |         |        |         |            | estrato             | S83E | 20 | NE | 7   | 20 | P | Estrato                       | estrato de ignímbrita Cuatraba falla                                             |
|                    |                    | 179 |         |        |         |            | estrato             | N22W | 32 | NE | 68  | 32 | P | Estrato                       | estrato Cg. Duarte basáltico                                                     |
| Prusa El Sello     | Cg. Duarte         | 180 | 2339317 | 231414 |         |            | estrato             | N55W | 35 | NE | 55  | 35 | P | Estrato                       | falla grande contacto Brecha Riñolita laborota y Cg. Duarte                      |
|                    |                    | 180 |         |        |         |            | falla               | S54E | 53 | SW | 234 | 53 | P | Falla fragil                  |                                                                                  |
|                    | Cg. Duarte         | 181 | 2339383 | 231440 |         |            | falla               | S55E | 45 | SW | 235 | 45 | P | Falla fragil                  |                                                                                  |
|                    |                    | 181 |         |        |         |            | falla               | S67E | 60 | SW | 203 | 60 | P | Falla fragil                  |                                                                                  |
|                    |                    | 181 |         |        |         |            | estrato             | N77W | 60 | NE | 13  | 30 | P | Estrato                       |                                                                                  |
|                    | Cg. Duarte         | 183 | 2339470 | 231016 |         | 01/11/2014 | estrato             | S65E | 18 | NE | 245 | 18 | P | Estrato                       | estratificación conglomerado Duarte en fallas grandes                            |
|                    |                    | 183 |         |        |         |            | falla               | N55W | 57 | NE | 55  | 57 | P | Falla                         | estratos Cg. Duarte al alto falla grande                                         |
|                    | ign. Cuatraba      | 184 | 2339805 | 230788 |         |            | falla               | S50E | 87 | SW | 220 | 87 | P | Falla                         | falla fragil menor al alto de falla grande Cg. Duarte contacto brechas Riñolitas |
|                    | Brecha de Riñolita | 185 | 2339634 | 231129 |         |            | falla               | E-W  | 36 | S  | 180 | 36 | P | Brecha-Falla                  | falla en ignímbrita basáltica sobre Cg. Duarte                                   |
|                    |                    | 185 |         |        |         |            | falla               | S6E  | 70 | SW | 205 | 70 | P | Brecha-Falla                  | Brecha Riñolita de flujo                                                         |
|                    |                    | 185 |         |        |         |            | falla               | N70W | 64 | NE | 20  | 64 | P | Brecha-Falla                  |                                                                                  |
|                    | Cg. Duarte         | 186 | 2339333 | 231538 |         |            | estrato             | N50W | 16 | NE | 40  | 16 | P | Estrato                       | estrato conglomerado Duarte Prusa                                                |
|                    | Brecha de Riñolita | 188 | 2339656 | 231318 |         |            | estrato             | N40E | 16 | SE | 130 | 16 | P | Estrato                       | estrato de flujo de brecha Riñolita                                              |
|                    |                    | 188 |         |        |         |            | estrato             | N10W | 21 | NE | 80  | 21 | P | Estrato                       |                                                                                  |
|                    | Cg. Duarte         | 192 | 2339350 | 232034 |         |            | estrato             | S75W | 36 | NW | 345 | 36 | P | Estrato                       | estratos de C5 Duarte debajo de flujos de Brecha Riñolita                        |
|                    | Brecha de Riñolita | 193 | 2339369 | 232208 |         |            | estrato             | S30E | 20 | SW | 260 | 20 | P | Estrato                       | estratos flujo de brecha Riñolita                                                |
|                    | Cg. Duarte         | 194 | 2339381 | 232255 |         |            | estrato             | N20E | 22 | SE | 110 | 22 | P | Estrato                       | conglomerado Duarte arriba de Brecha Riñolita con restos Diorita y granito       |
|                    | Cg. Duarte         | 195 | 2339325 | 231948 |         |            | estrato             | N54W | 33 | NE | 36  | 33 | P | Estrato                       | conglomerado Duarte basáltico en falla lateral normal                            |
|                    |                    | 195 |         |        |         |            | estrta              |      |    |    |     |    | L | estrta                        | Estrta en falla lateral componente inversa Cg. Duarte                            |
|                    | Cg. Duarte         | 196 | 2338861 | 231621 |         |            | falla               | S60E | 72 | SW | 210 | 72 | P | Falla                         | Falla Cg. Duarte con alteración hidrotermal                                      |
|                    |                    | 196 |         |        |         |            | estrato             | N45W | 36 | NE | 45  | 36 | P | Estrato                       | estrato Cg. Duarte basáltico                                                     |

|                 |      |         |        |        |            |                     |      |    |    |    |    |     |    |   |                       |                                                                                               |
|-----------------|------|---------|--------|--------|------------|---------------------|------|----|----|----|----|-----|----|---|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Granito Comanja | CG31 | 2389728 | 242461 | Cuarta | 22/06/2015 | dique               | 566E | 80 | 84 | SW | SW | 246 | 80 | P | Dique                 | Dique basáltico entre el Granito Comanja                                                      |
| Granito Comanja | CG34 | 2344216 | 241010 |        | 23/06/2015 | dique               | S70E | 76 | 75 | SW | SW | 250 | 84 | P | Dique                 | Dique de granito con hornblenda alrededor al granito de biotita                               |
| Granito Comanja | CG36 | 2346771 | 239863 |        |            | di que              | S70W | 88 | 88 | SE | SE | 300 | 76 | P | Dique                 | Dique de granito intrusivo a los metasedimentos                                               |
| Granito Comanja | CG38 | 2346562 | 240493 |        |            | di que              | N71W | 59 | 59 | SW | SW | 19  | 88 | P | Dique                 | Dique angosto de granito                                                                      |
| Granito Comanja | CG41 | 2346771 | 240920 |        |            | di que              | N69W | 66 | 66 | SW | SW | 30  | 88 | P | Dique                 | Dique con alto contenido de epidoto, coloración verde                                         |
| Granito Comanja | CG42 | 2343143 | 238439 |        |            | Conchato litológico | S74E | 84 | 84 | NE | NE | 206 | 84 | P | Dique                 | Dique de granito, con vetillas de turmalina                                                   |
| CVS6            | CG44 | 2343542 | 240426 |        |            | Ventilla            | S71E | 44 | 44 | SW | SW | 231 | 44 | P | Conchato litológico   | Conchato entre Granito Comanja y CVS6                                                         |
| Granito Comanja | CG45 | 2343627 | 240666 |        |            | Vena brecha         | S50E | 38 | 38 | SW | SW | 230 | 44 | P | Vena                  | Vena de turmalina, en una zona de brechas entre rocas metavolcánicas                          |
| Granito Comanja | CG46 | 2344126 | 240666 |        |            | Falla               | N69W | 28 | 28 | SW | SW | 30  | 28 | P | Falla                 | Falla con alteración hidrotermal, se encuentra entre el granito                               |
| Granito Comanja | CG47 | 2344386 | 241029 |        |            | Stockwork           | N71W | 19 | 90 | NE | NE | 19  | 90 | P | Stockwork             | Stockwork muy ancho de turmalina entre el granito, presenta alteración                        |
| Granito Comanja | CG48 | 2341420 | 240004 |        |            | Falla               | N30E | 69 | 69 | NW | NW | 120 | 69 | P | Falla                 | Falla                                                                                         |
| Granito Comanja | CG49 | 2344432 | 241953 |        |            | Falla               | S46E | 29 | 52 | NE | NE | 225 | 90 | P | Falla                 | Zona de fallamiento, entre el granito no muy consolidado y moderadamente fracturado           |
| Punto de vista  | P1   | 2331888 | 237124 |        | 24/06/2015 | estrato             | N25W | 6  | 7  | NE | NE | 65  | 6  | P | Falla                 | Falla en zona de cistalia                                                                     |
|                 | P2   | 2336200 | 238303 |        |            | estrato             | N73W | 7  | 40 | SW | SW | 17  | 7  | P | estrato               | estrato de punto de enfriamiento                                                              |
|                 | P3   | 2335945 | 236109 |        |            | estrato             | N73W | 5  | 40 | SW | SW | 17  | 5  | P | estrato               | estrato de punto de enfriamiento                                                              |
|                 | P4   | 2340044 | 230059 |        |            | estrato             | N69W | 8  | 40 | SW | SW | 40  | 8  | P | estrato               | estrato de punto de enfriamiento                                                              |
|                 | P7   | 2340044 | 230059 |        |            | estrato             | N59W | 1  | 8  | SW | SW | 40  | 8  | P | estrato               | estrato de punto de enfriamiento                                                              |
|                 | P8   | 2341125 | 231050 |        |            | estrato             | N10E | 15 | 5E | SE | SE | 100 | 15 | P | estrato               | estrato justo de ese punto                                                                    |
|                 | P12  | 2345277 | 227132 |        |            | estrato             | N55W | 12 | 12 | NE | NE | 25  | 12 | P | estrato               | estrato justo de ese punto                                                                    |
| Cg. Duarte      | TC60 | 2336599 | 233809 |        | 25/06/2015 | Falla               | N10W | 42 | 42 | NE | NE | 80  | 42 | P | Falla lateral derecha | Falla lateral lateral derecha, con vetillas de calcita, presenta alteración.                  |
| Cg. Duarte      | TC61 | 2336535 | 233941 |        |            | estrato             | S50E | 22 | 22 | NE | NE | 230 | 22 | P | estrato               | estrato                                                                                       |
| Cg. Duarte      | TC62 | 2337089 | 234018 |        |            | Falla               | N77W | 33 | 33 | SW | SW | 13  | 33 | P | Falla normal          | Estratificación en Cg. Duarte                                                                 |
| gimnobia        | TC63 | 2337200 | 233813 |        |            | Falla               | N63W | 64 | 64 | SW | SW | 28  | 64 | P | estrato               | Falla normal, muy alterada e impermeabilizada. De gran espesor, presenta linoquina superfinas |
| Cg. Duarte      | TC64 | 2337512 | 233939 |        |            | Falla               | S40E | 34 | 34 | NE | NE | 28  | 34 | P | Falla                 | estrato en lignihobita consolidada y cristalina                                               |
| gimnobia        | TC65 | 2337629 | 233705 |        |            | Falla               | N50W | 74 | 74 | NE | NE | 40  | 74 | P | Falla                 | Falla entre la gimnobia                                                                       |
|                 | TC65 |         |        |        |            | estrato             | S60W | 40 | 40 | NW | NW | 350 | 40 | P | estrato               | estrato en afloramiento de gimnobia                                                           |
|                 | TC65 |         |        |        |            | Falla               | S52E | 76 | 76 | SW | SW | 232 | 76 | P | Falla                 | Falla entre la gimnobia                                                                       |
| gimnobia        | TC66 | 2337754 | 233749 |        |            | Falla               | N49W | 30 | 30 | SW | SW | 41  | 30 | P | estrato               | Falla lateral izquierda entre gimnobia consolidada                                            |
| gimnobia        | TC67 | 2337831 | 233808 |        |            | estrato             | N11W | 71 | 71 | SW | SW | 79  | 71 | P | estrato               | estrato                                                                                       |
| gimnobia        | TC68 | 2337921 | 233850 |        |            | Falla               | N59W | 89 | 89 | SW | SW | 85  | 89 | P | Falla normal          | estrato en gimnobia consolidada                                                               |
|                 | TC68 |         |        |        |            | estrato             | S50E | 50 | 50 | NE | NE | 240 | 50 | P | Falla normal          | Falla normal en rola                                                                          |
| precordatos     | TC70 | 2337925 | 235153 |        |            | estrato             | N55E | 34 | 34 | SE | SE | 145 | 34 | P | estrato               | estrato en precipitados de color gris                                                         |
| brecha rolitica | TC71 | 2337925 | 234498 |        |            | brecha              | S60E | 10 | 10 | NE | NE | 245 | 10 | P | brecha                | brecha rolitica, en zona del conglomerado                                                     |
| Andesita        | TC72 | 2337780 | 234954 |        |            | Falla               | S75E | 70 | 70 | SW | SW | 255 | 70 | P | estrato               | estrato en andesita veridosa encima del conglomerado                                          |
|                 | TC72 |         |        |        |            | estrato             | N71E | 22 | 22 | NW | NW | 150 | 22 | P | estrato               | Falla inversa                                                                                 |
| Sedimentos      | TC73 | 2337620 | 234949 |        |            | Falla               | N62E | 60 | 60 | SE | SE | 11  | 60 | P | estrato               | estrato de pedimento con presencia de dorita y dantos de roca volcánica intermedia            |
| Roleta laborca  | TC78 | 2338446 | 234978 |        | 26/06/2015 | Falla               | N21E | 45 | 45 |    |    |     | 45 | P | Falla                 | Falla en rola                                                                                 |
|                 | TC79 | 2338315 | 235236 |        |            | Falla               | N43W | 60 | 60 | NE | NE | 70  | 60 | P | Falla                 | Zona de fallamiento, en rola impermeabilizada                                                 |
|                 | TC79 |         |        |        |            | estrato             | S35E | 44 | 44 | NE | NE | 215 | 44 | P | estrato               | estrato                                                                                       |
| Roleta laborca  | TC80 | 2339706 | 235770 |        |            | Fractura            | S10W | 59 | 5E | SE | SE | 280 | 59 | L | Fractura              | Fractura entre estratos de rola                                                               |
|                 | TC80 |         |        |        |            | estrato             | N33W | 18 | NE | NE | NE | 55  | 18 | P | estrato               | estrato                                                                                       |
| brecha rolitica | TC81 | 2339663 | 235767 |        |            | Fractura            | S70W | 64 | SE | SE | SE | 340 | 64 | P | Fractura              | Fractura en brecha rolitica                                                                   |
|                 | TC81 |         |        |        |            | estrato             | S60E | 58 | SW | SW | SW | 240 | 58 | P | Fractura              | Fractura                                                                                      |
|                 | TC81 |         |        |        |            | Falla               | N52E | 70 | SE | SE | SE | 142 | 70 | P | Falla lateral derecha | Falla lateral derecha en brecha rolitica                                                      |
|                 | TC81 |         |        |        |            | Falla               |      |    | SE | SE | SE |     |    | P | estrato               | estrato                                                                                       |
| CVS6            | TC85 | 2346328 | 238351 |        |            | Falla               | S45E | 15 | SW | SW | SW | 225 | 15 | P | Falla inversa         | Falla inversa entre conglomerado volcánico y CVS6                                             |