



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

**TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS**

**Cartografía Litológico-Estructural y Análisis Petrográfico del Intrusivo del  
Cerro Villonaco**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**AUTOR: González Burneo, David Ricardo**

**DIRECTOR: Soto Luzuriaga, John Egverto**

**CODIRECTOR: Tamay Granda, José Vidal**

**LOJA - ECUADOR**

**2015**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

Septiembre, 2015

APROBACIÓN DE LA DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

Magíster.

Jhon Egverto Soto Luzuriaga.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Cartografía Litológico-Estructural y Análisis Petrográfico del Intrusivo del Cerro Villonaco realizado por David Ricardo González Burneo, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, diciembre de 2015

f) .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo González Burneo David Ricardo declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Cartografía litológico- estructural y análisis petrográfico del intrusivo del cerro Villonaco, de la Titulación de Geología y Minas, siendo Soto Luzuriaga Jhon Egverto director y Tamay Granda José Vidal co-director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice:

“Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f: .....

Autor: González Burneo David Ricardo

Cédula: 110503740-0

## **DEDICATORIA**

Este trabajo nace de la curiosidad del autor que lo redacta, esa curiosidad de saber que hay en la tierra propia de uno cuando de adolescente escucha decir a su abuela que el cerro Villonaco fue un volcán. Afortunadamente es en el transcurso de este trabajo que esa curiosidad es satisfecha y aunque el relato sea errado se logró conocer la diversidad geológica y la historia tras el cerro Villonaco.

La investigación va dedicado a todos los geólogos en formación de la UTPL, a la titulación de Geología y Minas y a cualquier otro investigador emprendedor en las Ciencias de la Tierra con el fin de que se animen a descubrir lo que existe en nuestra tierra, no solo formaciones rocosas, sino también manantiales de agua y recursos minerales que tengan un potencial industrial, económico, turístico y científico.

También este logro va dedicado para mi familia, Mónica y para el Dr. Agustín Paladines, que en paz descansa, gracias por intuirnos la curiosidad durante sus clases.

## AGRADECIMIENTO

Primero que nada quisiera agradecer a mis abuelitos y a mis padres porque sin ellos tal vez ni siquiera hubiera tenido la oportunidad de realizar este trabajo y brindarme apoyo económico y anímico para empezarlo y concluirlo. También quiero agradecer a mi mamita Amabilia por contarme que el Villonaco fue un volcán y con eso “dejarme picado”, encender una chispa de curiosidad para comenzar la presente investigación.

Segundo, quisiera agradecer a los docentes de la Titulación de Geología, en concreto a John Soto, José Tamay y José Guartán por apoyar mi proyecto, que a pesar de ser algo ambicioso, caprichoso, complejo y estar fuera de sus líneas de investigación, no dejaron de confiar en mí y me aprobaron el inicio de la investigación como proyecto de fin de titulación.

De la misma manera quisiera agradecer al profesor José Miguel Azañón Hernández de la Universidad de Granada (España) por su contribución en la elaboración de láminas delgadas y la interpretación de las mismas, cuya colaboración fue posible gracias a la gestión del Ing. Jhon Soto.

Finalmente, quisiera agradecer a las personas que me ayudaron durante el desarrollo de la práctica: el Ing. Juan Carlos Quintuña, el Ing. Víctor San Martín y al Dr. Francisco Fernández, por sus consejos y asesorías en la parte de la química analítica. A Richard, Sofía y Mónica por ayudarme con el trabajo de campo y laboratorio, de la misma manera a las chicas y chicos de ingeniería química que ayudaron ocasionalmente para alivianar el trabajo de laboratorio, entre ellos Santiago, Paul, Érika, Dennise y Alexandra. A don Libio Abarca por permitirme el ingreso a su finca ya que sirvió para una muy buena delimitación del intrusivo Duraznillo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

<b>APROBACIÓN DE LA DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:</b> .....	II
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS</b> .....	III
<b>DEDICATORIA</b> .....	IV
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	V
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.</b> .....	VI
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I GENERALIDADES</b> .....	4
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Justificación.....	5
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. General.....	5
1.3.2. Específicos.....	6
<b>CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.</b> .....	7
2.1. Ubicación geográfica y vías de acceso.....	8
2.2. Orografía, hidrografía y clima.....	9
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA Y TRABAJOS REALIZADOS.</b> .....	10
3.1. Recopilación de información.....	11
3.2. Trabajo de Campo.....	11
3.3. Trabajo de Laboratorio.....	11
3.3.1. Preparación de muestras.....	12
3.3.2. Análisis de muestras.....	13
3.4. Trabajos de Gabinete.....	14
3.4.1. Elaboración de la cartografía.....	15

3.4.1.1.	<i>Datos estructurales</i> .....	15
3.4.1.2.	<i>Fotografía aérea</i> .....	16
3.4.2.	Interpretación de los resultados de los análisis químicos. ....	17
3.4.2.1.	<i>Rocas ígneas de las principales intrusiones</i> . ....	17
3.4.2.2.	<i>Diques y otras rocas ígneas</i> .....	17
3.4.2.3.	<i>Rocas metamórficas</i> . ....	17
3.4.3.	Interpretación mineralógica y petrográfica de las muestras. ....	18
3.4.3.1.	<i>Muestras de rocas metamórficas</i> . ....	18
3.4.3.2.	<i>Muestras de rocas ígneas</i> .....	19
 <b>CAPÍTULO IV GEOLOGÍA REGIONAL</b> .....		<b>20</b>
4.1.	Zonificación Geotectónica del Ecuador.....	21
4.1.1.	La cordillera Real.....	21
4.1.2.	Cuenca Sedimentaria de Loja.....	22
4.2.	El Terreno Loja. ....	24
4.2.1.	Unida Chigüinda. ....	24
4.2.2.	Unidad Agoyán.....	26
4.2.3.	Anfibolitas Monte Olivo. ....	26
4.2.4.	Granito Tres Lagunas. ....	27
4.2.5.	Unidad Sabanilla.....	28
 <b>CAPÍTULO V MARCO TEÓRICO</b> .....		<b>29</b>
5.1.	Metamorfismo.....	30
5.1.1.	Tipos de Metamorfismo según Best (2003).....	30
5.1.1.1.	<i>Metamorfismo de dorsal centro-oceánica</i> . ....	30
5.1.1.2.	<i>Metamorfismo de enterramiento</i> . ....	30
5.1.1.3.	<i>Metamorfismo dinámico</i> .....	31
5.1.1.4.	<i>Metamorfismo regional</i> . ....	31
5.1.1.5.	Metamorfismo de contacto.....	32
5.1.2.	Grado y Facies del metamorfismo.....	34
5.1.3.	El diagrama AFM de Thompson.....	37
5.2.	Magmatismo y Rocas Ígneas.....	39
5.2.1.	Clasificación de las rocas ígneas. ....	40
5.2.1.1.	<i>Clasificación según la fábrica de la roca</i> . ....	40
5.2.1.2.	<i>Clasificación según relaciones de campo</i> . ....	41
5.2.1.3.	Clasificación según la composición mineralógica y modal de la roca. ....	41
5.2.1.4.	Clasificación según la composición química total de la roca ( <i>whole chemical composition</i> ). ....	43
5.2.2.	Diagramas de clasificación y caracterización de las rocas ígneas. ....	44
5.2.2.1.	<i>Diagramas de total de álcalis versus sílice o TAS (Total Alkalis vs. Silica por sus siglas en inglés)</i> .....	44
5.2.2.2.	<i>Diagramas de J.A. Winchester y P.A. Floyd (Winchester y Floyd; 1977)</i> . ....	46
5.2.2.3.	<i>Diagramas de Pearce, Harris y Tindle . (1984)</i> . ....	49
5.2.2.4.	<i>Las series Alcalina y Sub-alcalina (Toleítica y Calco-alcalina)</i> .....	51
 <b>CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE RESULTADOS Y MANEJO DE DATOS DE LABORATORIO</b> .....		<b>53</b>

6.1.	Interpretación mineralógica y petrográfica de las muestras. ....	54
6.1.1.	Muestras de las Rocas Metamórficas. ....	54
6.1.1.1.	<i>Metabasitas.</i> ....	54
6.1.1.2.	<i>Esquistos verdes.</i> ....	56
6.1.1.3.	<i>Esquistos de cuarzo.</i> ....	56
6.1.1.4.	<i>Cuarcitas.</i> ....	60
6.1.1.5.	<i>Gneis cuarzo-pelíticos.</i> ....	61
6.1.2.	Muestras de rocas ígneas. ....	67
6.1.2.1.	<i>Intrusivo Villonaco.</i> ....	68
6.1.2.2.	<i>Intrusivo Duraznillo.</i> ....	76
6.1.2.3.	<i>Intrusivo Cerro Ventanas.</i> ....	79
6.1.2.4.	<i>Intrusivo Eucaliptos.</i> ....	81
6.1.2.5.	<i>Resumen del análisis de todas las muestras.</i> ....	85
6.2.	Interpretación geoquímica por medio de diagramas. ....	87
6.2.1.	Diagramas para las rocas metamórficas. ....	87
6.2.2.	Diagramas para las rocas ígneas. ....	94
6.2.2.1.	<i>Diques e intrusiones pequeñas.</i> ....	95
6.2.2.2.	<i>Diagramas para las principales intrusiones de roca ígnea.</i> ....	97

<b>CAPÍTULO VII GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y CORRELACIONES CON EL TRABAJO DE LABORATORIO.</b> .....	<b>103</b>
7.1. Metabasitas. ....	104
7.2. Esquistos cuarzo pelíticos. ....	108
7.3. Esquistos grafiticos. ....	115
7.4. Intrusivo Villonaco. ....	121
7.5. Intrusivo Duraznillo o Plutón Catamayo. ....	128
7.6. Diques e intrusiones pequeñas. ....	135
7.7. Vulcanitas Terciarias. ....	142
7.8. Cuenca sedimentaria de Loja. ....	145
7.9. Depósitos Aluviales y Coluviales. ....	147
7.9.1. Depósitos aluviales. ....	147
7.9.2. Depósitos coluviales. ....	149
7.10. Fallas y Pliegues. ....	150
7.10.1. Fallas. ....	150
7.10.2. Pliegues. ....	154
7.11. Interpretación de la fotografía aérea. ....	155
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>159</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>162</b>

<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>165</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>166</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>171</b>
<b>ANEXO I- TÉCNICA DE HOMOGENIZACION Y CUARTEO DE LA MUESTRA.....</b>	<b>172</b>
<b>ANEXO II. RESUMEN DEL TRABAJO DE CAMPO.....</b>	<b>174</b>
<b>A. Tabla de descripción de afloramientos en campo.....</b>	<b>174</b>
<b>B. Tabla de ubicación de los puntos con GPS.....</b>	<b>206</b>
<b>ANEXO III. MINERALOGÍA.....</b>	<b>216</b>
<b>A. Mineralogía de muestras metamórficas bajo lupa estereoscopio.....</b>	<b>216</b>
<b>B. Descripción de rocas metamórficas en lámina delgada.....</b>	<b>232</b>
<b>C. Muestras de rocas ígneas.....</b>	<b>243</b>
<b>D. Abreviaturas de los minerales recomendadas por la IUGS.....</b>	<b>261</b>
<b>ANEXO IV. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS.....</b>	<b>262</b>
<b>A. Muestras Ígneas de las principales intrusiones.....</b>	<b>262</b>
<b>B. Muestras de diques y otras rocas ígneas.....</b>	<b>263</b>
<b>C. Muestras de las metabasitas .....</b>	<b>270</b>
<b>D. Muestras de esquistos cuarzo-pelíticos.....</b>	<b>273</b>
<b>ANEXO V. DESPLAZAMIENTO DE LA FALLA DE CABALGAMIENTO .....</b>	<b>277</b>
<b>ANEXO VI. MAPA GEOLÓGICO.....</b>	<b>281</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Facies de metamorfismo con protolitos basálticos.....	35
Tabla 2. Facies de metamorfismo para las rocas pelíticas .....	36
Tabla 3. Campos de los diagramas de Pearce et al. 1984. ....	49
Tabla 4. Resumen de los diagramas Le Bass (1986) y Winchester Floyd (1977) para los diques.....	96
Tabla 5. Composición y relaciones entre álcalis y alúmina.....	102
Tabla 6. Principales datos estructurales de los esquistos cuarzo-pelíticos por sectores.....	114
Tabla 7. Principales datos estructurales de los esquistos grafiticos por sectores. ....	119

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de la ubicación de la zona de estudio.....	8
Ilustración 2. Metamorfismo Regional y sus productos.....	32
Ilustración 3. Metamorfismo de contacto y sus productos según los regolitos que los generan.....	34
Ilustración 4.El sistema KAFM.....	37
Ilustración 5. Diagrama AFM y cómo proyectar una muestra en el mismo.....	39
Ilustración 6. Diagrama de Streckeisen, que es muy similar al usado por Le Maitre y el de otros geólogos, se lo ha preferido aquí por su simplicidad y además por ser una muy buena versión del castellano.....	42
Ilustración 7. Diagrama de Streckeisen detallado para rocas plutónicas.....	43
Ilustración 8. Diagrama de Le Bas (1986) para las rocas volcánicas.....	45
Ilustración 9. Diagrama de TAS de Cox (1979). En el campo Quartz Diorite se grafican las granodioritas.....	46
Ilustración 10. Diagrama de Nb/Y en función del porcentaje de sílice. Winchester y Floyd; 1977.....	47
Ilustración 11. Diagrama de Nb/Y en función de Zr/Ti. Winchester y Floyd; 1977.....	48
Ilustración 12. Diagrama de Zr/Ti en función del porcentaje de sílice. Winchester y Floyd; 1977.....	48
Ilustración 13. Diagramas de discriminación del ambiente tectónico de rocas graníticas. Pearce et al. 1984,.....	50
Ilustración 14. Diagrama de Streckeisen (1976) para las principales intrusiones ígneas.....	86
Ilustración 15. $Al_2O_3$ en función del de $SiO_2$ .....	87
Ilustración 16. $Al_2O_3 + SiO_2$ en función del de $Fe_2O_3$ total.....	88
Ilustración 17. $Fe_2O_3$ total en función del de $TiO_2$ para metabasitas y esquistos cuarzo- pelíticos.....	88
Ilustración 18. $K_2O$ en función del de $CaO$ .....	89
Ilustración 19. $SiO_2$ en función del de $Fe_2O_3$ .....	89
Ilustración 20. Muestras de metabasitas dibujadas en el Diagrama de Le Bas (1986) con PetroGraph.....	90
Ilustración 21. Muestras de las metabasitas en el diagrama de Winchester Floyd (1977). ....	91
Ilustración 22. Muestras M- 3, M-1 A, M- 4 y M- 12 en la proyección AFM de Thompson. ....	92
Ilustración 23. Muestras M- 3, M-1 A, M- 4 y M- 12 en la proyección AFM de Thompson. ....	92

Ilustración 24. Muestras M- 31, M- 30 A, M- 30 B, M- 33 y M- 39 A en la proyección AFM de Thompson.....	93
Ilustración 25. Muestras M- 45 A, M- 63, M- 47 A, M- 50 A y M- 58 A en la proyección AFM de Thompson.....	93
Ilustración 26. Metapelitas de alto grado de metamorfismo con el Diagrama AFM de Thompson.....	94
Ilustración 27. Muestras de los diques de rocas ígnea en el diagrama de Le Bas et al (1986). .....	95
Ilustración 28. Zr/Ti en función de SiO <sub>2</sub> de Winchester Floyd (1977) para los diques de roca ígnea y otras intrusiones. ....	96
Ilustración 29. Diagramas AFM para principales intrusiones ígneas según Kuno (1968) e Irvine Baragar (1971).....	97
Ilustración 30. Diagramas de Peccerillo y Taylor (1976) para las principales intrusiones ígneas.....	98
Ilustración 31. Diagrama de TAS de Cox-Bell- Prank (1979) para las principales intrusiones ígneas.....	98
Ilustración 32. Diagrama de clasificación con elementos traza de Winchester- Floyd (1977) de Nb/Y vs SiO <sub>2</sub> .....	99
Ilustración 33. Diagrama de clasificación con elementos traza de Winchester- Floyd (1977) de Nb/Y vs Zr/Ti. ....	99
Ilustración 34. Diagrama de clasificación de Winchester- Floyd (1977) de Zr/Ti vs SiO <sub>2</sub> .....	100
Ilustración 35. Diagrama de discriminación de ambiente tectónico de Pearce et al. (1984) usando Y vs Nb. ....	100
Ilustración 36. Diagrama de discriminación de ambiente tectónico de Pearce et al. (1984) usando Y+ Nb vs Rb.....	101
Ilustración 37. Diagrama de discriminación de ambiente tectónico de Pearce et al. (1984) usando Yb vs Ta. ....	101
Ilustración 38. Detalle de la intrusión Duraznillo en el mapa geológico. ....	130
Ilustración 39. Relieves de esquistos cuarzo-pelíticos y los gráficas en la orto-foto aérea.....	156
Ilustración 40. Vegetación como evidencia de contacto.....	156
Ilustración 41. Fallas en la zona de estudio.....	157
Ilustración 42. Relieve de los esquistos en la esquina sureste del polígono. ....	158
Ilustración 43. Terrenos de la cordillera Real hace 160 Ma. ....	159
Ilustración 44. Terrenos de la cordillera real después del Evento Peltelec hace 135 Ma. ....	159

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Textura decusada de la muestra M- 37 en la lámina delgada. LPNA (izquierda) y LPA (derecha), 5 aumentos. ....	55
Fotografía 2. Lámina delgada de la muestra M-37 con detalle de los minerales de la roca en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	55
Fotografía 3. Textura de la muestra M- 22 A, 5 aumentos en lámina delgada. A la izquierda LPNA y a la derecha LPA. ....	56
Fotografía 4. Estaulolita en la lámina delgada de la muestra M- 22, 10 aumentos. A la izquierda LPNA y a la derecha LPA. ....	57
Fotografía 5. Andalucita en la lámina delgada de la muestra M- 22 A, LPA, 5 aumentos, ....	57
Fotografía 6. Textura en lámina delgada de la muestra M-45 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	58
Fotografía 7. Microclina en la lámina delgada en la muestra M- 45 A. LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 10 aumentos. ....	58
Fotografía 8. Lámina delgada de la muestra M-59 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	59
Fotografía 9. Fenocristales de biotita en la matriz de Qtz-Ms en la muestra M-59, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	59
Fotografía 10. Lámina delgada de la muestra M- 63 en LPA a la izquierda y LPNA a la derecha, 5 aumentos. ....	60
Fotografía 11. Lámina delgada en la muestra M-63. LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 20 aumentos. ....	60
Fotografía 12. Masa feldespática de la muestra M-33 en lámina delgada a 5 aumentos, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. ....	62
Fotografía 13. Granate en la lámina delgada de la muestra M- 33. LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 10 aumentos. ....	62
Fotografía 14. Muestra M-33. Arriba (a en LPNA y b en LPA) de la lámina delgada elaborada en la Universidad de Granada, 5 aumentos. Abajo (c en LPNA y d en LPA) micas de la lámina delgada elaborada en la UTPL, 10 aumentos. ....	63
Fotografía 15. Micas de la muestra M-33 en lámina delgada, LPA y 5 aumentos. ....	64
Fotografía 16. Textura de la roca de la muestra M-21 en LPNA, 5 aumentos. ....	65
Fotografía 17. Estaulolita con macla en cruz en la lámina delgada de la muestra M-21 en LPA, 5 aumentos. ....	65

Fotografía 18. Estauroлита alterada a arcillas y minerales del grupo de la clorita en la lámina delgada de la Mestra M-21 en LPA, 5 aumentos.....	66
Fotografía 19. Lente de granos de cuarzo en una matriz fina de filosilicatos en la lámina delgada de la muestra M- 36 en LPNA a la izquierda y LPA a la izquierda. 5 aumentos. ....	67
Fotografía 20. Minerales de la muestra M-36 en lámina delgada en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 20 aumentos. ....	67
Fotografía 21. Esquema de muestre en el afloramiento en el Punto 16. ....	69
Fotografía 22. Lámina delgada de la muestra I- 2 A en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	70
Fotografía 23. Fotografía de la lámina delgada de la muestra I- 2 A en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.....	70
Fotografía 24. Alteración secundaria a clorita en Lámina delgada de la muestra I- 2 A en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 20 aumentos.....	70
Fotografía 25. Plagioclasa con zonación en la muestra I- 2 A en LPA a 5 aumentos.....	71
Fotografía 26. Minerales opacos de la muestra I- 2 A en luz reflejada, 50 aumentos.....	71
Fotografía 27. Cloritas secundarias (color amarillo) en la lámina delgada de la muestra I- 2 B. en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	72
Fotografía 28. Clorita secundaria en la lámina delgada de la muestra I- 2 B en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 20 aumentos. ....	72
Fotografía 29. Hornblenda en la lámina delgada de la muestra I- 2 B en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 5 aumentos.....	73
Fotografía 30. Plagioclasa con zonación en la muestra I- 2 B. en LPA, 5 aumentos.....	73
Fotografía 31. Afloramiento del Punto 33. ....	74
Fotografía 32. Hornblenda en la lámina delgada de la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.....	75
Fotografía 33. Feldespatos en la lámina delgada en la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.....	75
Fotografía 34. Cuarzo y hornblenda en la lámina delgada de la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	75
Fotografía 35. Ferrosilita en la lámina delgada de la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.....	76
Fotografía 36. Clorita alterando a un mineral máfico en la lámina delgada de la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 10 aumentos. ....	76
Fotografía 37. Roca del intrusivo Duraznillo en el Punto 65. ....	77

Fotografía 38. Lámina delgada de la muestra I- 8 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	78
Fotografía 39. Plagioclasa rodeada de feldespato de potasio en la lámina delgada de la muestra I-8, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	78
Fotografía 40. Lepidolita y biotita en la lámina delgada de la muestra I-8 en LPA, 5 aumentos. ....	79
Fotografía 41. Intrusivo Cerro Ventanas en el afloramiento del Punto 114. ....	79
Fotografía 42. Lámina delgada de la muestra I-11 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 5 aumentos. ....	80
Fotografía 43. Fenocristales de plagioclasa en la lámina delgada de la muestra I-11, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 5 aumentos. ....	81
Fotografía 44. Cristal de titanita en la lámina delgada de la muestra I-11 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 10 aumentos. ....	81
Fotografía 45. Contacto entre el intrusivo Eucaliptos y esquistos gráficas en el Punto 154. ....	82
Fotografía 46. Fenocristal de plagioclasa en la matriz fina de cuarzo y feldespato de potasio de la muestra I-17 en LPA, 5 aumentos. ....	83
Fotografía 47. Lámina delgada de la muestra I- 17 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	83
Fotografía 48. Matriz aplítica de la muestra I- 17 en lámina delgada, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 20 aumentos. ....	84
Fotografía 49. Textura en la lámina delgada de la muestra I- 19 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos. ....	84
Fotografía 50. Matriz aplítica de la muestra I-19 en lámina delgada, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 20 aumentos. ....	85
Fotografía 51. Fenocristal de moscovita en la lámina delgada de la muestra I-19, LPNA, 10 aumentos. ....	85
Fotografía 52. Afloramiento de las metabasitas en el Punto 149, cabeza del martillo al norte. ....	107
Fotografía 53. Crenulaciones en las anfibolitas que afloran en el Punto 16. ....	107
Fotografía 54. Contacto entre los esquistos cuarzo-pelíticos hacia el sur y los esquistos gráficas hacia el norte. ....	111
Fotografía 55. Superficie de cuesta en la punta del cerro Villonaco. ....	111
Fotografía 56. Crenulaciones en la roca que aflora en un drenaje en el Punto 300. ....	112
Fotografía 57. Lentes de cuarzo que en los esquistos cuarzo-pelíticos en el Punto 250. ....	112
Fotografía 58. Cuarcitas en el Punto 24, norte hacia la derecha. ....	113

Fotografía 59. Foliación del tipo bandeado gnéisico de las rocas en el Punto 124. ....	113
Fotografía 60. Esquistos gráficos en el afloramiento del Punto 29. ....	117
Fotografía 61. Lentes de cuarzo con crenulación leve en el afloramiento del Punto 403. ....	118
Fotografía 62. Vetillas de cuarzo entre el esquisto de grafito en la roca del afloramiento del Punto 142.....	118
Fotografía 63. Lente de meta-arenisca inmerso en una matriz pelítica en el afloramiento del Punto 138.....	119
Fotografía 64. Meteorización esferoidal en el afloramiento del Punto 16.....	124
Fotografía 65. Disgregación mecánica de cuarzo-diorita en el Punto 16. La fotografía fue tomada con un acimut de 216 <sup>o</sup> .....	125
Fotografía 66. Roca meteorizada en el afloramiento del Punto 20. ....	126
Fotografía 67. Corneana a lado de la intrusión Villonaco con el norte a la izquierda.....	126
Fotografía 68. Intrusión arcillosa en el afloramiento del Punto 15.....	127
Fotografía 69. Granito de la intrusión Duraznillo en el afloramiento del Punto 97.....	132
Fotografía 70. Veta de cuarzo y moscovita sobre el suelo, intrusión Duraznillo en el Punto 96.....	133
Fotografía 71. Granito de la intrusión de Duraznillo con una capa de grafito y cuarcita de grano fino.....	133
Fotografía 72. Contacto entre los esquistos gráficos y la intrusión Duraznillo.....	134
Fotografía 73. Afloramiento en el Punto 114 con el SW a la derecha. ....	137
Fotografía 74. Contacto entre la intrusión Eucaliptos y los esquistos gráficos en el Punto 154 con el NE hacia la derecha.....	137
Fotografía 75. Afloramiento en el Punto 169.....	138
Fotografía 76. Dique afanítico de dacita atravesando esquistos gráficos. ....	139
Fotografía 77. Dique de granodiorita del afloramiento en el Punto 149 con el NW hacia la derecha. ....	140
Fotografía 78. Dique porfirítico de granodiorita que atraviesa a los esquistos gráficos en el Punto 153 con el NE hacia la derecha.....	141
Fotografía 79. Sill de roca ácida atravesando a esquistos gráficos. ....	141
Fotografía 80. Estructuras columnares en las lavas ácidas en el afloramiento en el Punto 165.....	143
Fotografía 81. Piroclastos de la formación Loma Blanca en la quebrada Trigal. Punto 165. ....	143
Fotografía 82. Terraza aluvial depositada sobre los piroclastos de Loma Blanca. Punto 165. ....	144

Fotografía 83. Afloramiento del Punto 191 con noreste a la derecha. ....	146
Fotografía 84. Depósitos aluviales en la quebrada Chorrera, Punto 208, con un acimut de 250° .....	148
Fotografía 85. Depósito aluvial del afloramiento el Punto 379. ....	148
Fotografía 86. Depósito aluvial estratificado del afloramiento del Punto 296.....	149
Fotografía 87. Dique que atraviesa anfibolitas y ha sido desplazado por una falla. Acimut de 23° hacia la derecha. ....	151
Fotografía 88. Falla geológica en el Punto 283. Acimut de 80° hacia la derecha. ....	152
Fotografía 89. Falla geológica en el Punto 279. Cabeza de martillo apuntando al oeste. ....	153

## RESUMEN

El presente trabajo es una investigación exploratoria destinada a identificar y caracterizar las estructuras geológicas existentes en el terreno de estudio y brindar una hipótesis bien fundamentada de los procesos geológicos que se desarrollaron. Además del estudio de riesgo geológico de Benítez (2011) ningún trabajo de este tipo se ha realizado en la zona de estudio anteriormente y por lo tanto se recurrió al levantamiento de información como pilar fundamental de la investigación.

Inicialmente se tenía reportada una intrusión ígnea del paleoceno caracterizada petrográficamente como granodiorita por Litherland et al. (1994); pero sin establecer una relación espacial detallada de la misma. Se descubrió que esta intrusión es un granito, del tipo S posiblemente proveniente de la fusión de las rocas metamórficas de la misma zona, además un diapiro de cuarzo- diorita debajo de las cuarcitas en el cerro Villonaco y varios diques de composición ácida de potencias entre unos pocos decímetros hasta de 60m sugieren la existencia de una intrusión ígnea grande enterrada a profundidad. Adicionalmente se encontró un cinturón de metabasitas debajo de esquistos cuarzo-pelíticos y grafitico-pelíticos.

**Palabras Clave:** Terreno Olmos- Loja, Unidad Chigüinda, cerro Villonaco, intrusión ígnea, geoquímica, petrografía.

## ABSTRACT

The present work is an exploratory investigation aimed to identify and characterize geologic structures in the research zone and to give a well based hypothesis about the geological processes that happened. Research of this kind has not been done in this place before, but a geological risk study done by Benítez (2011).

To have a reference, Litherland et al. (2014) classified an igneous intrusion as a Paleocene granodiorite; but no detailed spatial distribution of the rock was carried out. It was discovered that the rock is an S type granite that possibly came from the melt of the same rocks of the zone, a quartz-diorite diapir was also found bellow the quartzites of Villonaco mountain and many acid dikes ranging from few decimeters to 60m thick were found all over the area suggest that there's a big intrusion deeply buried. Additionally, a metamorphosed basic volcanic belt was found under quartz-pelitic and grafitic-pelitic shists.

**Key words:** Olmos- Loja Terrain, Chigüinda unit, Villonaco Mountain, igneous intrusions, geochemistry, petrography.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en una investigación exploratoria, que empieza tan solo con la afirmación de la existencia de roca plutónica o magmática, en la zona de estudio, para luego comenzar un levantamiento detallado de la información geológica en campo mediante la descripción de afloramientos naturales o artificiales disponibles en carreteras, montañas, barrancos y quebradas a lo largo y ancho del polígono que cubre 25Km<sup>2</sup>. Se recolectaron muestras de rocas para distintos tipos de análisis que ayuden a su caracterización. Una segunda etapa del trabajo es la de laboratorio, en la cual se clasifican las rocas a través de FRX (fluorescencia de rayos X), ICP-MS (Espectrometría de masas mediante plasma acoplado inductivamente), petrografía de láminas delgadas y análisis macroscópico. Finalmente, en una tercera etapa se elabora el mapa geológico del polígono y tres cortes geológicos perpendiculares a las principales estructuras y formaciones geológicas.

En campo se encontraron intrusiones ígneas, diques y vetas que atraviesan rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda y un grupo de rocas metamórficas de protolitos básicos más antiguas. Además, se identificaron dos familias de pliegues importantes y algunas fallas geológicas. Finalmente se deducen e infieren los procesos que han sucedido hasta la formación del cerro Villonaco con una edad relativa, ya que no se dispone de muchas dataciones absolutas de las rocas en la zona.

La cobertura vegetal podría ocultar más estructuras enterradas, la misma fue un inconveniente para poder estudiar más detalladamente la zona de estudio, además de la existencia de cascadas en las quebradas que también limitan el acceso en el área de estudio. Otra debilidad de la investigación fue que el equipo de FRX de la universidad no permitió una caracterización detallada de todas las muestras, por lo tanto se optó por análisis en laboratorios externos.

Esta investigación es un aporte para la geología del sur de la cordillera Real del Ecuador, específicamente para la llamada Unidad Chigüinda del Terreno Olmos- Loja. En el ámbito ingenieril, este trabajo se puede usar como preámbulo para estimar preliminarmente dificultades y costos de alguna obra civil. Además permitió identificar el potencial del grafito como recurso mineral. Finalmente, se explica la razón por la cual el cerro Villonaco tiene su forma sobresaliente en la cordillera al oeste de la ciudad de Loja.

**CAPÍTULO I**  
**GENERALIDADES**

### **1.1. Antecedentes.**

En la provincia de Loja Kennerly (1973) realiza un estudio geológico de la provincia de Loja en el cual otorga el nombre de serie Zamora a las rocas de edad paleozoica de la cordillera de Los Andes que afloran en la ciudad de Loja y sus alrededores e indica que "...cerca del Tambo, en la carretera Loja-Zamora predominan las cuarcitas y los esquistos cuarcíticos. Los esquistos gráficas son muy notorios en el margen oeste a lo largo del afloramiento, especialmente entre Loja y Catamayo y al oeste de Malacatos".

Litherland, Aspden y Jamielita (1994) en cambio asignan el nombre de Terreno Loja a un conjunto de rocas de edad generalmente paleozoica, entre ellas la unidad Chigüinda que coincide con la serie Zamora de Kennerly (1973). Además Litherland et al. (1994) hacen referencia a una intrusión ígnea en la vía antigua Loja-Malacatos que es datada con  $58 \pm 2$  Ma (K-Ar).

Finalmente, Benítez (2011) ha realizado un estudio de riesgo geológico en el sector del parque eólico en donde encuentra esquistos, rocas volcánicas basálticas que las relaciona con la formación Yunguilla y una intrusión de grabro al norte del parque eólico.

### **1.2. Justificación.**

Debido a que el estudio de Benítez (2011) tiene finalidades geotécnicas y a que los estudios de Litherland et al. (1994) y Kennerly (1973) son de escala regional, no existe ningún mapa geológico detallado de la zona de estudio.

Geológicamente la presente investigación muestra un aporte para la geología regional y local. En el ámbito ingenieril podría ser usada como preámbulo para la estimación de costes de alguna obra civil que se realizara en la zona. En cuanto a los recursos naturales no renovables, se da a conocer la existencia de recursos como el grafito y el litio y además la posibilidad de existencia de otros recursos.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. General.**

- Realizar la cartografía litológico-estructural en el sector del cerro “Villonaco” de la ciudad de Loja-Ecuador.

### **1.3.2. Específicos.**

- Interpretar mediante fotografías aéreas geformas y estructuras geológicas existentes y confirmar su existencia con el trabajo de campo.
- Realizar el mapeo geológico estructural de la zona de estudio a escala de detalle 1:10000.
- Caracterizar mediante láminas delgadas el tipo de rocas circundantes al intrusivo y confirmar estos análisis mediante ensayo químico de fluorescencia de rayos X (FRX).
- Caracterizar mediante láminas delgadas, FRX y Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inducido (ICP-MS por sus siglas en inglés) las rocas intrusivas en el cerro Villonaco.
- Determinar los posibles procesos geológicos que tuvieron lugar en la zona de estudio a través del trabajo de campo, análisis petrográficos y geoquímicos.

**CAPÍTULO II**  
**DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.**

## 2.1. Ubicación geográfica y vías de acceso.

El área de estudio se ubica en el sur del Ecuador, provincia de Loja, entre los cantones Catamayo y Loja, abarca parte de la parroquia urbana Sucre y Taquil en el cantón Loja y las parroquias La Toma y El Tambo.

El polígono consiste en un cuadrado (Ver ilustración 1) cuyos vértices son los puntos siguientes, tomados del DATUM WGS 84

- X: 695000 m Y: 9556000 m
- X: 695000 m Y: 9561000 m
- X: 689000 m Y: 9561000 m
- X: 689000 m Y: 9556000 m

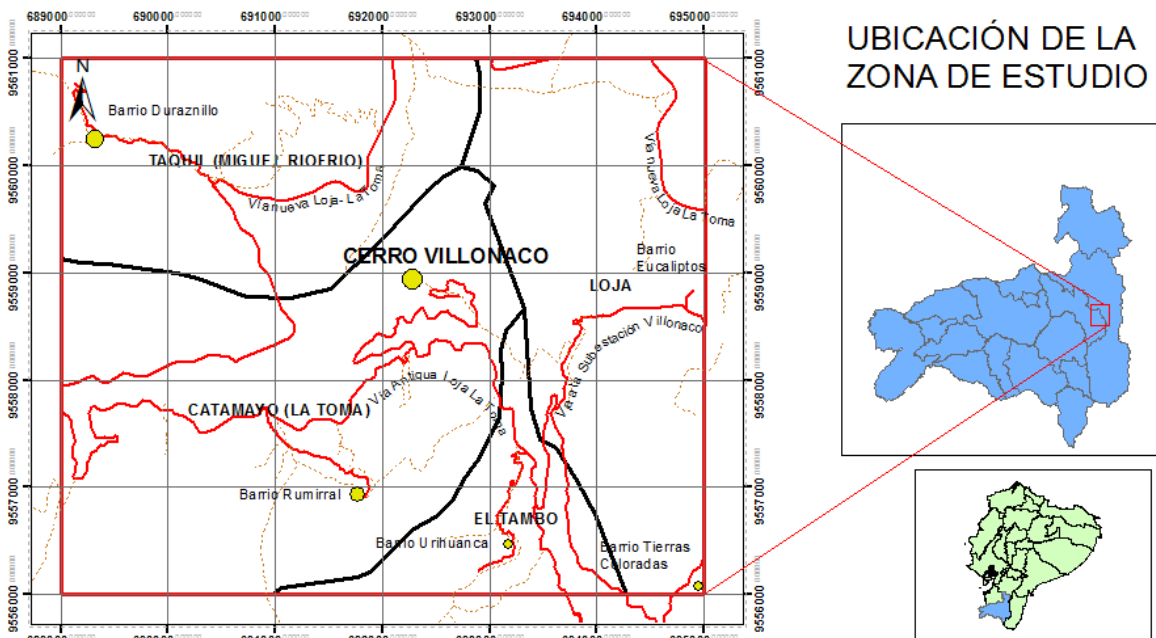


Ilustración 1. Mapa de la ubicación de la zona de estudio.  
Fuente: El autor.

El principal acceso a la zona de estudio es la vía nueva Loja-La Toma que es de primer orden. La carretera antigua Loja- Toma y la vía que conecta la subestación Villonaco al parque Eólico Villonaco son de segundo orden. Entre las principales vías de tercer orden tenemos la carretera antigua Loja- El Tambo, la vía de ingreso a las antenas en el cerro Villonaco, la vía de ingreso a las antenas del Cerro Ventanas y las vías de ingreso a los barrios: Urihuanga, Rumicorral, Duraznillo y ciertas vías de la parroquia Taquil que ingresan a extensas propiedades privadas.

## **2.2. Orografía, hidrografía y clima.**

El cerro Villonaco y el cerro Ventanas (al sur del polígono) forman parte de la cordillera Real de Los Andes. Del primero nacen algunas ramales montañosos transversales que forman valles en “V” con pendientes muy fuertes hacia el oeste y otros con pendiente más suave hacia el este.

En la zona oeste del polígono las pendientes tienen rangos entre 0 a 15 %. El resto del polígono tiene una orografía muy irregular, terrenos escarpados y la mayoría de pendientes tienen rangos entre el 25 y el 40%. Las altitudes varían desde 1680 m.s.n.m. en la quebrada Chorrera al extremo sureste del polígono hasta 2920 m.s.n.m. en la punta del cerro Villonaco.

En cuanto a la hidrografía, el cerro Villonaco constituye una divisoria de aguas: al flanco oeste las vertientes se dirigen hacia el río Catamayo, siendo las principales quebradas las siguientes enumeradas de norte a sur: Paja Blanca, Duraznillo, Aguas Amarillas y Chicheros. Estas dos últimas desembocan en una quebrada mayor llamada La Chorrera que se ubica en el extremo oeste del polígono de estudio. Por otro lado, las vertientes del flanco este se dirigen al río Zamora en la cuenca de Loja, estas son: Limplacocha, Trigal, El Chazo y El Sonador. Tanto en la parte este como oeste la red hídrica es del tipo dendrítica.

El clima es variable. En el nudo montañoso que atraviesa el cerro Villonaco y el cerro Ventanas y su flanco este tienen un clima similar al de la ciudad de Loja en donde la Estación climatológica La Argelia indicó en 2013 una precipitación anual de 1047,4 mm, temperatura máxima anual media de 24,4°C y temperatura mínima anual media de 7,4°C (Palacios, Rivero y Rosero; 2014). Sin embargo, en el barrio Duraznillo y el sector occidental de la zona de estudio tiene un clima seco, similar al de Catamayo donde la estación meteorológica La Toma-Catamayo en 2013 indicó una precipitación anual de 347,1 mm, temperatura máxima anual media de 33,4°C y temperatura mínima anual media de 14,4°C (Ibíd.).

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA Y TRABAJOS REALIZADOS.**

### **3.1. Recopilación de información.**

Entre las fuentes de información más importantes podemos citar *Geología de la Provincia de Loja al sur del Ecuador* de Kennerly (1973) y *The Metamorphic Belts of Ecuador* de Litherland et al. (1994) que son estudios regionales sobre la geología regional; mientras que Benítez (2011) y las perforaciones del CELEC brindan información esencialmente geotécnica que no es muy útil para los fines de la presente investigación. Por esa razón se llevó a cabo el levantamiento de la información.

Además se trabajó con las bases de petrología y terminología del libro "*Igneous rocks: Recommendation of the International Union of Geological Sciences Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks*" de Le Maitre et al. (2002) y así como "*Igneous and Metamorphic Petrology*" de Myron Best (2003); al estar ambas fuentes en inglés, al igual que muchas otras referencias usadas para el desarrollo de este documento, el autor de este trabajo realiza varias traducciones técnicas cuando se refiere a citas en este idioma.

Como herramientas para la elaboración del mapa geológico se utilizó una orto foto aérea de la zona de estudio, escala 1:5000, tomada en el año 2010 por el Instituto Geográfico Militar o IGM (provista por la UTPL) y el mapa topográfico de la zona de estudio proveniente de la base topográfica de libre acceso del IGM (provisto por la UTPL).

### **3.2. Trabajo de Campo.**

Esta etapa se la realizó en los meses de noviembre a diciembre del 2014, enero de 2015 y ciertos datos fueron corroborados en dos días de Julio de 2015. El trabajo consistió en: observar y describir la litología, medir datos estructurales y tomar muestras de roca lo más frescas posibles para análisis macroscópico, análisis químico o análisis de lámina delgada.

### **3.3. Trabajo de Laboratorio.**

Esta etapa se desarrolló durante los meses de Enero a Julio. Todo este trabajo fue realizado con los equipos de la titulación de Geología y Minas, en los laboratorios de Metalurgia Extractiva y Preparación Petrográfica. El trabajo de laboratorio se divide en tres sub etapas:

### 3.3.1. Preparación de muestras.

Como se necesitaba muestras para cuatro diferentes tipos de ensayos se procedió de la siguiente manera dependiendo del ensayo:

- a) Para elaborar una **lámina delgada** se necesitó un pedazo de roca, lo más sana y menos porosa posible. Se utilizó la cortadora del laboratorio de Metalurgia Extractiva, en donde cada muestra era colocada en la cortadora y se realizaban los cortes necesarios para tener un taco de 1x 2.5 x 5 cm. Una vez obtenido el taco de muestra (con forma de prisma rectangular) se trabajó en el laboratorio de Preparación Petrográfica y se procedió al pulimiento con lijas, impregnación con resina de las muestras porosas, lijado nuevamente de las muestras impregnadas con resina, pegamento del taco al portaobjetos de vidrio, corte y desbaste de la briqueta hasta tener un espesor de lámina delgada de aproximadamente 30 micrones y el pulimiento manual de cada lámina delgada con paños y soluciones abrasivas según lo indicado por el Manual Minero # 6 de la Escuela de Minas de la UTPL (Patanostre et al.; 1994).
- b) Para el **análisis macroscópico**, se procedió a limpiar y lavar las muestras con cepillo de cerdas plásticas quitando impurezas que pudieran alterar los resultados con la precaución de no perder los minerales propios de la roca de la superficie de las muestras.
- c) La **identificación de minerales con muestra triturada**. Se procedió de la misma forma que se indica en el literal b). Luego cada muestra fue golpeada con el porrón o combo para después triturarse con la Trituradora de Mandíbulas Marca RESTCH varias veces consecutivas hasta llegar a un tamaño menor de ½ cm. Luego se cuarteó varias veces el material triturado (3-4 veces las metamórficas y 6 las ígneas) en el cuarteador FRISTCH para tener una muestra representativa de la roca y finalmente la roca era colocada en una funda con cierre escribiendo su código sobre la funda con marcador permanente. Luego cada muestra de roca metamórfica fue tamizada en seco con una criba de 0.5 mm de abertura (número 35). La parte fina fue nuevamente colocada en la funda y la parte gruesa se lavó con el fin de quitar el polvo y poder apreciar los minerales.
- d) La **preparación de las muestras para ICP de masas y Fluorescencia de Rayos X (FRX)** se aplicó en las principales rocas ígneas. Después de trituradas (al igual que se indicó en el literal c) estas fueron homogenizadas y cuarteadas con una lámina de plástico limpio mediante el método que se muestra en el ANEXO I estas fueron secadas en estufa durante 24 horas

para eliminar toda el agua y CO<sub>2</sub> existentes. Se procedió a la pulverización de 100g de muestra a 700rpm durante 3 minutos en la pulverizadora marca RESTCH del laboratorio de Metalurgia Extractiva. Esos 100 gramos de muestra pulverizada fueron llevados al centro de acopio de muestras de los laboratorios ACME en la ciudad de Cuenca.

- e) **La preparación de muestras para FRX con el equipo Brucker Turbo S-1** de la titulación de Geología y Minas se aplicó para las rocas ígneas y metamórficas. Para las muestras de roca ígnea, una vez triturada se cuarteó la muestra con el cuarteador FRISTCH hasta obtener 100g se pulverizaron para luego volverse a homogenizar y cuartear con lámina de plástico y espátula (según el método del ANEXO I) hasta obtener 10 a 12 gramos de muestra, que luego eran colocados y etiquetados en una funda plástica pequeña.

En cambio para las rocas metamórficas, una vez que sus minerales fueron analizados en muestra triturada bajo lupa estereoscopio, se mezclaba toda la muestra (fracción fina y gruesa) para cuartearla una vez con el cuarteador FRISTCH y luego pulverizar 50 gramos de muestra con la pulverizadora RESTCH. Una vez pulverizada la muestra de roca metamórfica era homogenizada y cuarteada con lámina de plástico y espátula (según el método del ANEXO I) hasta obtener 10 a 12 gramos de muestra que eran colocados y etiquetados en una funda plástica pequeña.

### 3.3.2. Análisis de muestras.

- a) **La interpretación de minerales bajo lámina delgada** se aplicó a rocas ígneas intrusivas y a rocas metamórficas. Los datos que se obtuvieron fueron la textura o fábrica de la roca, microestructuras y la identificación de cada mineral. Para la identificación de cada mineral se contemplaron los siguiente parámetros: Hábito, color y pleocroísmo a través de luz Polarizada no Analizada (LPNA) y con luz polarizada analizada (LPA) los parámetros fueron: máximo color o rango de colores de interferencia, maclas y zonación, exfoliación, tipo de cristales (euhedrales, subhedrales o anhedrales) tipo de extinción, ángulo de extinción y elongación.
- b) **El análisis macroscópico** se realizó a través de lupas binoculares con la muestra de mano para las rocas metamórficas. El análisis permitió identificar la foliación de la roca, textura, tipo de grano y cuando fue posible ciertas estructuras visibles a esta escala. Los minerales se identificaron con el hábito, color, brillo, color de raya y dureza. Cuando la identificación de los minerales quedaba en duda, ya sea que la muestra era de grano muy fino o los minerales se tapaban y confundían unos con otros, se procedía a identificarlos con muestra triturada.

- c) **La identificación de minerales con muestra triturada** también se realizó con lupa binocular. En este caso a las propiedades que se vieron anteriormente con muestra de mano se añadieron las propiedades de hábito, forma cristalina, magnetismo y efervescencia con HCL, tanto a la fracción fina (menos de 0.5mm) como a la fracción gruesa. A la fracción fina no fue lavada porque en caso de realizar FRX se podrían perder ciertos componentes químicos.
- d) **Los análisis de ICP de masas y de FRX** para las muestras de rocas ígneas principales (las mismas que fueron analizadas en lámina delgada) fueron hechos por servicios externos en los laboratorios ACME. Como resultados se obtuvieron los principales componentes de la roca en óxidos en porcentaje y las tierras raras de la roca en partes por millón (ppm).
- e) **Los análisis de FRX con el equipo Brucker S-1 Turbo** fueron realizados en el laboratorio de química de Geología y Minas. Una vez preparada la muestra (10-12 g.) se prepara el equipo. Se limpiaba en seco con el compresor de aire los pocillos con membrana plástica especial para rayos X. Se verifica que la membrana de plástico especial no esté dañada antes de colocar la muestra. Se utilizaron dos pocillos por muestra para realizar duplicados. A cada pocillo se le colocó la misma cantidad de muestra cucharada por cucharada hasta tener la misma cantidad de muestra en ambos lados, se taparon los pocillos y se les dieron golpecitos con la cuchara con el fin de disminuir el espacio de poros mediante vibración.

El equipo Brucker S-1 Turbo fue configurado para dar resultados en porcentaje y de tres decimales con la modalidad de *Mining Light Elements* con radiación durante 15 a 30 segundos (el aparato se detiene automáticamente cuando no lee más elementos después de 15 segundos), esta modalidad permite obtener todos los óxidos de los principales componentes de las rocas a excepción del  $\text{Na}_2\text{O}$ , debido a que el equipo no tiene la potencia suficiente para leer este elemento. Finalmente se coloca el pocillo sobre la plataforma y se lo tapa con la cápsula de plomo para luego iniciar el análisis. Una vez finalizado el análisis se anotó el número de análisis que aparece en la pantalla del PDA del equipo Brucker y se repite lo mismo con el duplicado de la muestra. Al acabar un set completo de muestras se pueden exportar los datos del PDA en formato '.csv' a una memoria externa y luego a un ordenador.

#### **3.4. Trabajos de Gabinete.**

### **3.4.1. Elaboración de la cartografía.**

La Cartografía Geológica se desarrolló en base a la información de 371 puntos en los 25 Km<sup>2</sup> del polígono y en sus alrededores cercanos. Se empleó información de apoyo del logueo geotécnico elaboraron y del mapa geológico de Benítez (2011). Algunos de los puntos se concentran en sitios donde la litología es muy cambiante y donde era requerida mayor información litológica y la correlación espacial de la misma para comprender la geología. En ciertos sitios se utilizó la técnica de identificar dos litologías idénticas en afloramientos cercanos y tomar datos estructurales para verificar el cambio de foliación o dirección de capas (razón por la cual es muy confiable la información sobre los pliegues). La descripción de los afloramientos y puntos de control se indica en el Anexo II A; mientras que la ubicación en coordenadas se muestra en el Anexo II B.

#### **3.4.1.1. Datos estructurales.**

Principalmente fueron utilizados para trazar diques, fallas y algunos contactos. En dichas estructuras existen planos que sirven como delimitantes de una formación litológico-estructural en ciertos sectores o permiten indicar la traza de las fallas o diques pequeños sobre la superficie del mapa.

#### **3.4.1.2. Fotografía aérea.**

Esta técnica fue utilizada posterior al trabajo de campo y se utilizó principalmente para delimitar las rocas sedimentarias de las metamórficas y a las cuarcitas y esquistos de cuarzo de esquistos grafiticos. Además la fotografía permitió identificar algunos lineamientos en las quebradas para inferir fallas geológicas.

#### **3.4.1.3. Interpolación y seguimiento de contactos.**

Ambas técnicas se usaron en base a la información de campo y corroborándose con la información del CELEC. La interpolación fue muy útil para delimitar lugares en los que los contactos entre dos litologías están cercanos; pero no pueden ser vistos ya que están cubiertos por la vegetación. Esta técnica se utilizó para delimitar todas las litologías, ya sea como único criterio dibujar o para corroborar la traza de un contacto elaborado con otra técnica. Los contactos que se realizan con esta técnica dependiendo de la cercanía entre dos puntos de diferente litología y de la cantidad de puntos disponible, se dibujan como contactos inferidos (línea entrecortada) o seguros (línea continua).

El seguimiento de contactos fue muy útil en cambio para delimitar las metabasitas y los intrusivos Villonaco, Duraznillo y Eucaliptos de otras rocas circundantes ya que los datos estructurales no sirvieron para delimitar este tipo de intrusiones discordantes. Los contactos dibujados con esta técnica son seguros.

Vale la pena aclarar que los contactos del sector suroeste son inferidos y se podría discutir su traza debido a que no se obtuvo información de estos lugares debido al difícil acceso a los mismos y tan solo la fotografía aérea sirvió para identificar que se trataba de rocas metamórficas. De la misma manera en el sector centro sur los afloramientos se ubican muy distantes unos de otros y no se vieron contactos, solo cambios de litología y por lo tanto algunos contactos quedan inferidos.

### **3.4.2. Interpretación de los resultados de los análisis químicos.**

#### **3.4.2.1. Rocas ígneas de las principales intrusiones.**

Los resultados del análisis químico sirvieron para caracterizar y clasificar las intrusiones. Los resultados del análisis químico se los recibió como archivo de extensión .xls (Libro de Microsoft Excel 1997-2003) el cual se modificó en su forma para importarse luego con el software PetroGraph, versión 2-BETA y finalmente guardarse como un archivo de extensión .peg (archivos del software PetroGraph). Con aquella información se realizaron diagramas de clasificación del tipo TAS (*Total Alkalis vs. Silica*) y además clasificación usando elementos traza. Se habla de ellos con mayor detalle en el Capítulo 6 Análisis de Resultados y Manejo de Datos. También se usaron los diagramas de Winchester-Floyd (1978) usando una hoja de Microsoft Excel desarrollada por el profesor Kurt Hollocher de la universidad Union College de Nueva York.

#### **3.4.2.2. Diques y otras rocas ígneas.**

Se utilizaron diagramas de  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{K}_2\text{O}$  para clasificarlos como ácidos, intermedios o máficos. Además se utilizó un diagrama de TAS y un diagrama de Winchester Floyd para una corroborar y comparar la clasificación con el diagrama de TAS.

#### **3.4.2.3. Rocas metamórficas.**

Se usaron una serie de diagramas tipo *harcker* con el software PetroGraph para diferenciar entre las metapelitas y metabasitas.

Para las metapelitas, entre ellas metasamitas también, se usó el diagrama AFM proyectado desde el sistema KAFM. Sin embargo, vale la pena aclarar que se utilizó el hierro total y no el FeO como lo indica la literatura; ya que el equipo de FRX no discrimina entre FeO y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; por lo tanto estos resultados fueron comparados con la mineralogía bajo la lupa estereoscopio para llegar finalmente a los resultados finales. El objetivo de este diagrama es de llegar a determinar los principales minerales en rocas pelíticas.

### **3.4.3. Interpretación mineralógica y petrográfica de las muestras.**

Este proceso se lo realizó en el laboratorio de Mineralogía y Petrografía de la titulación de Geología y Minas. A excepción de la muestra M-13 y V-2, todas las muestras ígneas llevan la letra 'I' acompañada de un guion y luego un número (por ejemplo I- 1); en cambio, las rocas metamórficas llevan la letra 'M' en vez de la 'I'. Cuando una muestra, sea esta ígnea o metamórfica, se haya tomado del mismo afloramiento o de un afloramiento adyacente lo que se hizo en campo fue tomar dos o tres muestras y añadir después del número de etiqueta las dos o tres primeras letras del abecedario (por ejemplo se tienen las muestras M- 39 A y M- 39 B o las muestras I- 18 A, I- 18 B e I- 18 C).

En campo algunos afloramientos en donde fue posible (minerales de grano grueso y minerales comunes formadores de las rocas) se realizó esta interpretación en campo. Sin embargo, fueron necesarias llevar algunas muestras al laboratorio para identificar minerales y la roca vista en el afloramiento. Detalles del sitio en donde se tomaron las muestras indican en el Anexo II.

#### **3.4.3.1. Muestras de rocas metamórficas.**

Una vez limpia (lavada con cepillo) y seca la roca se llevó al laboratorio para observar su textura y foliación, a pesar de que la foliación es más notoria en escala de afloramiento. Se identificaron sus minerales bajo la lupa binocular y finalmente se le dio un nombre a la roca, este es el tratamiento de muestra de mano (MM).

Sin embargo, no en todas las rocas se pudieron identificar minerales con tanta facilidad y por eso se procedió a triturar la roca hasta la abertura de 0.5 cm en la trituradora RESTCH del laboratorio de Metalurgia Extractiva de la titulación de Geología y Minas y luego separar una fracción gruesa y otra fina con criba de 0.5 cm, la parte gruesa fue lavada para quitar el polvo y secada durante 18 horas a 105° C para quitar toda el agua. No se lavó la porción fina porque en caso de realizar análisis de FRX habrían elementos que se van con el agua. Una vez seca la muestra se analizó tanto la parte fina como la parte gruesa de la muestra para identificar minerales, se usó el imán cuando se sospechaba de minerales magnéticos y ácido clorhídrico cuando se sospechaba de carbonatos. Este es el tratamiento de la muestra triturada (MT). Cuando los minerales fueron de grano muy fino o no se pudieron identificar todos los minerales se apoyó con el equipo Brucker S-1 Turbo para identificar minerales con el diagrama AFM, en estos casos se pulverizó toda la muestra (fracción gruesa y fina).

Las muestras de lámina delgada son muy pocas, se intentó realizar una muestra por cada estructura litológica- formacional o en aquellas muestras en las que la mineralogía resultaba difícil de interpretar con la muestra triturada. Las abreviaturas minerales utilizadas están acorde a la IUGS (*International Union of Geological Sciences, ver Anexo III D*) y así mismo la nomenclatura del tipo de roca, tanto en ígneas como metamórficas, están acorde a esos criterios.

#### **3.4.3.2. Muestras de rocas ígneas.**

En todo el polígono se encontraron varios plutones, algunos solo eran diques de unos cuantos decímetros de potencia y otros algo más potentes. Además, también se encontraron cuerpos plutónicos de gran tamaño como el diapiro debajo del cerro Villonaco al que se le denominó intrusivo Villonaco, al que aflora en el barrio Duraznillo y por el sector de la urna se le llamó Intrusivo Duraznillo. Además hay una intrusión del tipo dique que se puede medir en unas cuantas decenas de metros de potencia y que aflora en la Hacienda Villonaco de los Hermanos maristas y en la vía nueva que se conduce desde la subestación Villonaco hacia el parque eólico Villonaco, a este se le denominó intrusivo Eucaliptos ya que aflora principalmente en esta barrio al occidente de la ciudad de Loja. A la intrusión que aflora en la quebrada Chicheros y en las montañas del barrio Urihuanga se le llamó intrusivo Urihuanga. A la intrusión ígnea, que podría ser o bien un dique o bien una parte de una intrusión discordante más grande y aflora dos veces en la vía antigua Loja-El Tambo en el sector del Cerro Ventanas se le llamó intrusivo Cerro Ventanas.

Se realizaron láminas delgadas de las intrusiones siguientes:

- Villonaco con la muestra I-2 A, I- 2 B e I- 6.
- Duraznillo con la muestra I- 8.
- Eucaliptos con la muestra I- 17 e I- 19.
- Cerro Ventanas con la muestra I- 11.

Adicionalmente para las rocas I- 2 A, I- 2 B e I- 6 se utiliza una clasificación detallada sobre el tipo de plagioclasa que conforma dichas rocas para así poder identificar la roca como un gabro con mayoría de plagioclasas cálcicas ( $An > 50$ ) o como una diorita que tiene la mayoría de plagioclasas sódicas ( $Ab > 50$ ). Para dicha caracterización se usó la metodología de Rittman, 1929 (encontrado en Raith et al.; 2012; p.102).

**CAPÍTULO IV  
GEOLOGÍA REGIONAL.**

#### **4.1. Zonificación Geotectónica del Ecuador.**

En la zonificación tectónica del Ecuador (Paladines y Soto; 2010), nuestro país es dividido en 7 grandes zonas estructuro-formacionales que de este a oeste son:

- a) Zona trasarco o cuenca Iquitos.
- b) Zona Subandina o arco Oriental.
- c) Cordillera Real o arco central.
- d) Graben de Quito.
- e) Cordillera Occidental o arco Occidental
- f) Zona antearco o cuenca Costanera.
- g) Zona transversal Puná Méndez.

Esta última consiste en una zona con estructuras transversales a la dirección preferencial de los Andes y atraviesa la Provincia de Loja, El Oro y parte del Azuay. Se subdivide en las siguientes sub-zonas:

- a) Arco volcánico Celica
- b) Cordillera Tahuín.
- c) Arco Volcánico Saraguro.
- d) Cuencas intramontañosas.
- e) Cuenca Progreso.

El Cerro Villonaco forma parte del arco central o Cordillera Real del Ecuador. La provincia de Loja se encuentra en una zona de transición entre los andes Nórdicos de dirección NNE-SSW de los andes Centrales de dirección NW-SE llamada deflexión de Huancabamba que comienza en el sur del Ecuador y termina al norte del Perú (Paladines y Soto; 2010).

##### **4.1.1. La cordillera Real.**

La cordillera Real del Ecuador está formada por varios terrenos alóctonos (o acrecionados) de distintas edades (Litherland et al. 1994). Estos terrenos comienzan con el cratón amazónico de edad precámbrica, las formaciones Pumbuitza (meta sedimentos) del paleozoico, Macuma (calizas y lutitas deformadas) y la unidad Isimanchi (filitas y mármoles) del carbonífero, formación Puintza (sedimentos vulcano-sedimentarios metamorfoseados) del triásico. Todas estas rocas afloran en la zona oriental de la cordillera Real; muchas de ellas se encuentran enterradas por otras formaciones más jóvenes.

Estas rocas son atravesadas por batolitos jurásicos: Zamora, Abitagua y la Bonita, y hacia el oeste de estos encontramos en la columna estratigráfica de la cordillera Real los terrenos, de este a oeste: Salado, Loja, Alao y Guamote (Reyes; 2011). Litherland (1994) ha estudiado estos terrenos y se describen de la siguiente manera:

- El terreno Guamote es del Jurásico Inferior al Cretácico inferior, es constituido de una secuencia marina clásica de margen pasivo con material proveniente del granitoide Tres Lagunas y de la Unidad Chiguinda.
- El terreno Alao, de posible edad Jurásica, es interpretado como un relicto de un arco de islas formado por una compleja asociación de rocas desarrolladas en un ambiente de subducción con un melange ofiolítico conocido como unidad Peltelec, una cuenca turbidítica de antearco llamada unidad Maguazo, un arco de islas conocido formado por rocas verdes basálticas y andesíticas conocido como unidad Alao-Paute y una cuenca de trasarco meta-sedimentaria conocida como unidad El Pan.
- El terreno Loja de edad Paleozoica cubre una gran franja alargada que aflora por toda la Cordillera Real constituidos por los meta-sedimentos de las unidades Chigüinda y Agoyán y los granitoides Tres Lagunas de edad Triásica.
- El terreno Salado de edad Jurásica constituye el relicto de una cuenca marginal desarrollada sobre corteza continental. La conforman la unidad Upano constituida de meta-sedimentos de origen volcánico y meta-andesitas de afinidad calco alcalina, También tenemos el granito Azafrán de edad Berriasiana (Cretácico Inferior) que intruye localmente a las rocas carbonatadas de la Unidad Jurásica Cerro Hermoso.

#### **4.1.2. Cuenca Sedimentaria de Loja.**

Las cuencas intramontañas son depresiones que han sido rellenadas con sedimentos terciarios de origen lacustre y fluvial (Paladines y Soto; 2010). La ciudad de Loja se halla situada sobre una de estas cuencas, la cual es de edad estrictamente miocénica (Hungerbühler et al. 2002) cuya potencia de sedimentos llega máxima llega casi a los 1000m en la parte este de la cuenca. Hungerbühler (Ibid.) realiza dos columnas estratigráficas una para el este de la cuenca y otra para la parte oeste. La Unidad Chiguinda es el basamento en ambos lados de la cuenca.

En la parte oeste encontramos las siguientes formaciones (Hungerbühler et al. 2002):

- Formación Loma Blanca de edad Terciaria. Está formada por piroclastos ácidos a intermedios, principalmente ignimbritas, tobas cristalinas y pómez, brechas volcánicas. Aunque principalmente aflora en Catamayo, Malacatos y Catacocha, al sur de la ciudad de Loja esta fue datada con  $36.2 \pm 6.8$  Ma. (Ibíd.) por la técnica ZFT (*zircon fission track*) en zircones lo cual la coloca con una edad entre el Eoceno y el Oligoceno.
- Formación Trigal. Aflora discordantemente sobre la formación Loma Blanca y la Unidad Chigüinda. Está constituida principalmente por areniscas de grano grueso, conglomerados de grano fino, capas de limolita depositadas en un ambiente predominantemente fluvial y llanuras de inundación. Se distingue de las otras formaciones de la cuenca de Loja por tener clastos volcánicos.
- Formación La Banda. Yace concordantemente sobre la formación Trigal. Esta formación tiene una potencia muy baja (10 a 20 m); pero está constituida por: calizas blancas de gran potencia, margas y calizas poco potentes depositadas en forma rítmica, pequeñas capas de chert, brechas calcáreas intra-formacionales y areniscas de grano fino. Fue datada con ZFT con una edad de  $11.1 \pm 1.2$  Ma. Lo que la coloca en el Mioceno Medio. Se depositó en un ambiente de laguna.
- Formación Belén. Yace concordantemente sobre la formación La Banda. Está conformada por areniscas gruesas de canal y ciertos conglomerados. Es interpretada como el cambio a un ambiente deltaico y fluvial de carga-mixto.
- Formación Salapa. Es mucho más joven que las formaciones sedimentarias, es de origen volcánico y está formada por piroclastos y tobas vítreas fuertemente caolinizadas. Es la formación volcánica más joven del sur del Ecuador con una edad de  $2.3 \pm 0.8$  Ma.

En la parte este de la cuenca se encuentran las siguientes formaciones (Hungerbühler et al. 2002):

- Formación San Cayetano. Está conformada por tres miembros. El miembro Arenisca inferior formado por areniscas de grano grueso, conglomerados canalizados y en menor cantidad lutitas y capas de carbón. Luego existe una tendencia grano-decreciente hacia el miembro Limolita que se conforma de lutitas laminadas de color marrón, gris y blancas parcialmente silicificadas, abundantes capas de diatomita pocos horizontes piroclásticos. El miembro superior Arenisca es similar al primero pero es

rico en pedazos de madera, hojas, esqueletos de peces, gasterópodos y diatomeas. Hungerbühler interpreta que esta formación fue de un lago de agua dulce en un ambiente tropical. El miembro medio con ZFT con edades de  $10.0 \pm 1.4$  Ma y  $10.7 \pm 1.6$  Ma. (Mioceno medio).

- La formación Quillollaco, aflora en ambos lados de la cuenca. Yace sobre las formaciones más antiguas (San Cayetano y Belén) con una discordancia angular. Está formada por conglomerados clasto- soportados y lentes de arenisca. Se depositó en un ambiente fluvial y su edad es posiblemente el Mioceno tardío, por comparación con la formación Cerro Mandango de la cuenca de Malacatos Vilcabamba.

Adicionalmente a toda esta información, en el sur del Ecuador, la formación de los Andes está influenciada por la colisión de la cordillera submarina de Carnegie en un periodo entre 15 y 9 Ma. Además, que entre los 8 y 9 Ma la cuenca de Biblián- Azoguez, situada al norte de la Cuenca de Loja se ve afectada por el periodo de Compresión más fuerte de la zona interandina (Spinkings; 2001, citado en Hungerbühler; 2002).

## **4.2. El Terreno Loja.**

Los terrenos Loja y Tahuín representan fragmentos continentales distantes durante la separación de las placas Centroamericana y Suramericana. Subsecuentemente acrecionan al cratón amazónico durante el Jurásico Tardío y el Cretácico temprano en el evento Peltelec. El basamento cristalino de los terrenos Loja y Tahuín consisten en litologías similares (Chiradia, Fontobé y Paladines; 2004).

El terreno Loja limita al oeste con el terreno Alao, separándose de este por la falla de Baños. Por el lado este hay un contacto tectónico con el terreno metamórfico Jurásico Salado y con el Cratón Amazónico (Litherland et al.; 1994). El terreno Loja a su vez ha sido dividido por Litherland et al, en 4 grandes unidades que se describen de la siguiente manera.

### **4.2.1. Unida Chigüinda.**

Edad paleozoica. Aflora en las vías Cuenca-Limón, Catamayo- Loja- Zamora, Loja- Zumba y Sigsig- Chigüinda. En la parte sur de la cordillera forma un cinturón rocoso de hasta 30 Km de ancho, acuñaándose en el norte. Hacia el este de la unidad Chigüinda se encuentran los meta-granitos Tres Lagunas y hacia el oeste las migmatitas Sabanilla y los esquistos Upano. Estos

contactos son tectónicos. La potencia es desconocida pero se deduce que debería ser medida en kilómetros.

Dos muestras de filitas de bajo grado de metamorfismo en la carretera Loja- Zamora se sometieron para análisis palinológico por geólogos del BGS, donde se identificaron unas miosporas (*miospores*) pobremente preservadas que tan solo dio como diagnóstico que la edad era post-silúrica (Litherland; 1994).

Las litologías en la unidad son meta-sedimentos de distintos tipos: cuarcitas generalmente impuras de grano fino a medio, meta-limolitas, esquistos gráficas, filitas, pizarras y escasa meta-grauvacas. Los minerales son generalmente de bajo grado de metamorfismo incluyendo sericita y clorita. La biotita y el granate han sido encontrados en esquistos de estructura planar (*flat-lying schist*) en el sector Gualaceo Limón. El cloritoide, estilpnomelano y la estaurolita se encontraron en una muestra de la carretera Catamayo- Loja.

Adicionalmente, Kennerly (1973) también ha estudiado estas rocas metamórficas y específicamente en las proximidades de Loja, le llama a la unidad Chigüinda serie Zamora y describe las siguientes litologías: cuarcitas y esquistos de cuarzo cerca del Tambo en la carretera Loja- Zamora. Esquistos gráficas entre Loja y Catamayo y al oeste de Malacatos. Kennerly (Ibíd.) también afirma que la orientación general de la foliación de las rocas metamórficas es de norte-noreste a sur-suroeste, que las rocas están plegadas con isoclinales con plano axial de una dirección similar hacia el oeste y que en el valle de Masanamaca al sur de Vilcabamba el clivaje en las filitas es casi horizontal.

La estratificación y el clivaje primario de las rocas es generalmente subparalelo, buzando fuertemente y siguiendo la tendencia de los Andes con evidencia de más de una fase de deformación (Litherland; 1994).

Litherland et al. (Ibíd.) indican que la unidad Chigüinda es una secuencia potente de sedimentos de origen continental, probablemente de una cuenca intracratónica o de un margen pasivo y este autor las ha correlacionado con las rocas de una unidad similar de edad entre el Devónico y el Carbonífero del fallamiento Perú- Bolivia hacia el Sur mientras Kennerly (1973) las correlaciona con las rocas de la Cordillera Central de Colombia que se encuentran en bajo sedimentos Triásicos.

#### **4.2.2. Unidad Agoyán.**

Esta unidad aflora al norte de la cordillera y hacia el sur existen ciertas ocurrencias al norte de Loja. Aflora en una franja cuyo ancho es menor a la de la unidad Chigüinda y el mismo se encuentra interrumpido por pliegues y fallas. Los contactos de la unidad Agoyán son tectónicos y su potencia es desconocida. Esta unidad está estrechamente relacionada con el granito Tres Lagunas y esencialmente reemplaza a la Unidad Chuigüinda hacia el norte. Como ocurre con la unidad Chigüinda, las meta-basitas en esta unidad también son escasas y son descritas como anfibolitas Monte-Olivo.

Las litologías en esta unidad son: esquistos de granate- moscovita de grano medio y gneises de grano grueso, los cuales llegan a tener granates de tamaño de hasta más de 1 cm como en el área de Agoyán y hasta algo más de 2 cm en Monte Olivo. Los esquistos gráfícos negros también están presentes y al oeste de las anfibolitas Monte Olivo hay un cinturón de meta-samitas feldespáticas. Orto-cuarcitas de grano fino, cuarcitas de granate y esquistos de cuarzo con poca potencia también forman parte de la unidad.

Litherland et al. (1994) también afirma lo siguiente: “La unidad Agoyán es más pelítica que su equivalente semi-pelítica Chigüinda, no es su equivalente de mayor grado de metamorfismo, sus edades son similares y, finalmente, no existe evidencia de que hayan venido de cuencas sedimentarias distintas”.

#### **4.2.3. Anfibolitas Monte Olivo.**

Incluye todas las anfibolitas encontradas en el terreno Loja. Estas anfibolitas están asociadas a las cuatro unidades del terreno Loja: Chigüinda, Agoyán, Tres Lagunas y Sabanilla, y, donde no hay contactos fuertemente tectonizados, pueden ser identificadas como concordantes o discordantes.

La litología dominante es de esquistos anfibolíticos de afinidad máfica meta-basáltica con asociaciones de hornblenda-cuarzo-calcita-epidota-biotita. También están presentes gneises de grano grueso a fino con segregaciones cuarzo- feldespáticas asociados en lugares con cuarcitas grises a verdes de grano fino. En el Río Anatenorio afloran anfibolitas de grano fino con granate y con márgenes esquistosos. Las anfibolitas Monte Olivo presentan una fase de diques máficos que cortan a los pre-metamórficos Agoyán y Chuigüinda.

En estas rocas se han datado: un dique anfibolítico con la técnica K-Ar por Runddle (1988 en Litherland; 1994).y dio una edad de  $363 \pm 9$  Ma y  $371 \pm 10$  Ma perteneciendo al Devónico Superior y otros hechos por Harrison (1990 en Litherland et al; 1994) en la hornblenda de una anfibolita de granate dieron edades de  $306 \pm 10$  Ma y  $342 \pm 23$  Ma dando una edad del periodo Carbonífero.

#### **4.2.4. Granito Tres Lagunas.**

Es la principal unidad ígnea del terreno Loja. Se encuentra asociado con las rocas meta-sedimentarias de la Unidad Chigüinda y Agoyán a través de la Cordillera Real en formas que van desde la batolítica hasta ciertos lentes aislados de unos pocos centímetros de ancho. Forma contactos tectónicos con las Unidades Chuigüinda y Agoyán, mas no se han reportado contactos intrusivos. En el sector Tres Lagunas al este de Saraguro el granito alcanza dimensiones batolíticas (100 Km de largo por algo más de 10 Km de ancho). Otros afloramientos accesibles son la mina Peggy cerca de Sigsig, debajo de la represa Agoyán cerca de Baños y alrededor de la cuenca de Malacatos. A pesar de que gran parte del granito se haya en el terreno Loja, pequeños lentes de no más de un metro de ancho han sido identificados entre el melange ofiolítico de Peltelec, en los descansos de Cuyuja y reportado en el terreno Alao.

La apariencia del granito en el campo va desde masiva hasta esquistosa. Es muy característico de este granito el cuarzo transparente, gris y azulado. Las proporciones modales del cuarzo van desde 35% hasta 59 %, del feldespato de potasio de 1-13%, la plagioclasa (albita-oligoclasa) de 13-41%; el mineral máfico en mayor abundancia es la biotita (9 -18 %) que tiene coloración rojiza en lámina delgada. No se han encontrado hornblendas. El granate es un mineral accesorio común llegando a tener hasta un 30% en un cinturón de granito entre Papallacta y Oyacachi, la cordierita ha sido identificada pero es rara en este sitio, la moscovita es común (1-9%) y está subordinada a la biotita.

A pesar de no haberse encontrado contactos intrusivos con las rocas, se han encontrado xenolitos en varias localidades donde aflora este granito. La foliación tectónica buza muy fuertemente; pero también forma cinturones planos (*flat belts*) entre los núcleos de la unidad Chigüinda o Agoyán.

Diversos análisis de varias muestras a lo largo de los afloramientos del granito Tres Lagunas han sido hechos por Litherland et al. (1994) en su investigación. Los análisis de datación por

Rb/Sr dan una edad de  $200 \pm 12$  Ma, y  $224 \pm 37$  Ma, mientras que los de U-Pb hechos en circones aciculares le dan edades de  $227.3 \pm 2.2$  Ma. Todos estos dando edades Triásicas.

Por otro lado los análisis geoquímicos que se hicieron por estos mismos investigadores demuestran que los granitos fueron formados en un ambiente de arco de islas según el Diagrama de Pearce et al (1984). Litherland et al. (1994) al comparar estos granitos con otros del batolito de Zamora se da cuenta que estos son escasos de  $\text{Na}_2\text{O}$  y enriquecidos en otros elementos, por lo tanto concluye que estos granitos no tienen el mismo origen.

#### **4.2.5. Unidad Sabanilla.**

Está formada por orto y para-gneises que forman un cinturón de 10 Km de ancho desde la frontera Ecuador- Perú hasta 150 Km hacia el norte en donde se acuñan hasta perderse. Existen afloramientos en Sabanilla (carretera Loja- Zamora) y a lo largo de la carretera Loja-Zumba y en los caminos hacia Pico Toledo. Tiene contacto tectónico con las formaciones Chiguinda e Isimanchi, de grado de metamorfismo más bajo. Al este de Sabanilla y al sur de Yangana, al margen este de la unidad Sabanilla, esta comprende cuarcitas gnéicas con buzamientos desde muy fuertes a verticales que contienen silimanita, moscovita, biotita y pertita en ciertos lugares, hacia el este en cambio hay orto-gneises granodioríticos de biotita con prominente moscovita. Los cuales exhiben una foliación con la biotita y una incipiente migmatización. Las asociaciones de grado alto de silimanita- biotita- cuarzo- albita y cianita-biotita- ortoclasa- cuarzo fueron documentadas (Litherland et al.; 1994). En los alrededores y al norte de Valladolid gneises de anfíbol, con o sin biotita, son muy comunes entre los meta-plutones. Gneises de estaurólita ocurren al norte de Palanda en un área donde las pegmatitas de moscovita y biotita son comunes.

La edad de la unidad Sabanilla de los ensayos de K-Ar en moscovitas y biotitas de Litherland et al. (1994) dan edades entre 60-100 Ma; mientras que las edades de las hornblendas de esa misma investigación dieron edades de 130 Ma. Sin embargo Litherland et al (1994, pag.21) usa dataciones hechas con Rb-Sr en dos estudios, el uno en 1987 y el otro en 1990 y combinando las dos edades obtiene una edad de  $224 \pm 37$  Ma, una edad similar a la del granito Tres Lagunas.

**CAPÍTULO V**  
**MARCO TEÓRICO.**

## **5.1. Metamorfismo.**

Metamorfismo es el conjunto de procesos que incluyen cambios de temperatura, presión litostática, presión de fluidos en una roca que no ha sido fundida y que excluyen aquellos procesos de diagénesis y meteorización (Keary; 2001; p. 169). En esta y en cualquier otra definición de metamorfismo debe entenderse que existe un *protolito* que es la roca inicial pre-existente al metamorfismo y un *producto* que es la misma roca una vez que ha sido afectada por el metamorfismo. En el campo lo que el geólogo puede percibir es el producto del metamorfismo, es decir la *roca metamórfica* y esta puede dar a conocer el protolito o posibles protolitos, según el estudio que realice el geólogo. El metamorfismo en las rocas, a excepción del metamorfismo de impacto que es causado por meteoritos, se produce por procesos endógenos de la Tierra y se clasifica, según Best (2003) en: metamorfismo de dorsal centro-oceánica, de enterramiento, dinámico, regional y de contacto. El Servicio Geológico Británico (BGS por sus siglas en inglés) propone varias clasificaciones muy específicas con 15 tipos de metamorfismo, incluyendo el de impacto, sin embargo esas clasificaciones entran de una u otra manera en las que otros autores proponen como sub-clasificaciones de otras. Los tipos de metamorfismo de la clasificación de Best se describen a continuación; pero con mayor énfasis en el metamorfismo regional y de contacto ya que son los que se identificaron en la zona de estudio; aunque el dinámico existe es muy puntual y no abarca importantes extensiones de terreno en la zona de estudio.

### **5.1.1. Tipos de Metamorfismo según Best (2003).**

#### **5.1.1.1. *Metamorfismo de dorsal centro-oceánica.***

Se produce por el movimiento de calor y de masas (fluidos) que se genera en las dorsales centro-oceánicas. Los productos de estas rocas, con excepción de los complejos ofiolíticos, se ubican solamente en los fondos marinos, razón por la cual no se profundiza en el tema en esta investigación (ibíd.).

#### **5.1.1.2. *Metamorfismo de enterramiento.***

Se produce en cuencas sedimentarias de gran potencia donde las temperaturas están entre los 200 y 300 grados centígrados, suficientes para que se produzca la recristalización. No existe la deformación dúctil del protolito o puede ser muy pequeña, por lo tanto la textura de este se mantiene. Los fluidos acuosos ascendentes de las cuencas sedimentarias están

usualmente presentes, razón por la cual también es un hidro-metamorfismo. No se presentan intrusiones de granitoides (ibíd.).

#### **5.1.1.3. *Metamorfismo dinámico.***

El estrés compresional en los cuerpos orogénicos crea fallas en la corteza somera frágil y deformación dúctil en la corteza más profunda. A lo largo de cualquier zona de desplazamiento la gran cantidad de estrés (o esfuerzos) permiten la formación de rocas cataclásticas por la deformación frágil, milonitas por la deformación dúctil y de manera muy local pseudotauquilitas (ibíd.). Las pseudotauquilitas son rocas de grano fino o textura de tipo vítrea formadas por la rápida dislocación y fusión por la generación de calor (Keary; 2001; p. 214).

#### **5.1.1.4. *Metamorfismo regional.***

También llamado metamorfismo orogénico, es el que tiene mayor distribución en la corteza continental. Se desarrolla en los cimientos de los cinturones orogénicos y cordilleras. Involucra principalmente dos procesos: Uno, la deformación que resulta del estrés de contracción durante la convergencia de placas tectónicas en zonas de subducción; y dos, la recristalización resultante del incremento de presión y temperatura en la engrosada corteza. El metamorfismo regional, por ser tan común en la corteza continental, ha sido actualmente muy estudiado desde que principios del siglo XX por Barrow (Gómez; 2006) en Escocia y por otros en diversas localidades como en Escandinavia por Goldshmidt y Eskola. Autores como Huang (1962), Tarbuck y Lutgens (2005) al igual que Best (2003) lo llaman metamorfismo Regional; antiguamente Tyrrel (1963) ya había descrito este tipo de metamorfismo como *Metamorfismo Dinamotérmico*.

Todos los autores hablan de los productos del metamorfismo regional: minerales, textura y fábrica, estructuras y además de los protolitos de los que vienen estas rocas; así por ejemplo los sedimentos pelíticos (lutitas, arcillolitas, limolitas) pueden dar como resultado pizarras de clorita, filitas, esquistos de micas y gneises (ver Ilustración 2). Algo más que estos autores le atribuyen al metamorfismo regional en común, a excepción de Tyrrell, es que el metamorfismo regional afecta a grandes extensiones de terreno, es decir que las formaciones o unidades metamórficas del metamorfismo regional se las mide en kilómetros de extensión. De igual manera todos estos petrólogos nos dicen que las nuevas estructuras y texturas son orientadas perpendicularmente a la dirección de mayor esfuerzo.

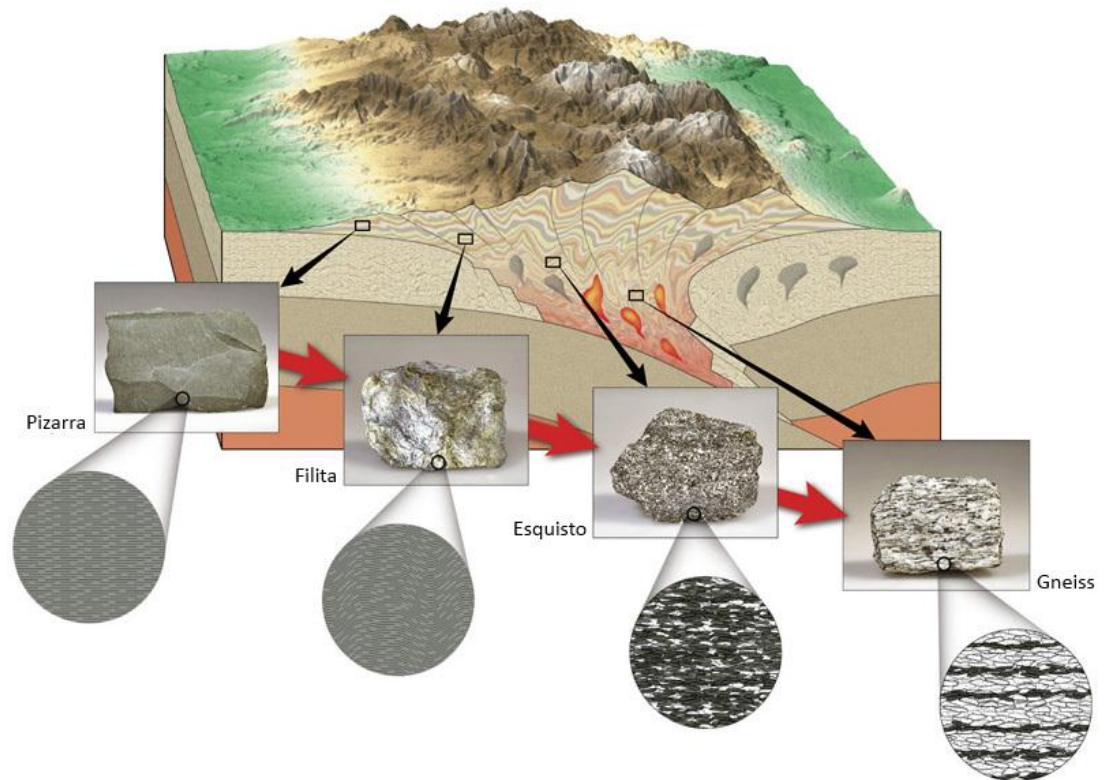


Ilustración 2. Metamorfismo Regional y sus productos.  
Fuente: Tarbuck et al. 2005 (p. 247).

#### 5.1.1.5. Metamorfismo de contacto.

Ocurre en las rocas encajantes de una intrusión magmática. Las intrusiones liberan y conducen el calor mediante fluidos que atraviesan a la roca caja produciendo una gradiente termal que disminuye al alejarnos de la intrusión magmática. Existen muchos factores que influyen en la *aureola de metamorfismo* o *aureola de contacto* (Huang; 1962), entre los más importantes tenemos: la composición, permeabilidad, temperatura pre-existente y profundidad, todas condiciones de la roca caja. Pero también la intrusión influye en la aureola de metamorfismo: su volumen, forma, composición química, contenido y composición de fluidos (Best; 2003).

Huang (1962; pp. 495-496) nos explica cómo estos factores pueden afectar los productos del metamorfismo de contacto:

- Mientras más grande es la intrusión mayor es la alteración de la roca.
- Las intrusiones que buzan suavemente producen aureolas de contacto más anchas que las que tienen buzamientos fuertes o cuyas paredes son más verticales.

- Cuando los techos son de forma irregular y las pendientes cuelgan del mismo tienen aureolas de contacto más extensas.
- A menor velocidad de enfriamiento y mayor temperatura inicial, el efecto del metamorfismo es más intenso.
- Las intrusiones con mayor cantidad de fluidos producen mayor alteración a la roca encajante, en general las intrusiones graníticas alteran más que las gabroicas debido a la gran cantidad de fluidos las primeras.
- Las rocas ígneas y metamórficas son menos susceptibles a la alteración.
- Cuando la textura es porosa o abierta mayor es el metamorfismo de la roca (Tyrrell; 1960; p.322).

En una aureola de metamorfismo de contacto, el producto de las rocas alteradas generalmente tiene una textura isotrópica y granoblástica debido a que los protolitos son simplemente sometidos a cocción y no hay deformación. Sin embargo, la presión de los magmas puede producir texturas anisotrópicas en los productos del metamorfismo de contacto (ibíd.).

El metamorfismo de contacto ha sido muy bien estudiado. Tanto Best (2003), como Tarbuck et al. (2005), Huang (1962), Tyrrell (1963) han estudiado el metamorfismo de contacto y además es muy conocido por geólogos de todo el mundo. En este metamorfismo los productos principales dependen de la roca caja que es afectada por la intrusión magmática, ellos nos dicen que las rocas sedimentarias son las que se ven más afectadas por el metamorfismo de contacto y forman productos distintos dependiendo del protolito, de la siguiente manera:

- Los sedimentos pelíticos van a formar un *hornfels* o *comeana*, estas rocas son de grano fino a medio y de estructura córnea.
- Los *skarn* y el *mármol* se forman a partir de calizas, dolomitas, margas y en general rocas carbonatadas que son muy susceptibles a la alteración química.
- Las *cuarcitas* se forman a partir de samitas o areniscas.

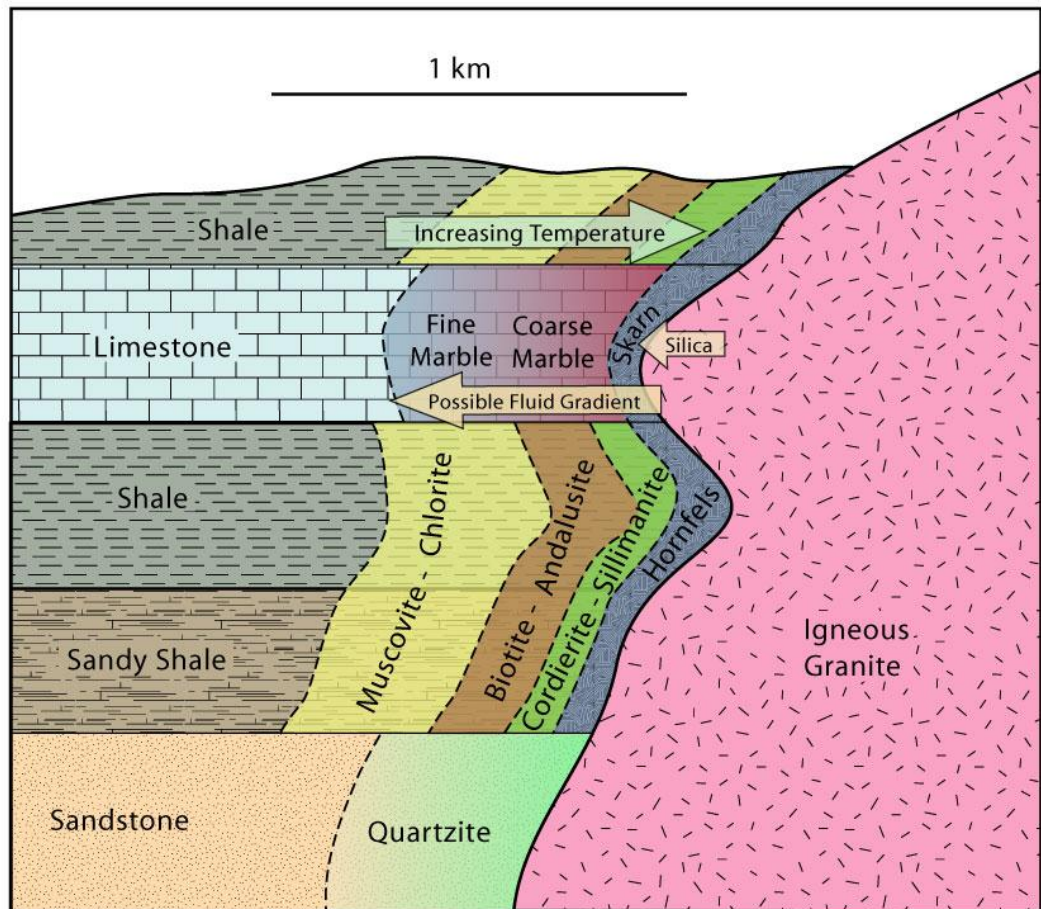


Ilustración 3. Metamorfismo de contacto y sus productos según los regolitos que los generan.

Fuente: Winter (2010) citado en

[http://www.ugr.es/~agcasco/personal/petmet/teoria/2fundamentos\\_files/litologia-metcontacto.jpg](http://www.ugr.es/~agcasco/personal/petmet/teoria/2fundamentos_files/litologia-metcontacto.jpg) el 10 de Junio de 2015.

### 5.1.2. Grado y Facies del metamorfismo.

Estos dos términos deben distinguirse bien. En los siguientes párrafos fue utilizada la terminología que Smulikowski et al. (2007; p. 3-4) proveen para el Servicio Geológico Británico (*British Geological Survey* o *BGS*). El grado de metamorfismo se refiere a la intensidad del metamorfismo, sea esta intensidad la de presión o temperatura. De esta manera se deben utilizar los términos: *muy bajo*, *bajo*, *medio*, *alto* y *muy alto* grado de metamorfismo. Sin embargo, para evitar la confusión entre los metamorfismos de alta presión y baja temperatura o viceversa, el BGS recomienda usar el término grado en función de la temperatura del metamorfismo.

El término facie metamórfica se define como *“El conjunto de asociaciones minerales, repetidamente ligados entre sí en el espacio y tiempo mostrando una relación regular entre composición mineral y composición química total (bulk chemical composition), tal que aquella facie metamórfica diferente (conjunto de asociaciones minerales) aparezca estar relacionado a diferentes condiciones metamórficas, en particular presión y temperatura, a más de otras variables como el la presión de agua que puede también ser importante”* (Traducción. *Ibíd.*).

Tabla 1. Facies de metamorfismo con protolitos basálticos.

<b>FACIES</b>	<b>MINERALES Y PARAGÉNESIS MINERALES</b>
<b>Facie de ceolita</b>	Zeolitas como la laumonita y heulandita.(en lugar de otros minerales de Ca-Al como prenita, pumpelita y epidota)
<b>Facies sub esquisto verde</b>	Prenita-pumpelita, pumpelita-actinolita, (la prenita y la pumpelita son los minerales de diagnóstico en vez de los silicatos de Ca-Al de la epidota y minerales del grupo de las zeolitas.
<b>Facies de esquistos verdes</b>	Actinolita-albita-epidota-clorita (un mineral del grupo de la epidota es el diagnóstico en vez de la prenita-pumpelita).
<b>Facie de anfibolitas de epidota</b>	Hornblenda-albita-epidota (clorita menos abundante).
<b>Facie de anfibolita</b>	Hornblenda-plagioclasa (la plagioclasa con mayor calcio que An17)
<b>Facie de corneana de piroxeno</b>	Clinopiroxeno-ortopiroxeno-plagioclasa (el olivino se estabiliza con la plagioclasa.
<b>Facie de sanidinita</b>	Se distingue de la facie de corneana de piroxeno por la ocurrencia de minerales polimorfos de alta temperatura como la piegonita, labradorita rica en calcio,etc.
<b>Facie de esquisto de glaucofana o facie de esquistos azules</b>	Glaucofana-epidota-(granate), glaucofana-lawsonita, glaucofana-lawsonita-jadeita.
<b>Facie de eclogitas</b>	Onfacita-granate-cuarzo (sin plagioclasa, el olivino se estabiliza con el granate).
<b>Facie de granulitas</b>	Clinopiroxeno-ortopiroxeno-plagioclasa (el olivino no se estabiliza con la plagioclasa o el granate).

Fuente: Traducido de Smulikowski et al. (2007; p. 6).

La clasificación de las facies de metamorfismo que se ha indicado en la tabla es mostrada para asociaciones de minerales de algún protolito basáltico. En cuanto a los sedimentos pelíticos Best (2003) realiza una analogía de los minerales que se pueden encontrar en el metamorfismo de estos, y es la siguiente:

Tabla 2. Facies de metamorfismo para las rocas pelíticas

<b>FACIES</b>	<b>Asociaciones minerales ± Cuarzo ± Óxidos de Fe y Ti</b>
<b>Facie de ceolita</b>	Capas de arcillas mezcladas.
<b>Facie prenitapumpelita (sub esquistos verde)</b>	Mica blanca/ ilita + clorita + albita ± estilpnomelana
<b>Facies de esquistos verdes</b>	Moscovita ± clorita ± albita ± paragonita ± grafito ± rutilo ± magnetita ± hematita ± carbonatos ± epidota ± feldespato de potasio ± óxidos de Fe y Ti ± estilpnomelana (bajo contenido de Al en la roca) ± pirofilita ± cloritoide ( las dos últimas si el contenido de Al es alto). Biotita: para la zona de la biotita. Estaurolita: para la zona de la estaurolita. Granate rico en almandino: para la zona de granate.
<b>Facie de anfibolita</b>	Biotita ± moscovita ± plagioclasa ± granate rico en almandino ± cordierita ± aluminosilicatos <sup>1</sup> ± clorita ± feldespato alcalino ± magnetita ± grafito. Estaurolita: para la zona de la estaurolita. Cianita: para la zona de la cianita. Silimanita: para la zona de la silimanita.
<b>Facie de corneana de piroxeno</b>	Es muy parecida a la facie de granulita; pero la andalucita es el aluminosilicato común; cordierita ± biotita, tiende ser más estable que el almandino excepto cuando la relación Fe <sup>+2</sup> /Mg es alta. Las rocas bajas en sílice pueden contener espinela, corindón y feldespato de potasio en vez de aluminosilicatos.
<b>Facie de sanidinita</b>	Sanidina, tridimita, cordierita, mullita (3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O), vidrio, clinopiroxeno, espinela, corindón (en rocas pobres en sílice).
<b>Facie de esquistos de glaucofana o facie de esquistos azules</b>	Glaucofana + lawsonita ± albita ± fengita ± paragonita ± granate ± clorita ± epidota ± cianita ± cloritoide ± titanita.
<b>Facie de eclogitas</b>	Granate rico en piropo + carfolita + fengita + cloritoide + clorita + cianita ± coesita.
<b>Facie de granulitas</b>	Feldespato de potasio ± plagioclasa ± escapolita ± granate ± rutilo ± ilmenita ± magnetita ± grafito ± olivino ± corindón ± espinela ± cianita (alta presión) ± silimanita (moderada presión); ortopiroxeno + zafirina.

Nota: Los diagnósticos estables van con el signo "+" adelante; las fases posiblemente estables llevan "±", todos los otros signos (comas) indican la posible ocurrencia de un mineral. 1 Los aluminosilicatos son andalucita, silimanita y cianita (distena).

Fuente: Traducida de Best (2003; p.440).



Para trabajar con este tipo de diagramas se asume lo siguiente:

- El  $\text{SiO}_2$  está en cantidades suficientes como para generar cuarzo libre.
- Se asume que hay agua en la composición de la muestra (es decir minerales hidratados).
- Los componentes  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  y  $\text{MgO}$  son responsables de la formación de la mayoría de los minerales en roca.
- Los componentes  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{TiO}_2$  están en cantidades lo suficientemente pequeñas como para apenas estabilizar otras fases minerales o remplazar alguno de los componentes en la roca.

Para dibujar la situación de una muestra en el gráfico primero se procede a calcular las proporciones molares de estos elementos; luego se realiza lo siguiente para cada vértice (Best; 2003).

- a)  $A = \text{Al}_2\text{O}_3 - 3 \text{K}_2\text{O}$ . Esta resta es una técnica aritmética de proyección desde la composición de la moscovita ideal hacia la cara AFM del tetraedro porque una moscovita tiene 3 veces la cantidad de moles de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  por cada mol de  $\text{K}_2\text{O}$ . El valor de A debe de ser el valor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o alúmina restante después de que se ha consumido toda la alúmina de la moscovita. Si es que la proyección se la realiza desde el feldespato de potasio para rocas de mayor grado de metamorfismo, el valor de A será de  $A = \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$ .
- b)  $F = \text{FeO}$ . Si existe ilmenita proceder a restar el  $\text{TiO}_2$ .
- c)  $M = \text{MgO}$

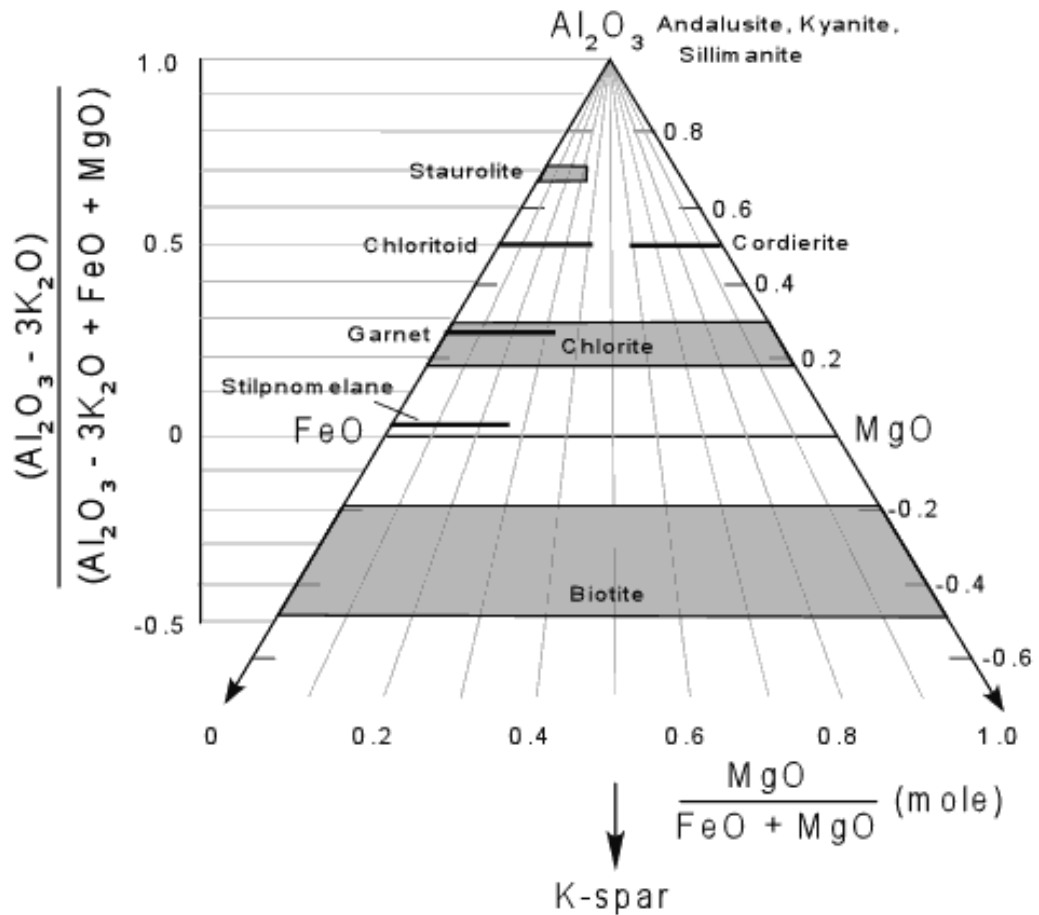


Ilustración 5. Diagrama AFM y cómo proyectar una muestra en el mismo.  
Fuente: Nelson (2011).

## 5.2. Magmatismo y Rocas Ígneas.

Una roca ígnea es aquella que se forma a partir del enfriamiento y solidificación de magma o lava, la diferencia primordial entre la lava y el magma es que la lava sale a la superficie de la Tierra, sea esta la atmósfera o la hidrósfera, mientras que el magma permanece enterrado. Es naturalmente esta diferencia la que da un comportamiento distinto a las rocas lávicas, volcánicas o efusivas (formadas por lavas) y a las rocas magmáticas, plutónicas o intrusivas. Una tercera clasificación, según su ubicación le es dada a las rocas que se encuentran muy cercanas a la superficie terrestre, que pueden confundirse con las plutónicas, a estas rocas se les llama rocas ígneas hipoabisales (Huang; 1962). Los volcanes obviamente, están conectados a una *cámara magmática* o cualquier otra fuente de magma de forma subterránea; pero los procesos en superficie son distintos a los de profundidad.

### 5.2.1. Clasificación de las rocas ígneas.

Las rocas ígneas, según Best (2003, p. 25-35), se clasifican según los siguientes criterios: según la fábrica, según las relaciones de campo, según su composición modal y mineralógica, y según la composición química total de la roca (*bulk chemical composition*).

A continuación se va a describir brevemente cada una de las clasificaciones de Best (2003) revisando la terminología con Tarbuck y Lutgens (2005) para verificar la traducción del español.

#### 5.2.1.1. Clasificación según la fábrica de la roca.

Esta clasificación hace referencia al tiempo en que la roca tardó en enfriarse. Las principales tipos de fábrica son cuatro, de los cuales los dos primeros (a y b) son de rocas plutónicas y los tres últimos (c, d y e) de volcánicas. A las descripciones de Best (sin cita) o Tarbuck y Lutgens, se han añadido palabras y frases aclaratorias que se muestran entre paréntesis.

- a) **Fanerítica:** Si los minerales son lo suficientemente grandes para ser vistos por el ojo humano, con excepción de los minerales accesorios diminutos de la roca.
- b) **Porfídica o Porfirítica:** Si se ven minerales grandes (visibles por el ojo humano) llamados *fenocristales* en una *matriz* de material fino. Las rocas pórfido-afaníticas son más comunes que las pórfido-faneríticas.
- c) **Afanítica:** Si los minerales son muy pequeños para ser vistos al ojo humano y es necesario análisis bajo microscopio o de otra índole para su identificación. Esta textura común en las rocas volcánicas; pero también se puede dar en rocas plutónicas que han sido emplazadas a poca profundidad y temperatura.
- d) **Vítrea:** Si la roca es expulsada a la atmósfera (o hidrósfera en caso de volcanes submarinos) la roca se enfría rápidamente y adquiere textura vítrea. El vidrio se produce cuando los iones desordenados se congelan antes de poder unirse en una estructura cristalina ordenada (Tarbuck y Lutgens; 2005).
- e) **Volcanoclástica:** Se produce por cualquier proceso de fragmentación que cree pequeñas piezas de rocas volcánicas y/o granos minerales.

### **5.2.1.2. Clasificación según relaciones de campo.**

Esta clasificación sigue dos criterios: el primero que es simplemente como se la ve a la roca en el campo, lo cual es el mejor criterio para clasificar una roca, y el segundo la fábrica o textura de la roca. Se muestra las clasificaciones como lo describe Best (2003).

- a) Rocas volcánicas: Son afaníticas, vítreas y hay varias porfíricas.
- b) Rocas plutónicas: Se forman donde el magma fue intuido en roca pre-existente bajo la superficie terrestre.
- c) Rocas hipoabisales: Son rocas intermedias entre las plutónicas y las volcánicas. Los diques, sills y otras formas de roca que representan conductos alimentadores para la extrusión del magma que no llegó a la superficie.

### **5.2.1.3. Clasificación según la composición mineralógica y modal de la roca.**

Best (ibíd.) usa la palabra "nematécnica" para referirse a los adjetivos: félsico (feldespatos y sílice), máfico o ferro-magnesiano, ultramáfico (mucho Mg y Fe, con escasez o falta de feldespatos) y silícico (con gran cantidad de sílice, que se ve reflejada con la presencia de feldespatos, cuarzo o vidrio silíceo) para referirse a las rocas. Sin embargo, Tarbuck (2005) aclara mejor la especificación de estos tipos de roca, en función del porcentaje de minerales oscuros o máficos y las llama

FÉLSICA (0-25%), INTERMEDIA (25-45%), MÁFICA (45-85%) , ULTRAMÁFICA (85-100%)

Esta es una clasificación a groso modo. La Unión Internacional de Geociencias (IUGS por sus siglas en inglés) ha adoptado la clasificación de Le Maitre, 2002 y existe cierta similitud con el diagrama de Streckeisen que se lo muestra en la ilustración 6.

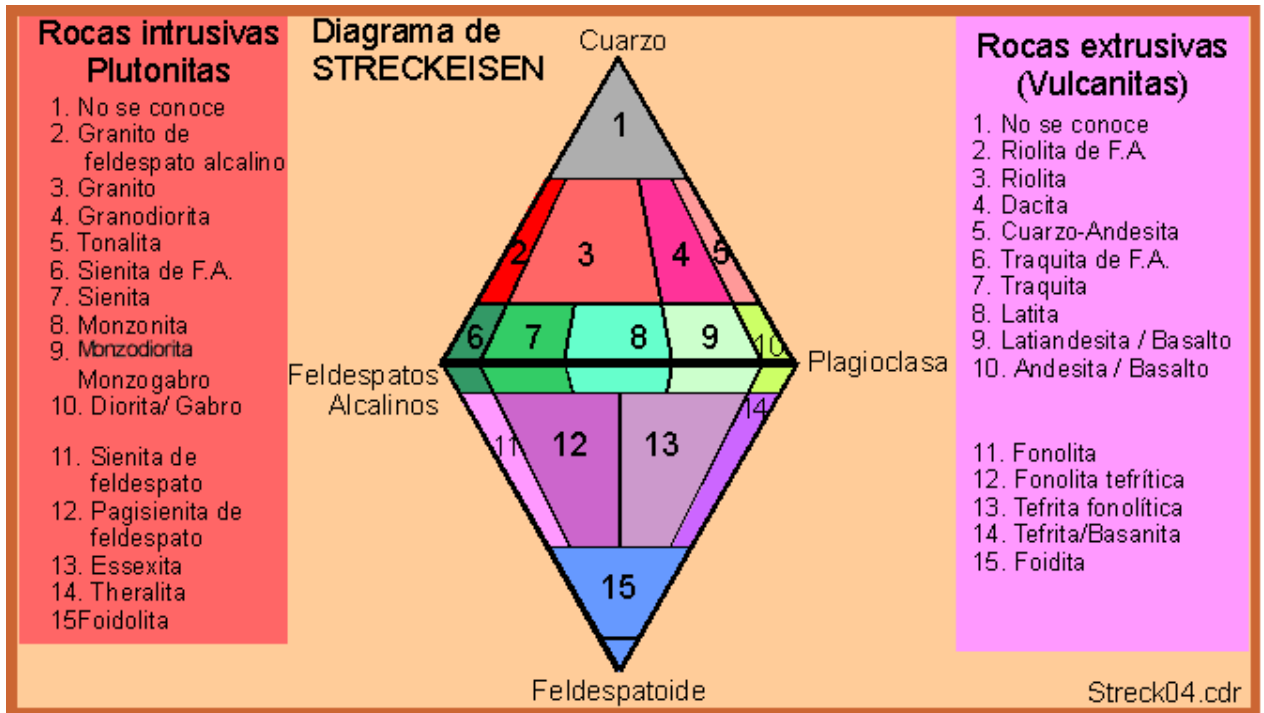


Ilustración 6. Diagrama de Streckeisen, que es muy similar al usado por Le Maitre y el de otros geólogos, se lo ha preferido aquí por su simplicidad y además por ser una muy buena versión del castellano.

Fuente: <http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap04a.htm> el 16 de Julio de 2015.

Los nombres de esas rocas son los mismos que Le Maitre y la IUGS proponen en 2002. Con la única diferencia que las rocas volcánicas, cuando tienen la presencia de feldespatoideos se subdividen y que Le Maitre no divide a las divisiones 4 y 5 de la Ilustración 6 para rocas volcánicas, es decir solo las llama dacitas en vez de dacitas y cuarzo-andesitas. De igual manera se realizan subdivisiones para las rocas plutónicas de la división 10 en gabro y cuarzo-gabro o diorita y cuarzo-diorita (Le Maitre y IUGS; 2003).

Para las rocas plutónicas Streckeisen indica algunos campos adicionales para una clasificación más específica como lo muestra en la Ilustración 7, en la misma tómesese en cuenta que A es feldespato alcalino, es decir de potasio y sodio, Q es cuarzo, P es plagioclasa y F feledespatoideos.

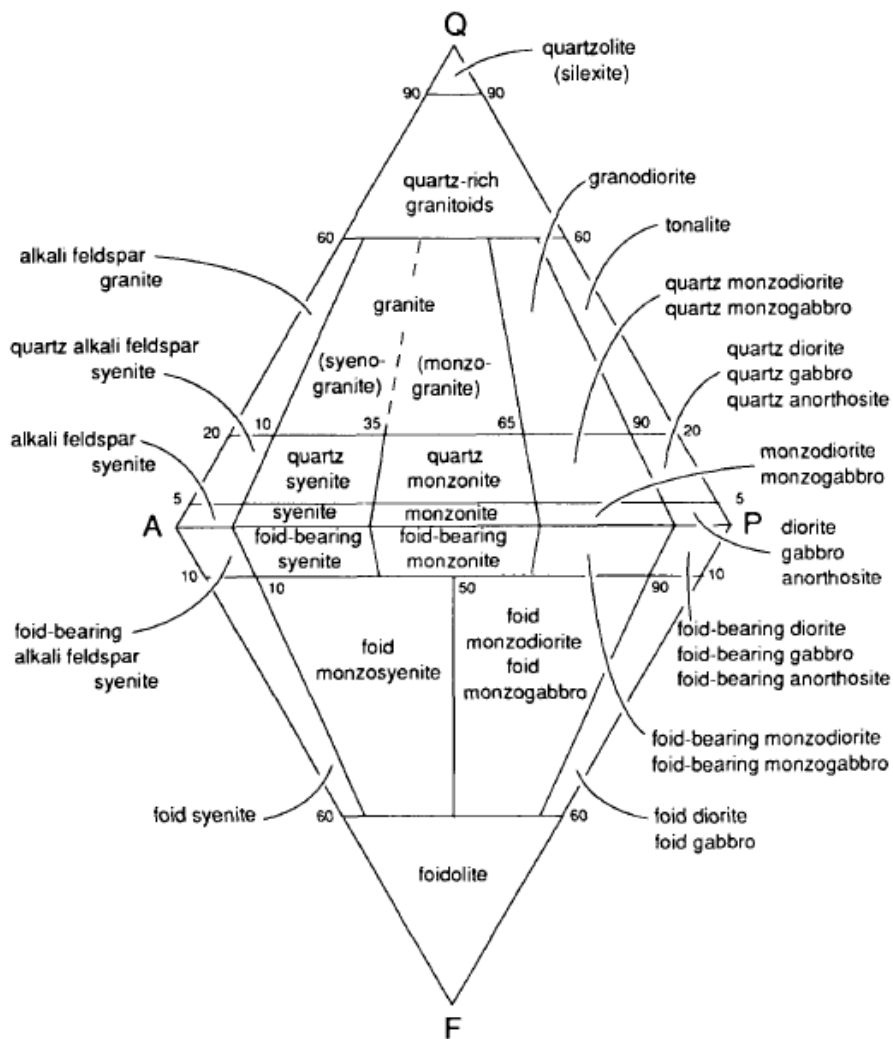


Ilustración 7. Diagrama de Streckeisen detallado para rocas plutónicas.  
Fuente: Le Bas & Streckeisen (1991; p.828).

#### 5.2.1.4. Clasificación según la composición química total de la roca (*whole chemical composition*).

Esta clasificación tiene la ventaja de darnos a conocer la naturaleza, origen y evolución de los magmas (Best; 2003; pag. 31). Los diagramas de clasificación son muy diversos; pero la principal regla a considerar es que existen tres tipos de elementos en la Tierra: *Elementos mayoritarios*, *minoritarios* y *traza*. Los elementos mayoritarios que ocurren comúnmente en las rocas con más del 0,1% de porcentaje en peso. Esto no quiere decir que todas las rocas tengan estos elementos ya que puede que alguna carezca de ellos, como un pórfido de cuarzo; sin embargo la ocurrencia de estos elementos en la corteza terrestre es elevada y por

esa razón se los considera siempre como mayoritarios y se los representa en porcentaje del peso de una roca. Los *elementos traza* se encuentran en proporciones menores que los mayoritarios, son definidos por McSween, et al. (2003, p. 870) como aquellos elementos que cuya ocurrencia en las rocas es de unas pocas decenas de porcentaje o menos. Desde los años 80 geólogos de todo el mundo han descubierto que estos elementos son muy útiles para correlacionar las rocas ígneas, y también protolitos metamórficos con su entorno geotectónico.

Los diagramas que existen para la clasificación de rocas ígneas son muy bien conocidos hoy en día y se puede usar softwares como IGPET, desarrollado por la empresa americana RockWare, PETROGRAPH desarrollado por Maurizio Petrelli, Angelo Pecerrillo, Giampiero Poli y Diego Perugini del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Perugia – Italia, para representar los resultados de análisis químicos de las muestras de roca para su clasificación. En caso de no tener los programas de computación, también se lo puede realizar manualmente interpolando los datos si así lo requiere el diagrama.

## **5.2.2. Diagramas de clasificación y caracterización de las rocas ígneas.**

### **5.2.2.1. *Diagramas de total de álcalis versus sílice o TAS (Total Alkalis vs. Silica por sus siglas en inglés).***

Los diagramas de elementos mayores son muy útiles y son usados en muchos artículos de geología de las dos últimas décadas. Los elementos mayores nos sirven para clasificar las rocas ígneas inalteradas o lo menos alteradas posibles y nos dan como resultado el nombre directo de la roca (Best; 2003; pag. 30), al igual que en el diagrama de Streckeisen pero solo que esta vez basándonos en los datos de composición química en vez que de los minerales, a continuación en la Ilustración 8 se muestra el diagrama para rocas volcánicas desarrollado por Le Bas en 1983 (citado en Le Maitre 2002). Se aclara que en el presente trabajo se usan los términos ácido, intermedio y básico según el porcentaje de sílice como lo indica el siguiente diagrama:

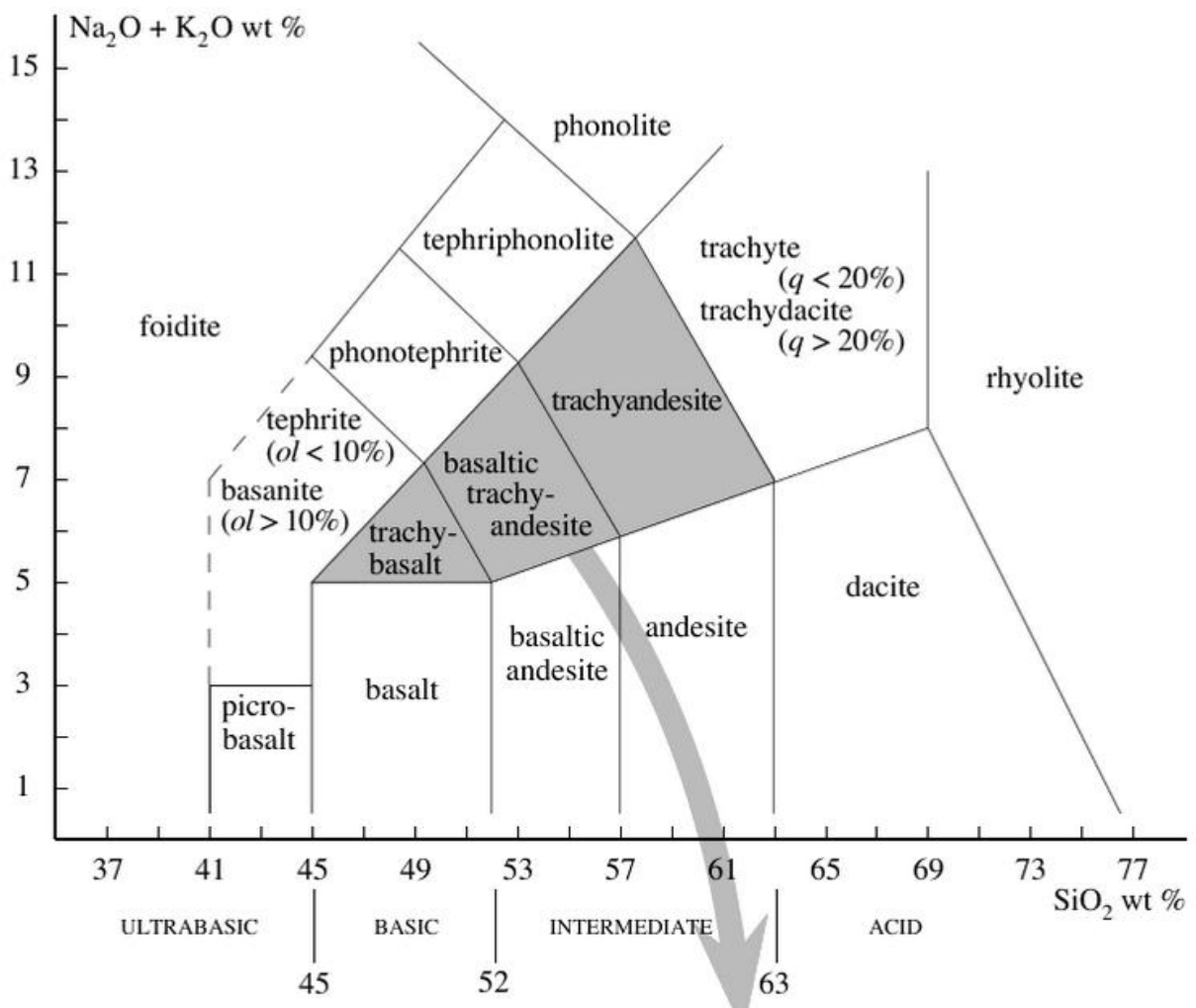


Ilustración 8. Diagrama de Le Bas (1986) para las rocas volcánicas.  
Fuente: Le Maitre et al. (2002).

Para las rocas plutónicas existe un diagrama similar pero no idéntico, que lo desarrolló K.G. Cox en 1979 (ver ilustración 9) y es ampliamente usado hoy en día para la clasificación de rocas plutónicas a pesar de que no es mencionado por Le Maitre y la IUGS (2002), quienes recomiendan usar el diagrama de Streckeisen para la clasificación de este tipo de rocas, es decir la clasificación modal o mineralógica, y no proponen ninguna clasificación química. Sin embargo la metodología de Cox es usada por Petrelli et al. (2005) para realizar diagramas de clasificación en computadora, además también ha sido usado por Hincapié et al. (2011), Kyaw et al. (2011), entre otros geólogos que lo ha usado en estos últimos años.

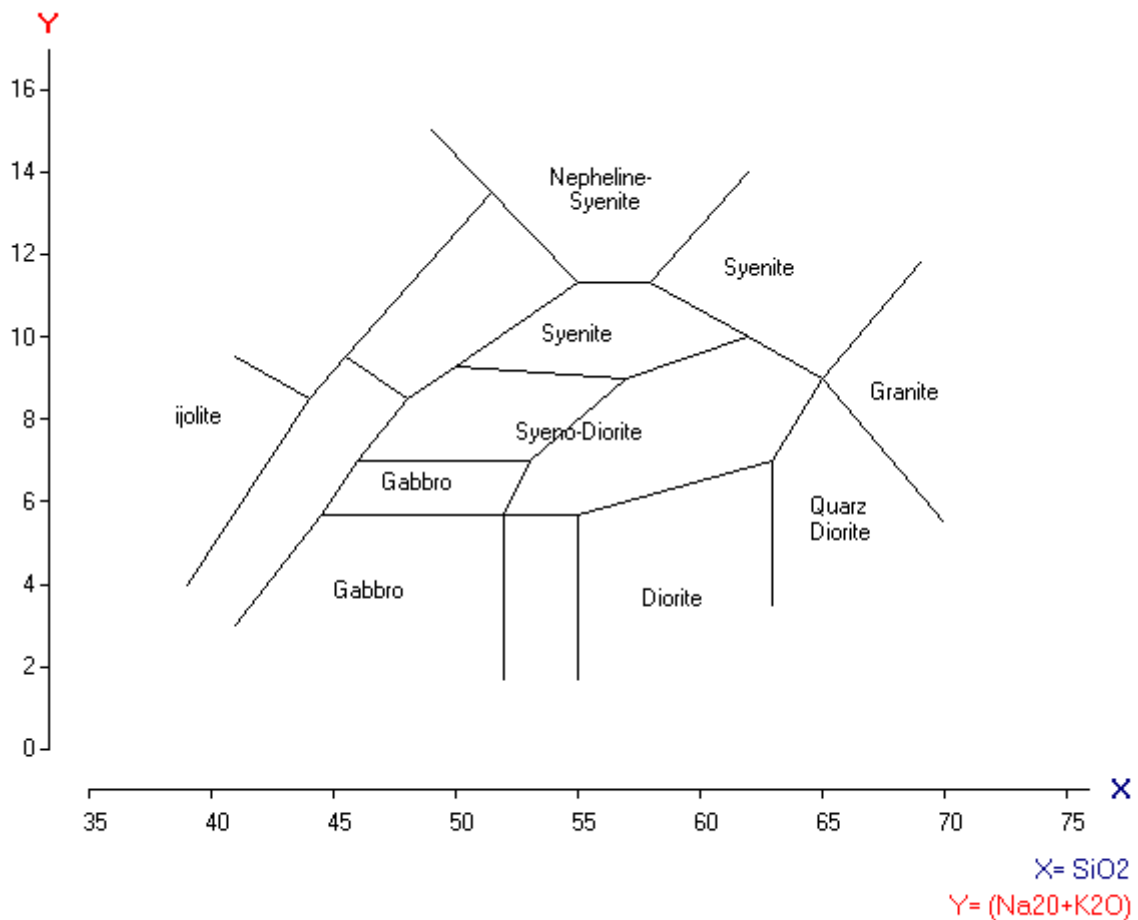


Ilustración 9. Diagrama de TAS de Cox (1979). En el campo Quartz Diorite se grafican las granodioritas.

Fuente: PetroGraph versión 2 beta. (Petrelli et al.; 2007).

Los diagramas que se han mencionado anteriormente son llamados TAS (*total alkalis vs. Silica*) y, como se lo mencionó anteriormente, estos se usan para obtener directamente el nombre de la roca sin la necesidad de realizar un análisis mineralógico; sin embargo, este método tiene su punto débil cuando el sodio o el potasio han sido lixiviados por el agua durante los distintos procesos de meteorización. En tal caso se puede acudir a un método auxiliar.

#### 5.2.2.2. Diagramas de J.A. Winchester y P.A. Floyd (Winchester y Floyd; 1977).

Estos dos autores nos comentan que de la misma manera como se realizan clasificaciones con los elementos mayoritarios de las rocas se puede realizar con los elementos traza: Ti, Zr, Y, Nb, Ce, Ga, Sc. Estos métodos no permiten conocer los orígenes de la roca ni las razones por las cuales existe la variación de los elementos traza; pero permiten reconocer el tipo de

roca original cuando el metamorfismo o la meteorización impiden mostrarlo ya que los siete elementos indicados permanecen inalterados durante el metamorfismo y se les llama elementos inmóviles.

*“La concentración de estos elementos y las razones entre dichas concentraciones varían entre las diferentes series magmáticas y como resultado, diferentes tipos de rocas y magmas pueden ser discriminados por las concentraciones o las razones entre dichas concentraciones.” (Winchester y Floyd; 1977).*

La investigación que estos dos autores realizaron tuvo como resultado varios diagramas que permiten obtener la composición del magma al momento de cristalizar, y lo hicieron con rocas de varios ambientes tectónicos y de distintas localidades de la Tierra. A continuación en las ilustraciones 10, 11 y 12 se muestran principales diagramas desarrollados por Winchester y Floyd. Tómese en cuenta que los nombres originales de las rocas en los diagramas se encuentran en inglés; pero se han traducido al español.

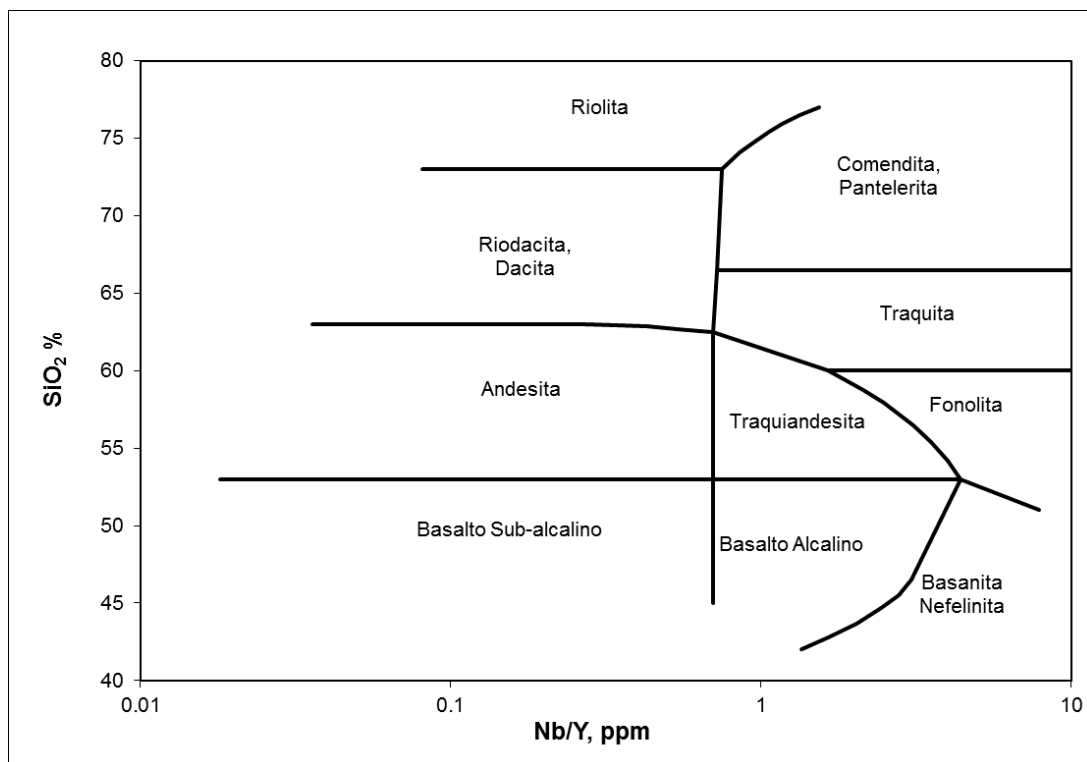


Ilustración 10. Diagrama de Nb/Y en función del porcentaje de sílice. Winchester y Floyd; 1977. Fuente: [http://minerva.union.edu/hollochkc\\_petrology/discrim/discrim.htm](http://minerva.union.edu/hollochkc_petrology/discrim/discrim.htm)

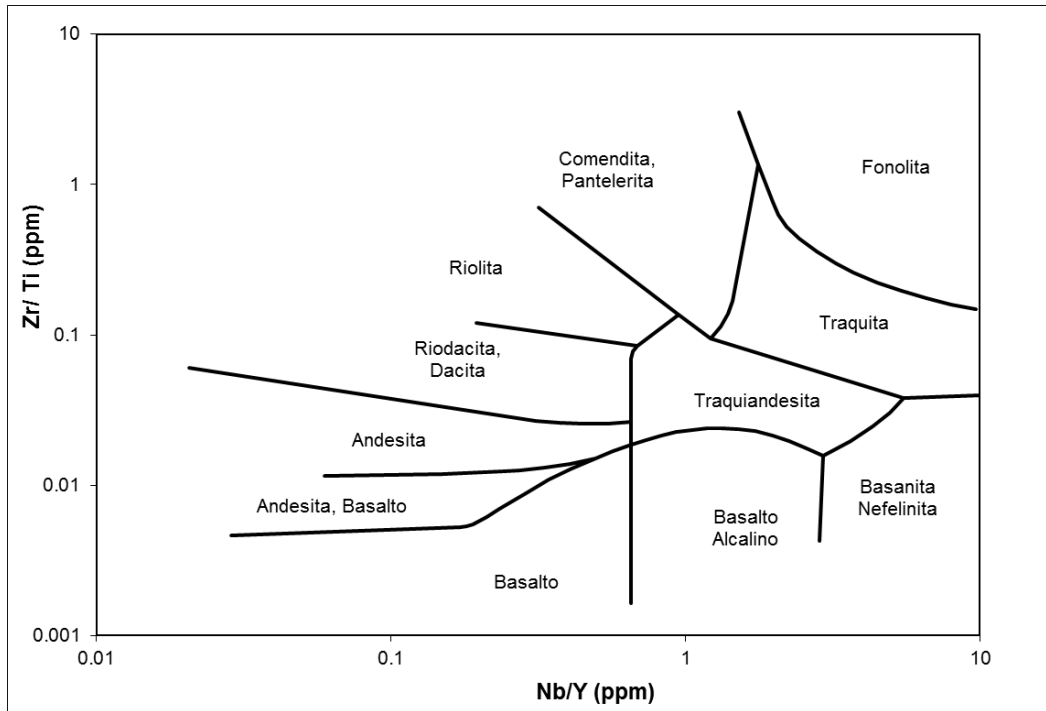


Ilustración 11. Diagrama de Nb/Y en función de Zr/Ti. Winchester y Floyd; 1977.  
 Fuente: [http://minerva.union.edu/hollochkc\\_petrology/discrim/discrim.htm](http://minerva.union.edu/hollochkc_petrology/discrim/discrim.htm)

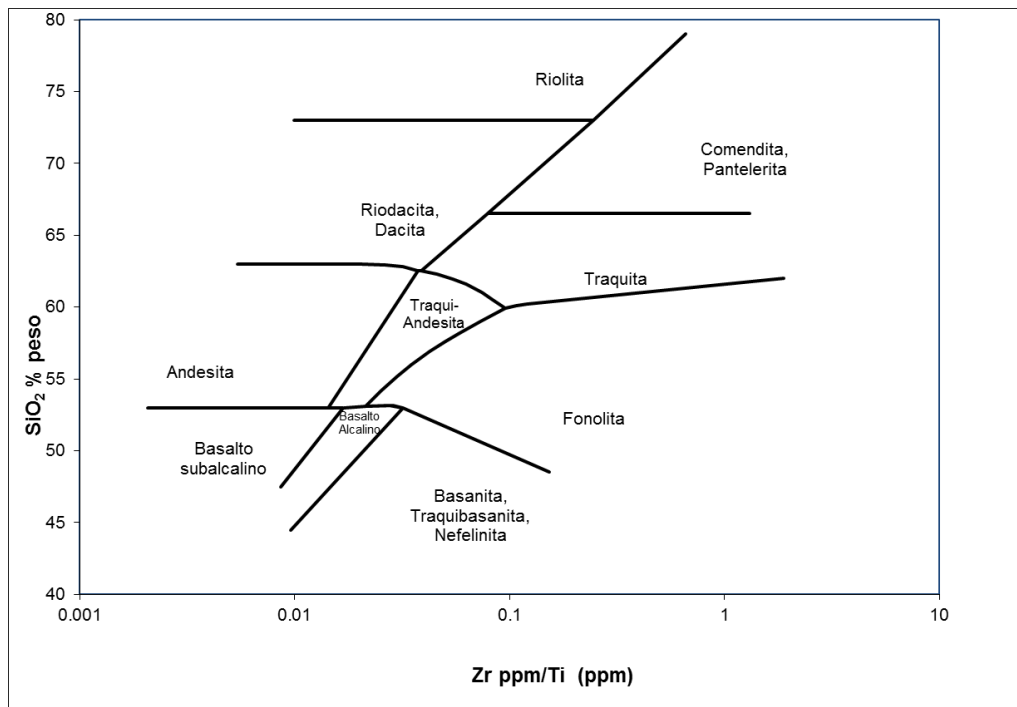


Ilustración 12. Diagrama de Zr/Ti en función del porcentaje de sílice. Winchester y Floyd; 1977.  
 Fuente: [http://minerva.union.edu/hollochkc\\_petrology/discrim/discrim.htm](http://minerva.union.edu/hollochkc_petrology/discrim/discrim.htm)

### 5.2.2.3. Diagramas de Pearce, Harris y Tindle . (1984).

Estos diagramas tienen como objetivo encontrar el ambiente tectónico de formación de rocas graníticas mediante el uso de elementos traza incompatibles. Las divisiones y subdivisiones que realizan estos investigadores son las que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Campos de los diagramas de Pearce et al. 1984.

CAMPO	Subclasificaciones posibles	Clasificación Streckeisen e información adicional
ORG (Ocean Ridge Granite o Granito de Dorsal Oceánica)	Dorsal normal, asociados a N- MORB	Cuarzodioritas-Tonalitas metalumínicas y peralumínicas. Clinopiroxenos y anfíboles son los principales minerales máficos.
	Dorsales anómalas, asociadas a T-MORB o E-MORB	
	Rifts de Trasarco	
	Rifts de Supra-subducción	
VAG (Volcanic Arc Granite o Granito de Arco Volcánico)	Arcos Oceánicos	Cuarzodioritas-Cuarzomonzonitas-Tonalitas. Hornblenda como principal mineral máfico. Composición cálcica. Los piroxenos podrían remplazar a los anfíboles. Generalmente plutones con zonación.
	Arco de margen continental	Cuarzomonzonita-Granodiorita-Granito. Biotita ± Hornblendacomo principales minerales máficos. Pueden tener piroxenos.Generalmente batolitos compuestos y alineados.
WPG (Within Plate Granite o Granito Intraplaca)	Islas Oceánicas	Fonolitas- Cuarzosienitas- Cuarsosienitas- Granitos. Anfíboles sódicos ± piroxenos sódicos y biotita ± anfíboles sódicos
	Intraplaca continental	Granitos metalumínicos o peralcalinos. Plagiogranitos . Piroxenos y olivinos.
COLG (Colition Granite o Granitos de Colisión)	Colisión sin-tectónica	Granitos peralumínicos y moscovíticos. Asociados a los granitos tipo S. Composición muy variable.
	Colisión post-tectónica	

Fuente: Traducida de Pearce et al. 1984 y Pearce 1996.

Pearce et al. comentan que las dos principales razones por las cuales los granitos se usan menos que los basaltos para indicar ambientes tectónicos es que ellos no afloran siempre en la superficie y que la historia petrogenética de los mismos puede hacer que la composición química sea difícil de interpretar, como por ejemplo: la acumulación de cristales, su introducción en la corteza continental, la redistribución y pérdida de elementos por el flujo de volátiles y recristalización de los minerales accesorios (*minor facies*) y minoritarios. Dichos

procesos son de poca relevancia en la génesis de los basaltos y pueden borrar la importancia de la geoquímica en los granitos, contrastando en cambio el hecho de que al estar enterrados los granitos sufren menos alteración que los basaltos que se ven expuestos a la superficie. Pearce además recomienda que no se use estos diagramas si las rocas son sanas, no porfíricas, que su tamaño de grano sea de medio a grueso, que no sean aplitas y que no concentren específicos elementos, además de que preferiblemente que se tomen las muestras lejos de los contactos. La razón por la este autor no recomienda tomar las muestras de los pórfidos es de que cuando el magma se encuentra en una cámara magmática los elementos incompatibles no se escapan; pero en cambio estos pueden escaparse y acumularse en los diques o en las fases fluidas del magma.

A continuación se muestran los diagramas de Pearce et al (1984) que fueron desarrollados con cerca de 600 muestras de roca granítica de diferentes ambientes tectónicos para al fin llegar a delimitar los campos de VAG – ORG – WPG- SynCOLG:

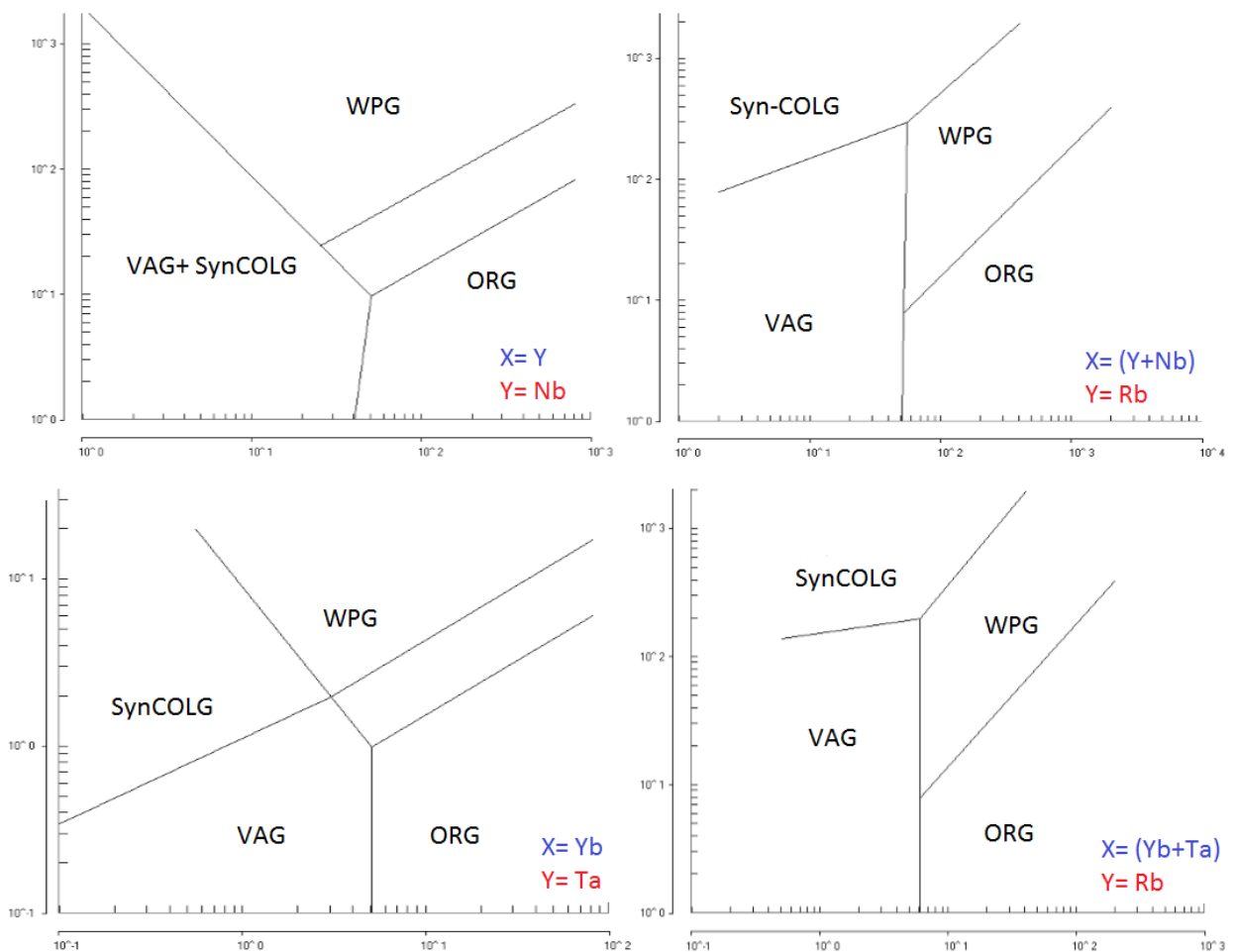


Ilustración 13. Diagramas de discriminación del ambiente tectónico de rocas graníticas. Pearce et al. 1984, Fuente: Software PetroGraph versión 2 beta (Petrelli et al.; 2007).

#### **5.2.2.4. Las series Alcalina y Sub-alcalina (Toleítica y Calco-alcalina).**

Se les llama serie de rocas magmáticas o asociación (*rock suite*) a un conjunto de rocas asociadas entre sí por su composición química (Best; 2003), y por consecuente también su composición modal. Para las rocas ígneas se reconocen dos principales grupos de series: la serie alcalina y la sub-alcalina.

La serie alcalina se conforma de todas aquellas rocas que tienen grandes cantidades de álcalis y deficiencia de sílice, a tal punto que no haya sobresaturación de sílice libre, es decir que no puede haber cuarzo ni otro polimorfo del sistema  $\text{SiO}_2$ . En vez de cuarzo estas rocas tienen feldespatoides, anfíboles ricos en álcalis, piroxenos ricos en Na-Al-Ti, miembros de la solución sólida flogopita-biotita y olivinos. Carecen, como se mencionó anteriormente de cuarzo y ortopiroxeno; con la excepción de ciertas lamproítas. Desafortunadamente, y posiblemente debido a la escasez de estas rocas no hay forma de llegar a una razón o proporción para clasificar a la serie alcalina (Best; 2003). Estas rocas son comunes en el campo de Granitos Intraplaca de Pearce (1996).

La serie sub-alcalina consiste en rocas que tienen saturación o sobresaturación de sílice y que, por lo tanto, pueden generar cuarzo libre o cualquiera de los polimorfos del sistema  $\text{SiO}_2$ . Las fases minerales estables en estas rocas son feldespatos, hornblenda, clinopiroxeno del tipo augita, ortopiroxeno, biotita y cuarzo cuando hay exceso de sílice y cuando no, olivino. Las rocas de la serie alcalina se han llegado a subdividir en la serie toleítica y la serie calco-alcalina. En la serie toleítica encontramos rocas como basaltos, andesitas y dacitas enriquecidas en Fe que se desarrollan principalmente en los arcos volcánicos por subducción de dos placas oceánicas. En cambio las rocas de la serie calco-alcalina comprenden basaltos, andesitas, dacitas y riolitas que se forman en la subducción de la litósfera bajo la corteza continental. En la serie calco-alcalina también podemos subdividirla entre enriquecidas, medianamente enriquecidas y pobres en K (*high, médium and low K*). La serie pobre en K o baja en K corresponde a sitios en donde la corteza es oceánica o relativamente máfica, o cuando la corteza continental es muy delgada. En las series de alto a medio contenido de K que se forman en corteza continental, el contenido de K aumenta con el espesor de la corteza continental (Best; 2003).

El software PetroGraph 2-Beta utiliza los diagramas de Kuno 1968, Irvine- Baragar 1971 para clasificar las rocas ígneas entre las series Toleíticas y Calco-alcalinas y el diagrama de

Peccerillo-Taylor para indicar el contenido relativo de K en las calco-alcalinas. Estos diagramas son los que se usaron para la discriminación de las series de rocas magmáticas en este documento. Vale aclarar que estos tipos de magmas son más utilizados para las rocas volcánicas debido a que el proceso de cristalización fraccionada influye en el magma a profundidad y lo refleja en las lavas; pero si no existen lavas asociadas a los plutones; entonces se podría utilizar las muestras de los plutones en sí.

**CAPÍTULO VI**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS Y MANEJO DE DATOS DE LABORATORIO.**

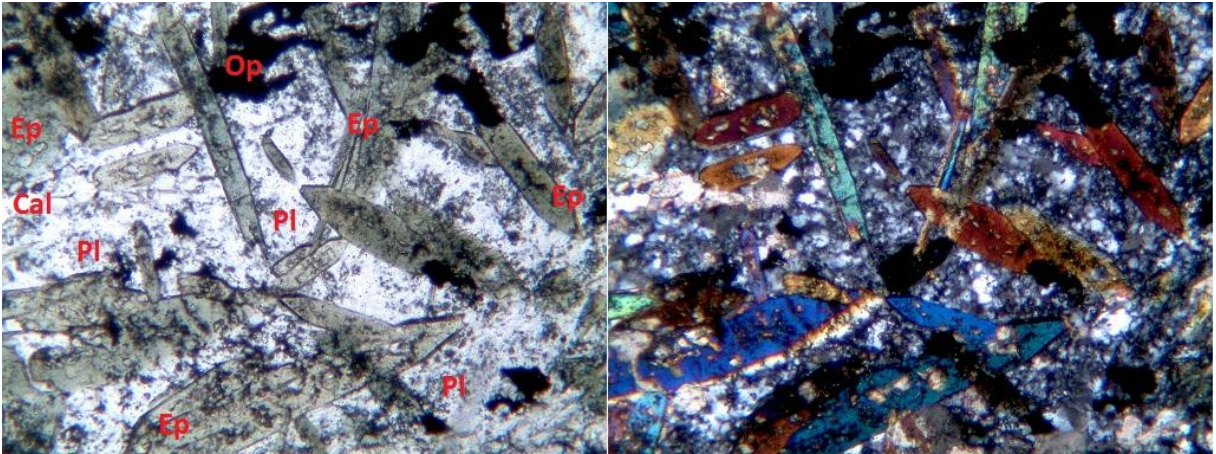
## **6.1. Interpretación mineralógica y petrográfica de las muestras.**

### **6.1.1. Muestras de las Rocas Metamórficas.**

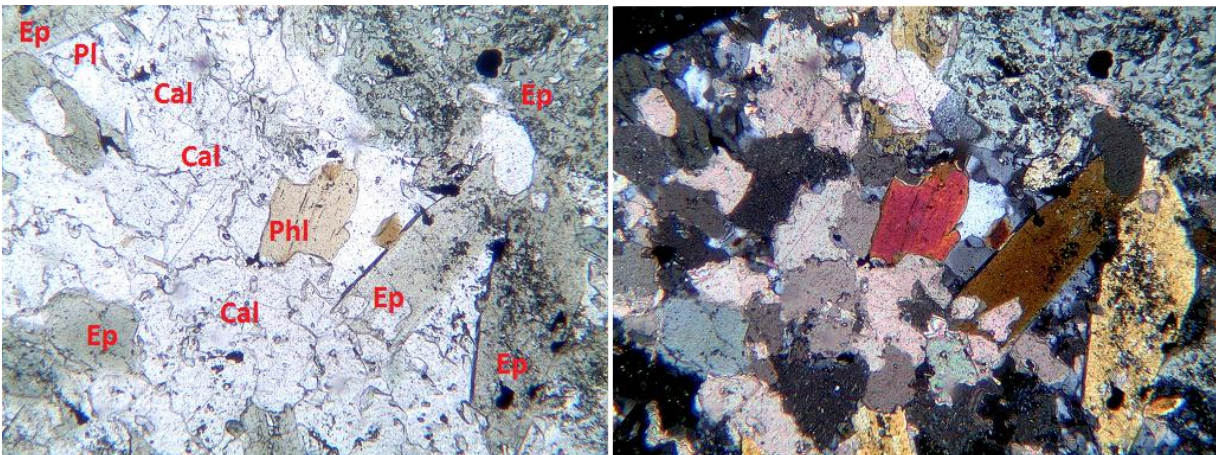
Entre las rocas metamórficas se encontraron varias litologías, las más importantes son los esquistos de cuarzo, cuarcitas, esquistos grafiticos y las anfibolitas. Como fueron analizadas más de 75 muestras por distintos métodos, en su mayoría por mineralogía de muestra triturada bajo lupa binocular, dichos resultados se muestran en el Anexo III A, el cual también incluye las propiedades ópticas usadas para la identificación de minerales en lámina delgada. A continuación se van a indicar las muestras de láminas delgadas según las distintas litologías más representativas del área de estudio. En las fotografías los minerales se indican con abreviaturas, las cuales están de acuerdo a la IUGS (ver anexo III D).

#### **6.1.1.1. *Metabasitas.***

Tienen apariencia cornuda sin foliación, generalmente textura decusada gracias a que las epidotas y anfíboles no tienen una dirección principal de alineación y forman cristales alargados en una matriz de plagioclasa, carbonatos y cuarzo (ver Fotografía 1). El principal mineral es la epidota; pero en los sitios donde el metamorfismo disminuye existe actinolita y otros anfíboles entre ellos posiblemente cummingtonita. La lámina delgada que se realizó a la muestra M-37 (ver fotografías 1 y 2) mostró tener la siguiente asociación: Epidota- Plagioclasa- Calcita- Ilmenita- Magnetita- Flogopita. Es difícil la formación de cuarzo ya que el  $\text{SiO}_2$  de la roca es 44,6% de Este último está presente en grano muy fino al igual que la plagioclasa, ambos forman la matriz fina de la roca y aunque los carbonatos también se incluyen en dicha matriz son fácilmente diferenciables. Otro mineral cuya existencia queda inferida es el apatito ya que la roca posee 1,415% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y hay saturación de  $\text{CaO}$ , demostrado por la existencia de la calcita. La falta de feldespato potásico en la muestra se justifica porque el  $\text{K}_2\text{O}$  llega a un 0,261% y más bien este puede estar formando parte de la flogopita. El cuarzo es muy escaso, talvez no llegue a formar ni el 1% de la composición modal de la roca ya que el  $\text{SiO}_2$  existe en un 44,6%, lo cual ha dificultado la saturación de la sílice libre y más bien este óxido está formando primordialmente parte de la epidota y de la plagioclasa. Los minerales opacos son principalmente la ilmenita, magnetita y sulfuros que conforman el 13% del volumen de la roca. En la muestra solo fue vista la pirita; pero debido a la existencia de  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  en un 0,793% es posible que existan sulfuros y antimoniueros en la roca (porcentajes de componentes en el Anexo IV C).



Fotografía 1. Textura decusada de la muestra M- 37 en la lámina delgada. LPNA (izquierda) y LPA (derecha), 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 2. Lámina delgada de la muestra M-37 con detalle de los minerales de la roca en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.

Además de la lámina delgada de la muestra M- 37 también se encontraron anfibolitas con asociaciones minerales de Hornblenda-Plagioclasa-Epidota-Actinolita-Magnetita-Ilmenita y de Hornblenda-Plagioclasa ± Cuarzo± Calcita± Actinolita± Magnetita± Ilmenita. A veces resulta difícil discriminar la epidota y la hornblenda ya que ambas se ven como cristales prismáticos negros. También existen anfibolitas que muestran una transición entre sedimentos pelíticos y organogénicos depositados sobre un lecho marino basálticos. Las asociaciones minerales en este caso vienen dadas por: Hornblenda-Cuarzo- Plagioclasa- Biotita-Grafito, como en las rocas encontradas en el Punto 146.

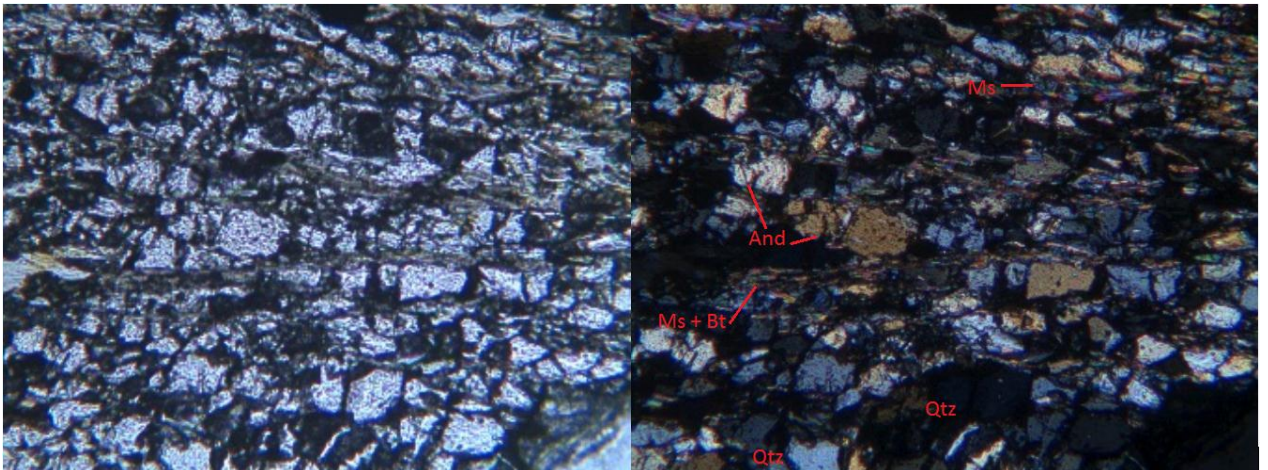
### 6.1.1.2. *Esquistos verdes.*

No se realizaron láminas delgadas de estas rocas, tan solo se observaron minerales en muestra triturada. Sin embargo, la composición química de estas rocas es muy similar a la de las anfibolitas. La textura puede ser decusada o esquistosa con las principales asociaciones minerales de Actinolita- Epidota- Hornblenda- Calcita y otras de Clorita-Biotita-Cuarzo y calcita. En la mayoría de muestras puede confundirse la clorita con la actinolita.

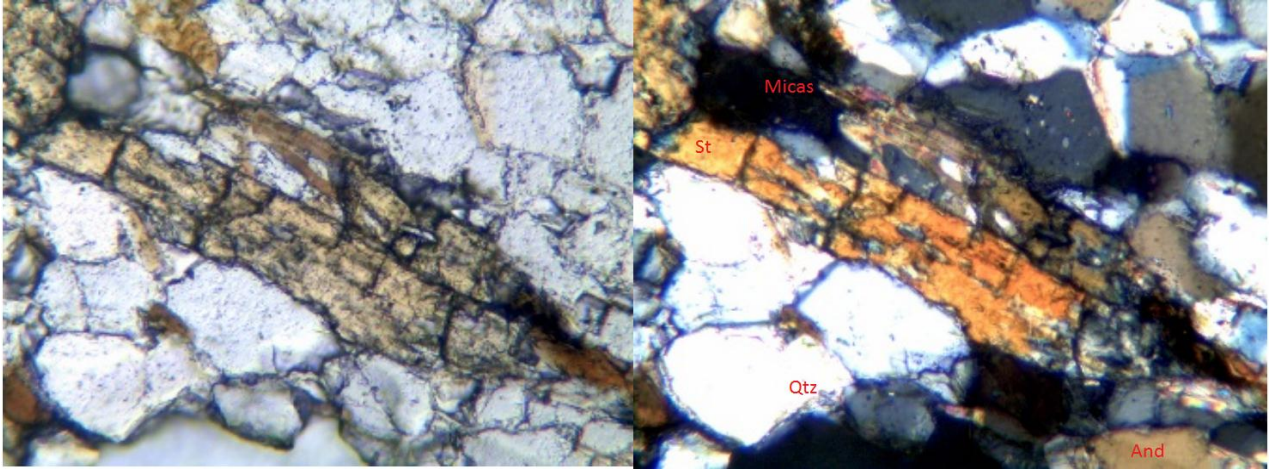
### 6.1.1.3. *Esquistos de cuarzo.*

En general estos esquistos se conforman de cuarzo-biotita-moscovita, con cantidades variables de andalucita. Son el producto del metamorfismo regional de rocas samíticas y pelíticas. Su principal característica es que el cuarzo se presenta de forma granular. Se tienen varias láminas delgadas de esquistos de cuarzo que se describen a continuación.

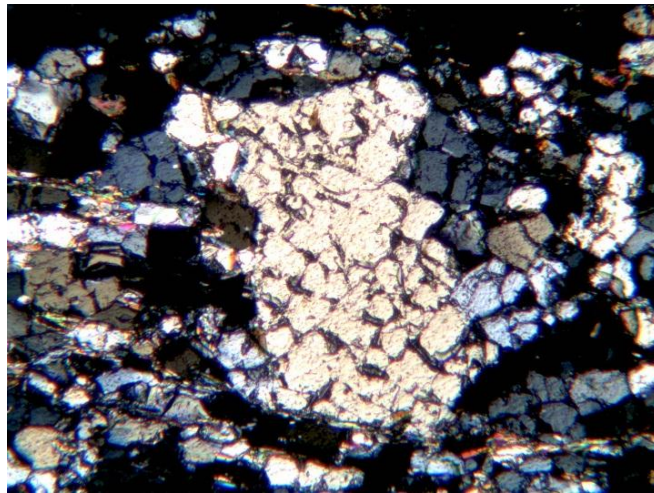
La muestra M-22 tiene textura granoblástica y crucero pizarroso (ver fotografía 3). La roca es un esquisto de Cuarzo- Andalucita- Moscovita- Biotita- Estaurolita- Clorita. Entre los minerales opacos de la roca existe pirita y hematites tabular que conforman el 2% del volumen de la roca. La estaurolita no se encuentra maclada en la roca y la andalucita se presenta como granoblastos y como granos pequeños y es difícil diferenciarla del cuarzo cuando el tamaño de los granos es muy pequeño (ver fotografías 4 y 5).



Fotografía 3. Textura de la muestra M- 22 A, 5 aumentos en lámina delgada. A la izquierda LPNA y a la derecha LPA.  
Fuente: El autor.

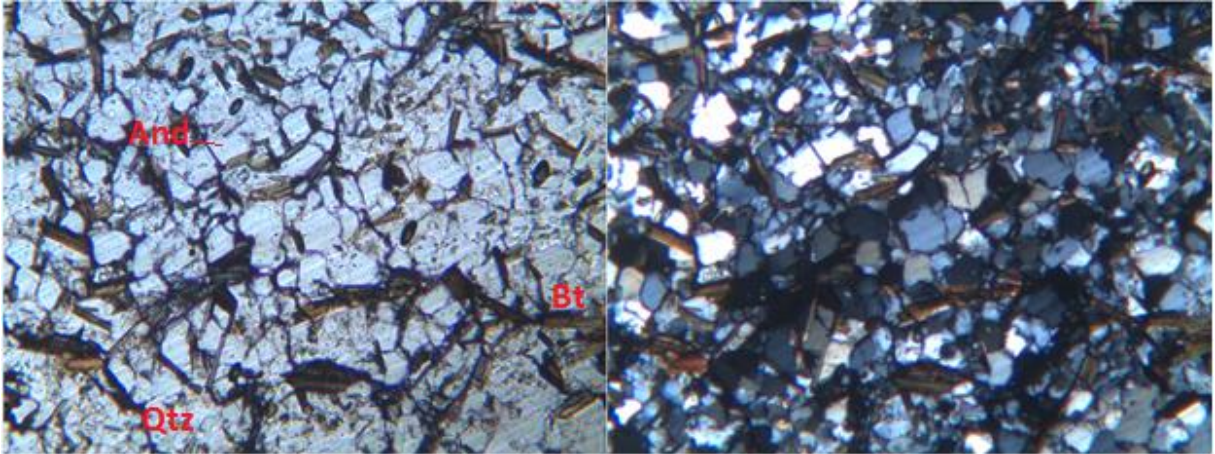


Fotografía 4. Estaurolita en la lámina delgada de la muestra M- 22, 10 aumentos. A la izquierda LPNA y a la derecha LPA.  
Fuente: E autor.

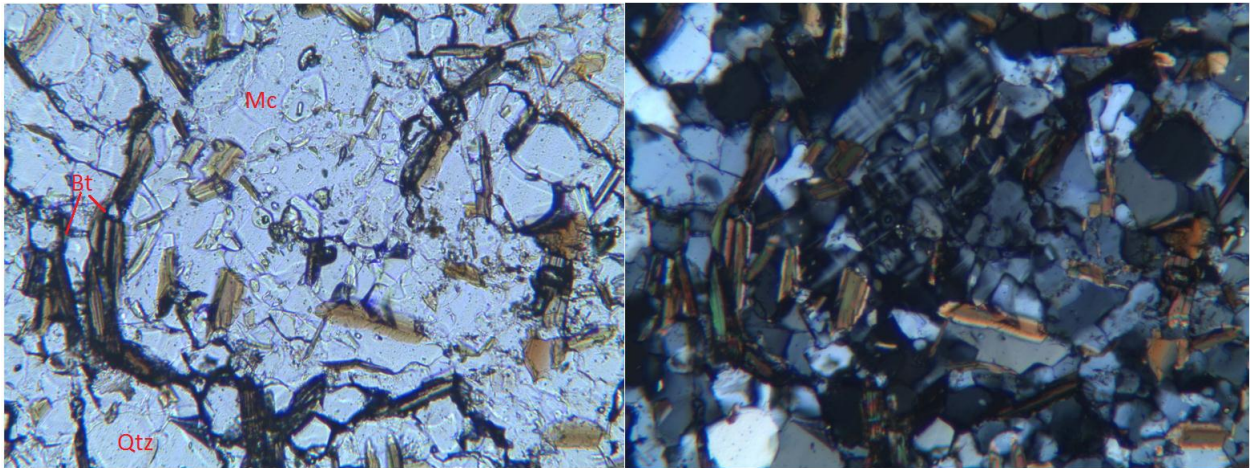


Fotografía 5. Andalucita en la lámina delgada de la muestra M- 22 A, LPA, 5 aumentos,  
Fuente: El autor.

Entre los esquistos de cuarzo también se analizó en lámina delgada la muestra M-45, la cual indica una pequeña transición entre esquistos y gneis marcado por la presencia de microclina y la menor cantidad de moscovita. La asociación mineralógica es sencilla: Cuarzo- Biotita- Microclina- Andalucita- Moscovita. La roca tiene foliación esquistosa y textura granoblástica con micas dispuestas al azar en vez de tener una dirección de alineamiento preferencial (Ver fotografías 6 y 7). Podría haber más minerales debido a que la recuperación de la lámina delgada fue muy baja.

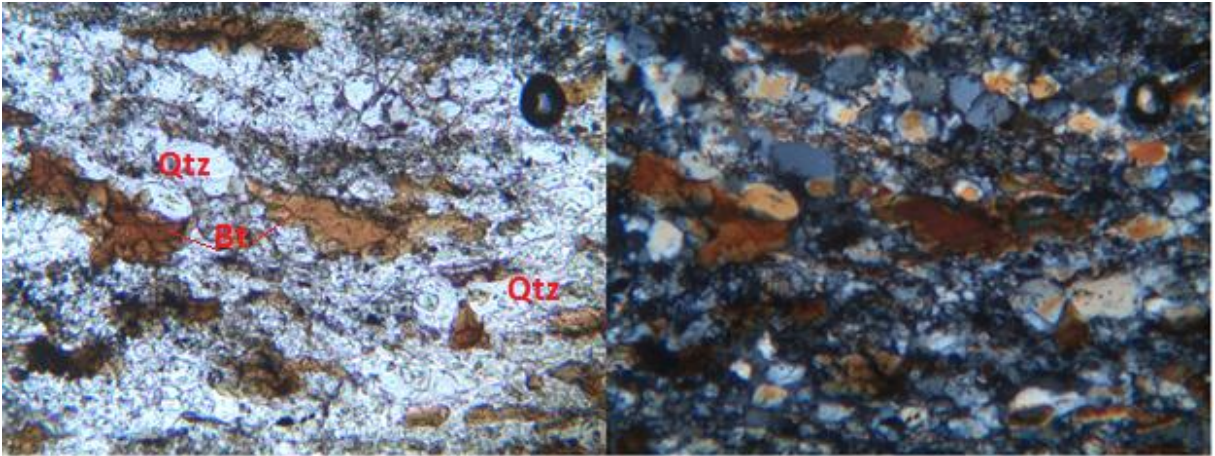


Fotografía 6. Textura en lámina delgada de la muestra M-45 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



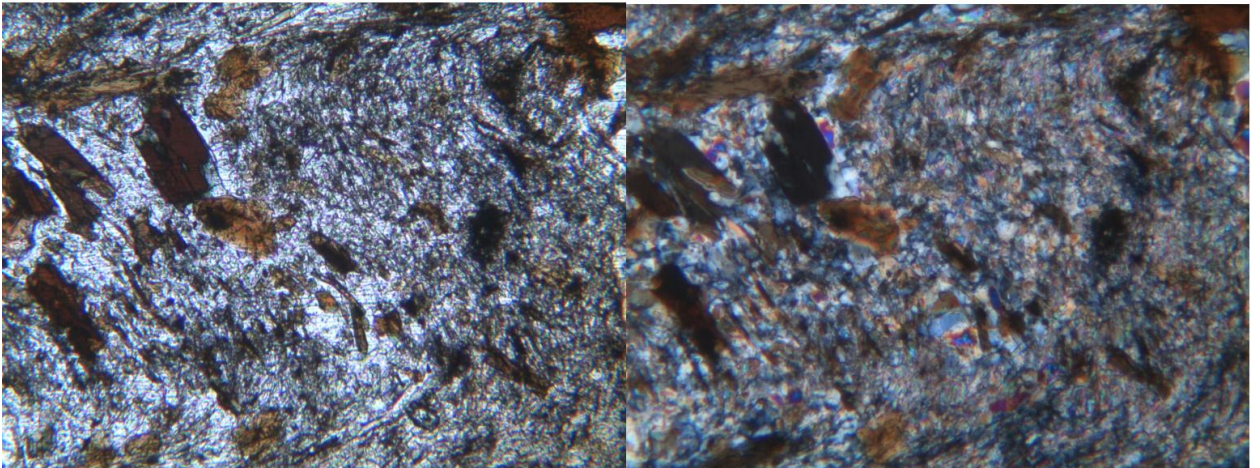
Fotografía 7. Microclina en la lámina delgada en la muestra M- 45 A. LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 10 aumentos.  
Fuente: El autor.

La muestra M-59 tiene textura grano-lepidoblástica en donde el cuarzo conforma principalmente la parte granular y las micas la parte lepidoblástica (ver Fotografía 8). Además tiene crenulaciones que se aprecian en muestra de mano y en lámina delgada (ver Fotografía 9). La roca es un esquisto de Cuarzo- Biotita- Moscovita- Grafito, este último tan solo forma el 1% del volumen de la roca.



Fotografía 8. Lámina delgada de la muestra M-59 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.

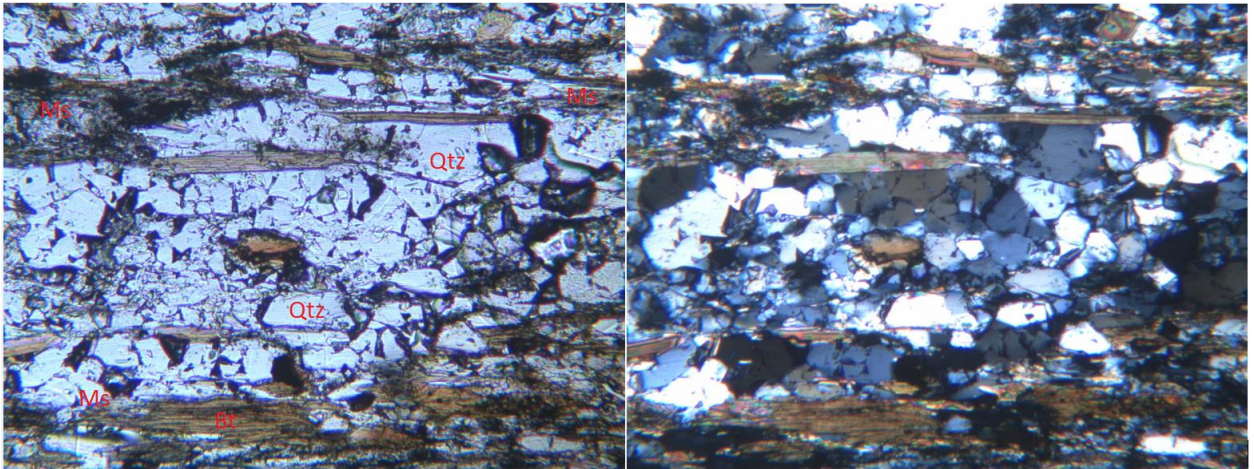
Fuente: El autor.



Fotografía 9. Fenocristales de biotita en la matriz de Qtz-Ms en la muestra M-59, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.

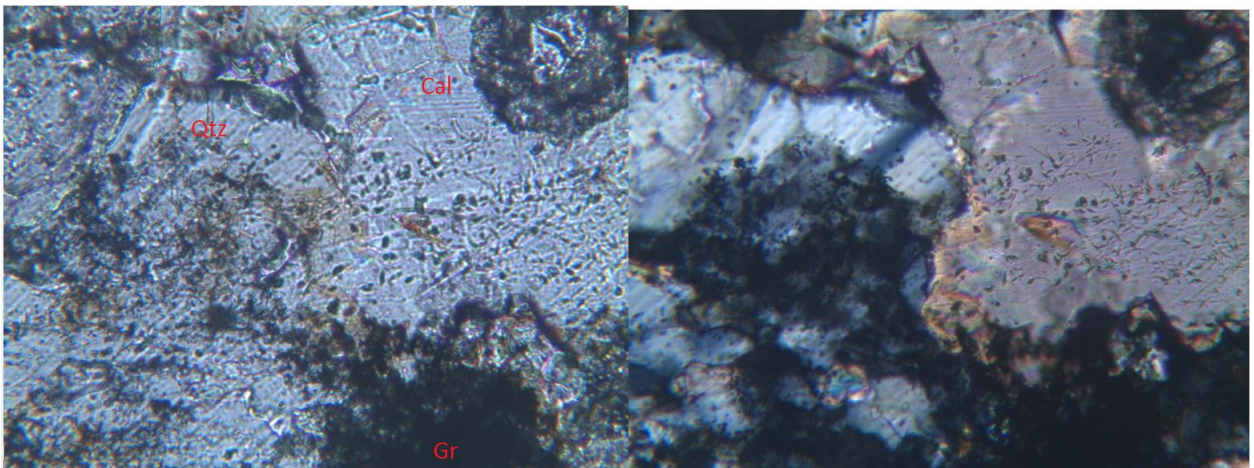
Fuente: El autor.

Otra muestra de estos esquistos de cuarzo que se examinó bajo lámina delgada es la M-63. El crucero de la roca es filítico y su textura es grano-lepidoblástica (ver fotografía 10). La roca es un esquisto de cuarzo- biotita- moscovita- calcita- grafito. La roca fue tomada del sector este del cerro Villonaco, quebrada Limplacocha, en donde es frecuente encontrar biotitas doradas, tal vez por la presencia de magnesio o calcio en la estructura de las biotitas o simplemente a que se encuentran parcialmente alteradas. El CaO en esta muestra ha podido formar calcita en pequeñas cantidades (ver Fotografía 11).



Fotografía 10. Lámina delgada de la muestra M- 63 en LPA a la izquierda y LPNA a la derecha, 5 aumentos.

Fuente: El autor.



Fotografía 11. Lámina delgada en la muestra M-63. LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 20 aumentos.

Fuente: El autor.

#### 6.1.1.4. **Cuarcitas.**

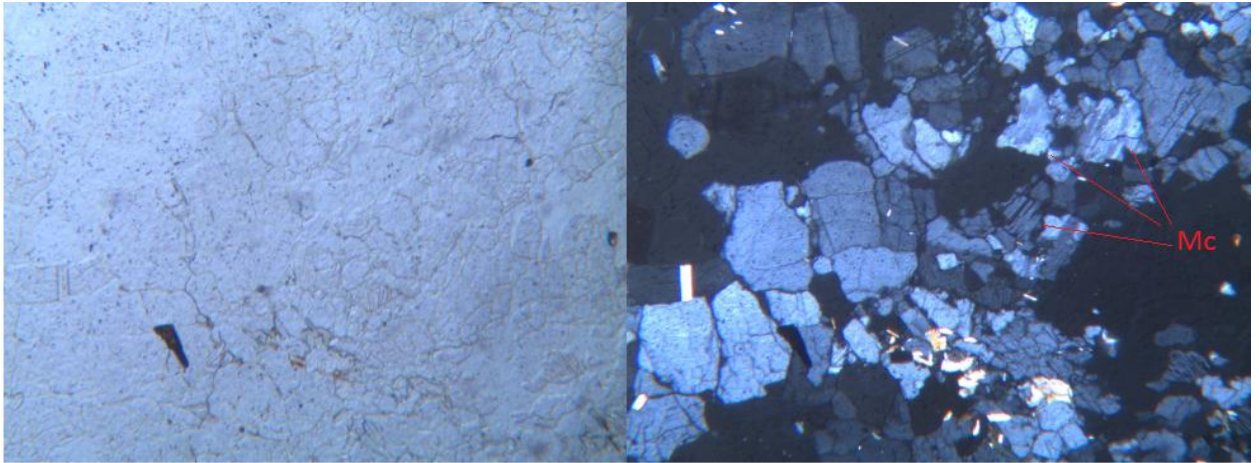
Estas rocas no fueron analizadas en lámina delgada debido a dos razones: la primera es que es fácil identificar sus minerales y la segunda que se asocian con los esquistos de cuarzo. Los afloramientos de cuarcita más pura se encuentran en la parte baja del cerro Villonaco, en la vía de entrada hacia las antenas repetidoras de la policía y el ejército. En los puntos 23 y 24 existen cuarcitas de Magnetita-Hematita-Apatito± Fluorita, en donde el cuarzo conforma el 98% de la roca. En cambio en la punta del cerro Villonaco las cuarcitas son menos puras y tienen Andalucita-Moscovita-Estauroлита-Clorita y Estauroлита-Clorita-Andalucita-Calcita. La andalucita fue detectada con ayuda del diagrama AFM en ambos casos ya que el tamaño de

grano es muy fino y se confunde con el cuarzo; mientras que la estaurolita se halla en cristales prismáticos negros y no presentan macla en cruz.

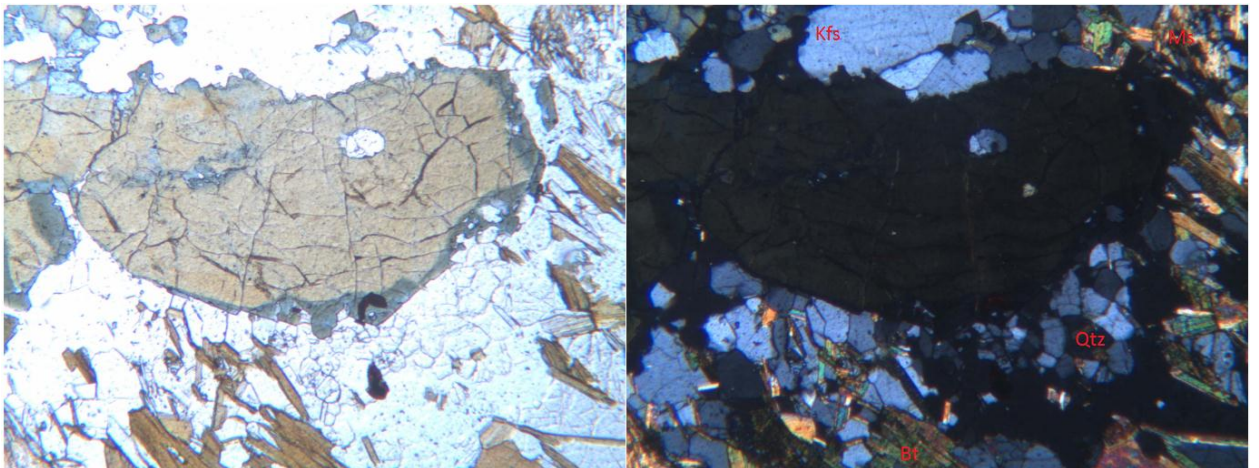
#### **6.1.1.5. Gneis cuarzo-pelíticos.**

Estas rocas poseen esquistosidad y bandeo gnéisico del tipo 'augen'. La composición química es análoga con la de los esquistos de cuarzo; pero se diferencian de estos por la presencia de tres minerales fundamentales: feldespatos de potasio (en abundancia), y granate (escaso). Estas rocas tienen bandeo gnéisico del tipo augen y la textura es grano-lepidoblástica con la parte granular formada por cuarzo, feldespatos de potasio y granate; mientras la parte lepidoblástica la conforman micas. La asociación principal del gneis es Cuarzo- Feldespato alcalino- Biotita- Moscovita- Almandino- Plagioclasa. Se elaboraron dos láminas delgadas, una en la Universidad de Granada donde se observaron los minerales que se indica y otra en la UTPL donde se identificó los mismos minerales pero sin granate y con andalucita en pequeñas cantidades. La plagioclasa forma tan solo el 1% del volumen de la roca y es especialmente albita, que se distingue por la macla de la periclina. Los minerales opacos en la muestra son de color rojizo y son hematites y casiteritas. Las fotografías 12, 13, 14 y 15 muestran los minerales que se han visto en las láminas delgadas de la muestra M-33.

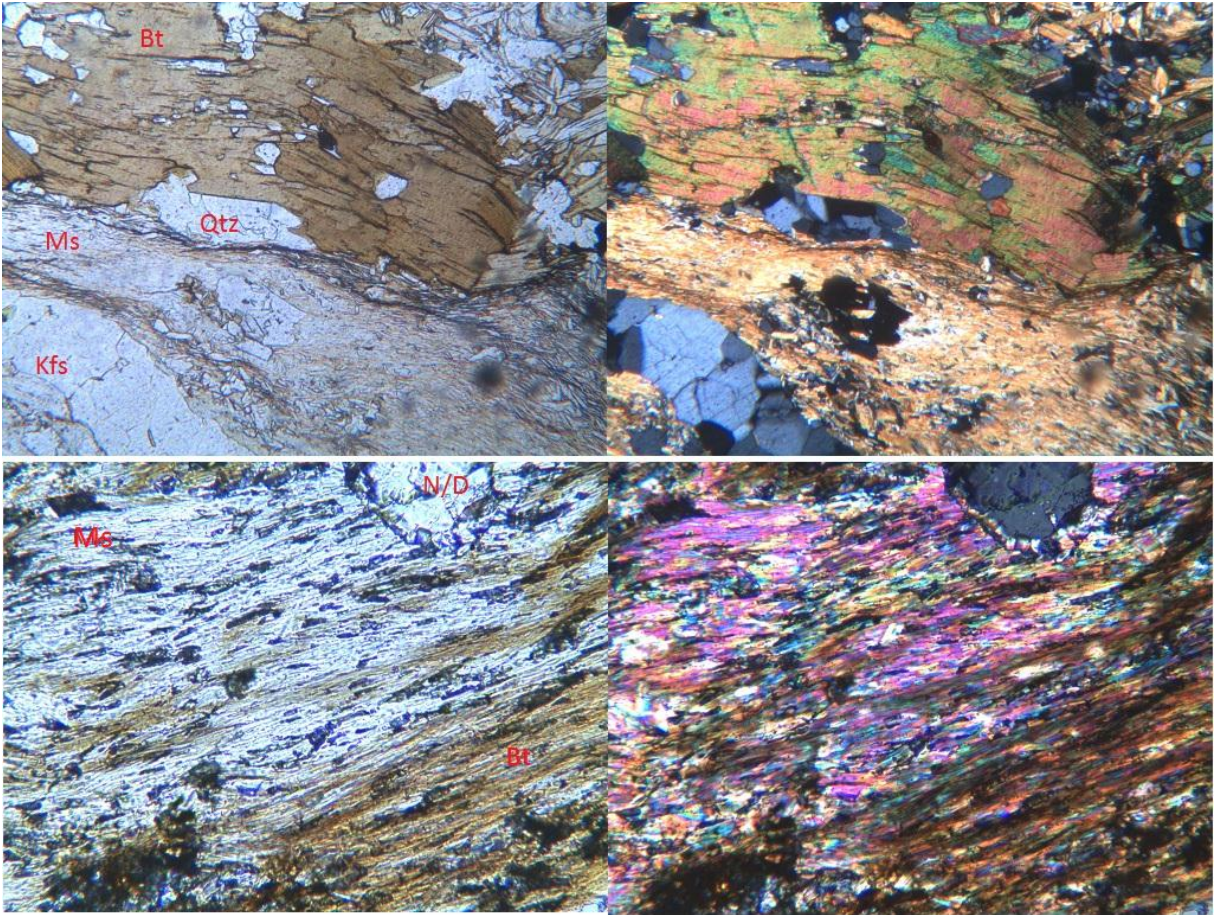
Aunque no se encontró cordierita en la lámina delgada no se niega la posibilidad de su existencia. La moscovita es muy peculiar en la lámina delgada ya que aparece de color blanco de primer orden y no con sus típicos colores de interferencia de tercer orden en la lámina delgada elaborada en la Universidad de Granada; mientras que en la que se elaboró en la UTPL sí muestra con los colores de interferencia de tercer orden típicos de la moscovita (Ver Fotografía 14). Tanto biotita como moscovita muestran extinción en ojo de pájaro como se muestra en la Fotografía 15.



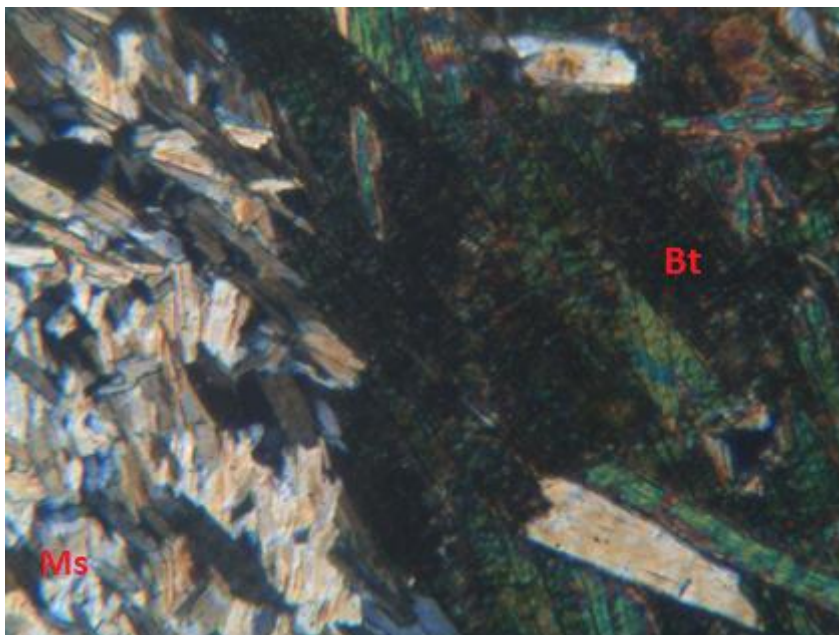
Fotografía 12. Masa feldespática de la muestra M-33 en lámina delgada a 5 aumentos, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha.  
Fuente: El autor.



Fotografía 13. Granate en la lámina delgada de la muestra M- 33. LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 10 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 14. Muestra M-33. Arriba (a en LPNA y b en LPA) de la lámina delgada elaborada en la Universidad de Granada, 5 aumentos. Abajo (c en LPNA y d en LPA) micas de la lámina delgada elaborada en la UTPL, 10 aumentos.  
Fuente: El autor.



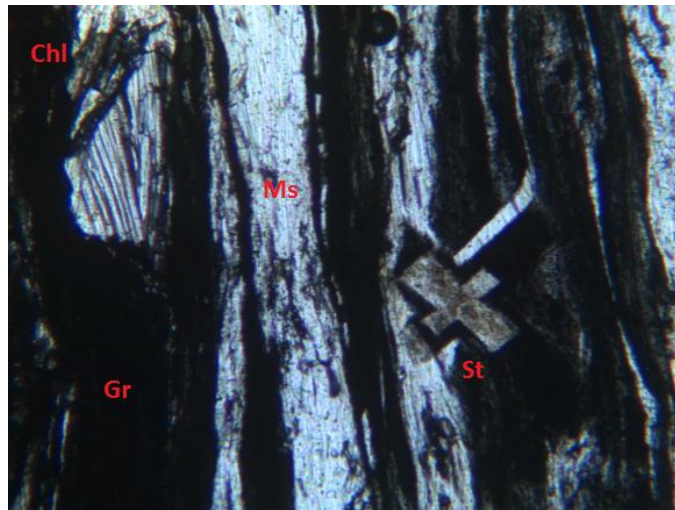
Fotografía 15. Micas de la muestra M-33 en lámina delgada, LPA y 5 aumentos.  
Fuente: El autor.

#### **6.1.1.6. Esquistos gráficas.**

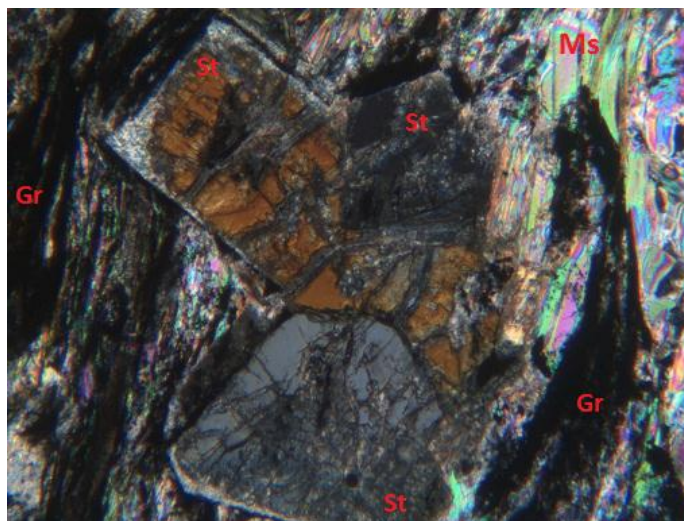
Estos esquistos fueron vistos en muchos afloramientos; pero no se tomaron muchas muestras debido a que su mineralogía es fácil de determinar. En estas rocas se pueden identificar las zonas de clorita con asociación: Grafito- Cuarzo- Moscovita- Clorita, la zona de la biotita con Grafito-Cuarzo-Moscovita-Biotita y la zona de la estaurolita con Grafito-Moscovita- Estaurolita- Andalucita-Cuarzo-Clorita. Esta última asociación se obtuvo con una lámina delgada de la muestra M- 21. La foliación es esquistosa y la textura porfidoblástica en la zona de la estaurolita, donde la estaurolita constituye los porfidoblastos de la roca. En cambio, en las zonas de la biotita las rocas tienen foliación esquistosa o crucero filítico con textura lepidoblástica; finalmente en la zona de la clorita la roca tiene crucero pizarroso o filítico y textura lepidoblástica.

De la muestra M- 21 se analizó una lámina delgada de la cual el 40% de la roca es grafito que conforma la matriz lepidoblástica junto con la moscovita y la clorita mientras que la estaurolita se encuentra como porfidoblastos con macla en cruz como se muestra en las fotografías 16 y 17. Algunos cristales de estaurolita se encuentran alterados a arcillas (ver Fotografía 18). En localidades cercanas al afloramiento en donde se tomó la muestra M-21 la estaurolita aparece como cristales de unos pocos milímetros de diámetro.

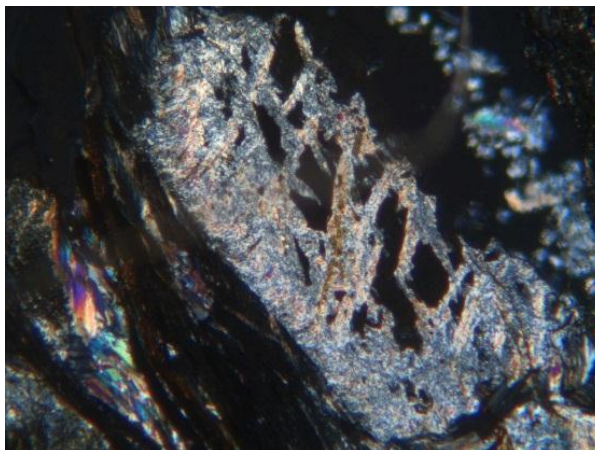
El cuarzo y la andalucita en cambio se ven en lentes o vetas. Este primero en la mayoría de muestras y afloramientos solo fue visto como vetillas; no en forma granular como en las cuarcitas y los esquistos de cuarzo.



Fotografía 16. Textura de la roca de la muestra M-21 en LPNA, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 17. Estaurolita con macla en cruz en la lámina delgada de la muestra M-21 en LPA, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.

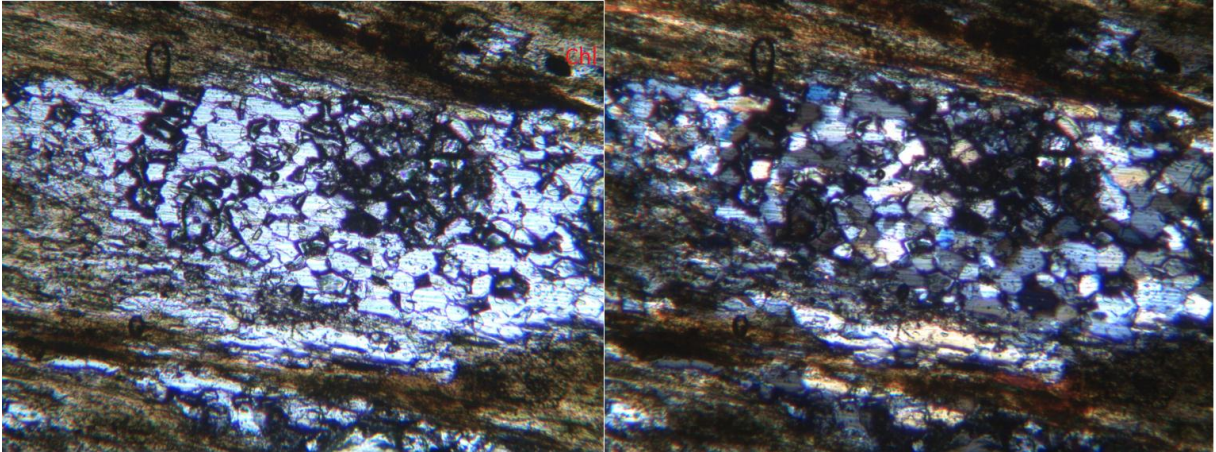


Fotografía 18. Estarolita alterada a arcillas y minerales del grupo de la clorita en la lámina delgada de la Mestra M-21 en LPA, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.

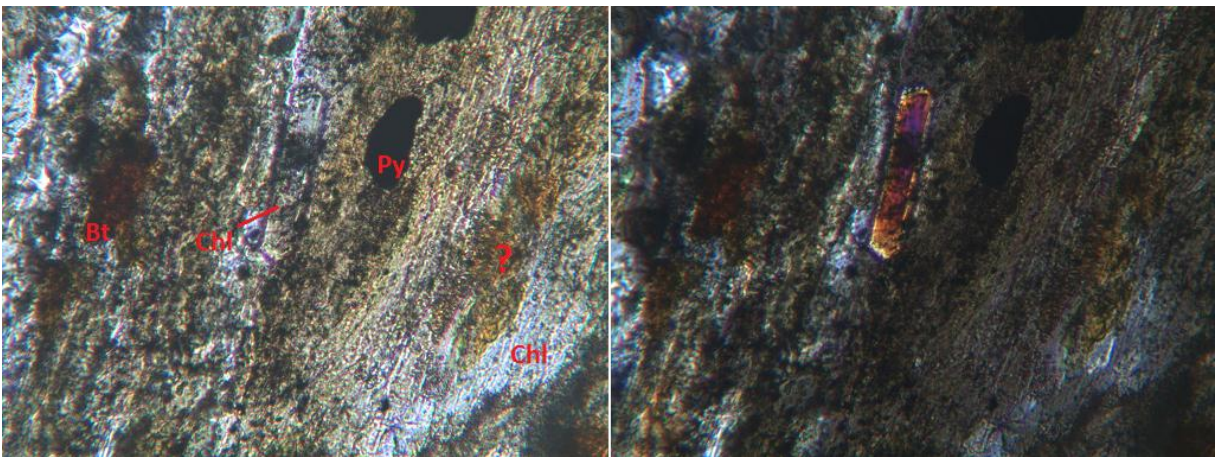
#### **6.1.1.7. Esquistos Pelíticos.**

Estos esquistos afloran solo en el sector del parque eólico en el cerro Villonaco. En campo se encuentran intensamente meteorizados en la mayoría de afloramientos. En general estas rocas consisten en micacitas y filitas de grado bajo de metamorfismo, con crucero filítico o esquistoso y textura lepidoblástica. Existen lugares en donde se encontraron lentes de cuarzo, en forma de meta-arenisca, de hasta 80cm de potencia y más de 1m de largo entre las micacitas de Moscovita- Biotita. De igual manera en la muestra M- 36 estas estructuras fueron encontradas en escala microscópica (ver Fotografía 19).

Se elaboró una lámina delgada de la muestra M-36. La roca resultó ser una filita de Clorita- Moscovita- Biotita con lentes hechos de granos de cuarzo, la roca tiene crucero filítico y textura lepidoblástica. Tiene también pirita y grafito como minerales opacos accesorios. Debido a que la textura es de grano muy fino no se pudo diferenciar la clorita de otros minerales del grupo de la clorita, estos aparecen en las dos fotografías 19 y 20 con coloración marrón y amarilla en LPNA. La biotita aparece como hojuelas mal formadas de color marrón, mientras que la moscovita es de grano muy fino. La clorita se encuentra en masas fibrosas grises y en cristales alargados con sus colores de interferencia anómalos violetas y amarillos.



Fotografía 19. Lente de granos de cuarzo en una matriz fina de filossilicatos en la lámina delgada de la muestra M- 36 en LPNA a la izquierda y LPA a la izquierda. 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 20. Minerales de la muestra M-36 en lámina delgada en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 20 aumentos.  
Fuente: El autor.

### 6.1.2. Muestras de rocas ígneas.

En todo el polígono se encontraron varios plutones, algunos solo eran diques de unos cuantos decímetros de potencia y otros algo más potentes. Además, también hubo cuerpos plutónicos de gran tamaño como el diapiro debajo del cerro Villonaco al que se le denominó intrusivo Villonaco, al que aflora en el barrio Duraznillo, por el sector de la urna se le llamó Intrusivo Duraznillo. Además hay una intrusión del tipo dique que se puede medir en unas cuantas decenas de metros de potencia y que aflora en la Hacienda Villonaco de los Hermanos Maristas y en la vía nueva que se conduce desde la subestación Villonaco hacia el parque eólico Villonaco, a este se le bautizó como intrusivo Eucaliptos; ya que aflora principalmente en esta barrio al occidente de la ciudad de Loja. A la intrusión que aflora en la quebrada Chicheros y en las montañas de Urihuanga se le llamó intrusivo Urihuanga. A la intrusión ígnea, que podría ser o bien un dique o bien una parte de una intrusión discordante más

grande y aflora dos veces en la vía antigua Loja-El Tambo en el sector del Cerro Ventanas se le llamó intrusivo Cerro Ventanas.

Se realizaron láminas delgadas de las intrusiones siguientes:

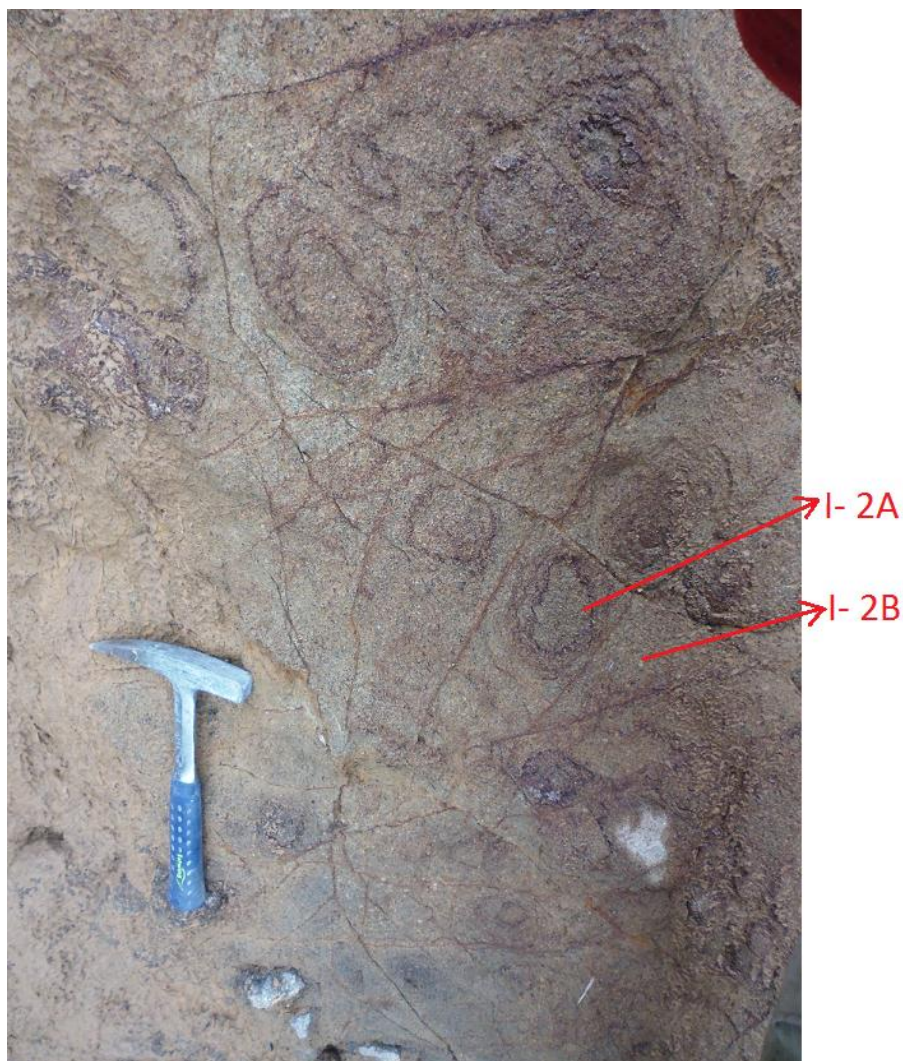
- Villonaco con la muestra I-2 A, I- 2 B e I- 6.
- Duraznillo con la muestra I- 8.
- Eucaliptos con la muestra I- 17 e I- 19.
- Cerro Ventanas con la muestra I- 11.

En el ANEXO III C se muestra la descripción macroscópica de las muestras del Dr. José Miguel Azañón Hernández, catedrático del Departamento de Geodinámica de la Universidad de Granada y las propiedades ópticas de cada mineral en lámina delgada. Adicionalmente de las propiedades que se indican en el ANEXO III C para las rocas I- 2 A, I- 2 B e I- 6 se utiliza una clasificación detallada sobre el tipo de plagioclasa que conforma dichas rocas para así poder identificar la roca como un gabro con mayoría de plagioclasas cálcicas ( $An > 50$ ) o como una diorita que tiene la mayoría de plagioclasas sódicas ( $Ab > 50$ ). Para dicha caracterización se usó la metodología de Rittman, 1929 (encontrado en Raith et al.; 2012; p.102).

#### **6.1.2.1. Intrusivo Villonaco.**

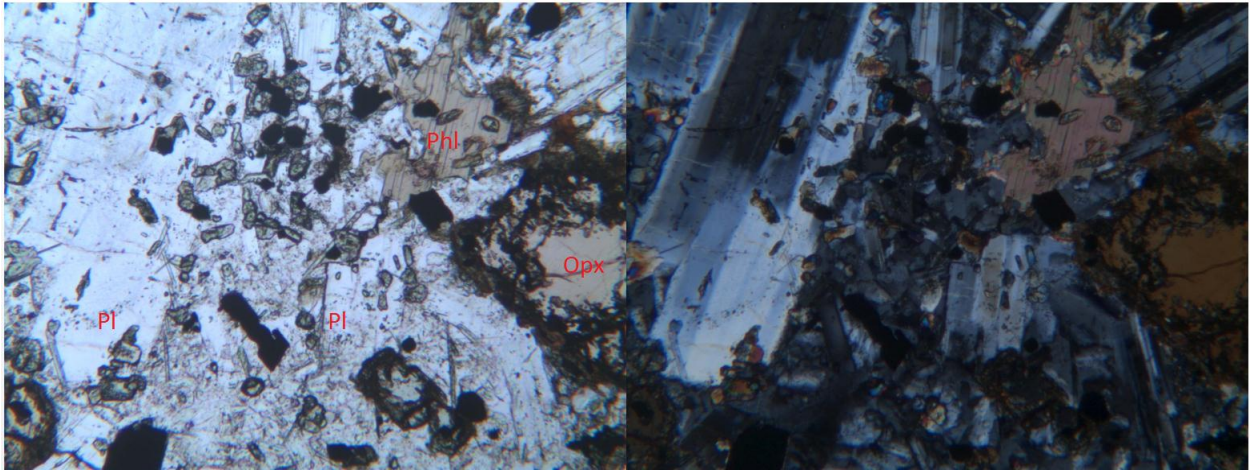
Las muestras I- 2 A e I- 2 B se tomaron de la zona apical de la intrusión aproximadamente a 300 m al oeste de las antenas de la policía, cerca del contacto lateral con esquistos de cuarzo y cuarcitas. La roca aflora en un talud natural de roca ígnea que ha sido en su mayor parte meteorizada. Existe una estructura de unas esfera encerradas en medio de la matriz de la roca ígnea y se pensó primero que se trataba de xenolitos; pero como se demuestra con el análisis de las dos láminas delgadas, esta estructura más bien consiste en la meteorización esferoidal (ver fotografía 21). Sin embargo se tomaron las muestras de las partes más sanas de la roca.

La roca al estar meteorizada muestra una coloración amarillo-verdosa; pero al estar sana es de color verde oscuro con cristales de minerales máficos de color negro y sulfuros de cobre vistos solo en ciertas esferas sanas, que por el color violeta y dorado de estos era fácil darse cuenta que se trataba de bornita y calcopirita.

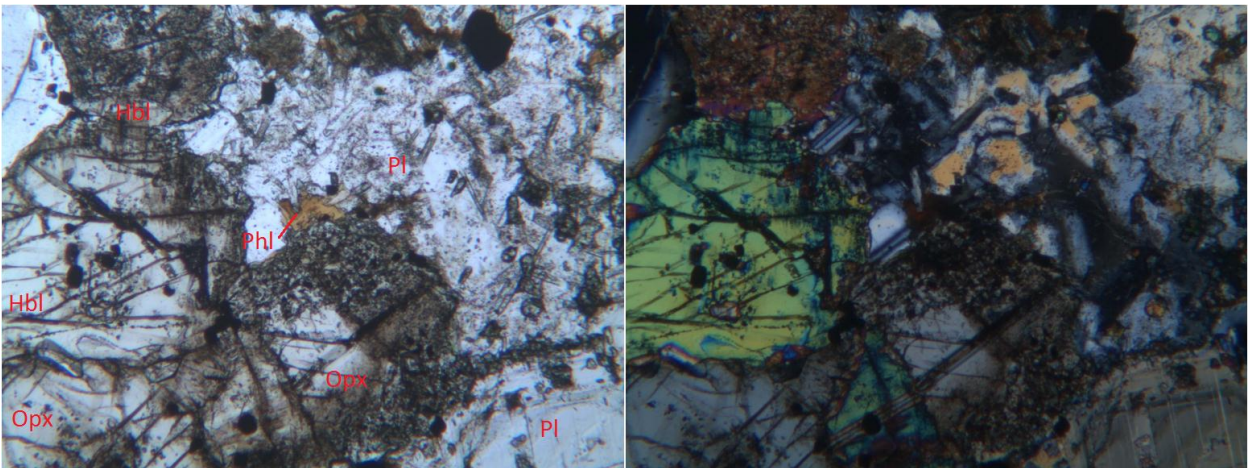


Fotografía 21. Esquema de muestra en el afloramiento en el Punto 16.  
Fuente: El autor.

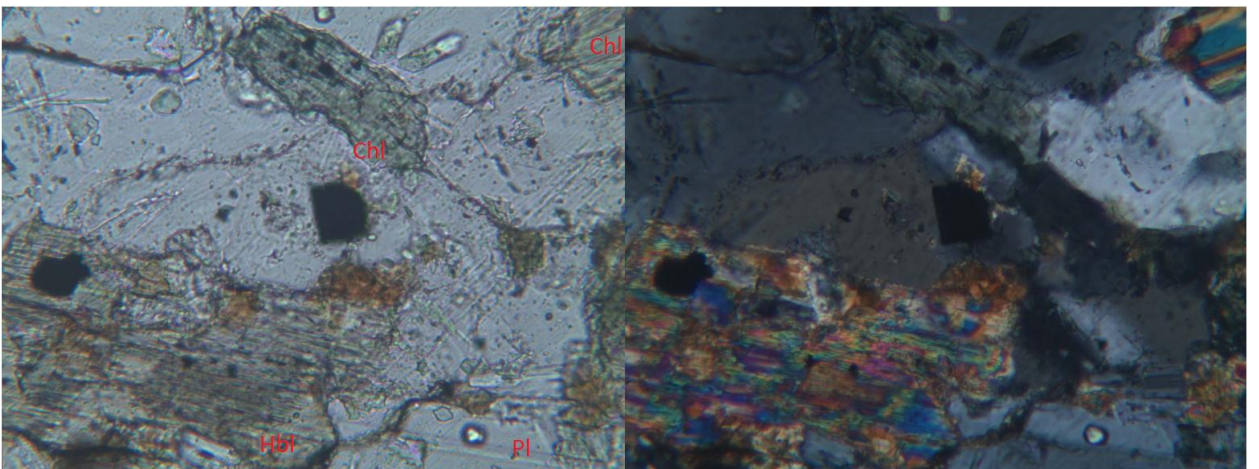
En la muestra I- 2 A (ver fotografías 22, 23, 24, 25 y 26) la roca aparece con textura fanerítica con fenocristales de plagioclasa que forma el 64% del volumen de la roca, ortopiroxeno que forma el 12% y la hornblenda el 5%. Existe la serie de la plagioclasa desde la albita hasta la bitownita, con predominio de albita en un 26% y Oligoclasa en un 37% (porcentaje de plagioclasas en la roca no del volumen total de la misma). El feldespatos de potasio llega a un 5% del volumen de la roca y el cuarzo a un 2%. La flogopita como mineral accesorio conforma el 2% (puede incluirse la biotita) del volumen de la roca y los minerales opacos el 10%, entre estos existe ilmenita, sulfuros de cobre y hierro y magnetita (ver fotografía 25). Los silicatos máficos se pueden ver inalterados como en la fotografía como en se encuentran principalmente alterados a clorita como se aprecia en la fotografía 22; pero más frecuentemente alterados como en las fotografías 23 y 24. Esta roca se ha clasificado esta roca como una diorita.



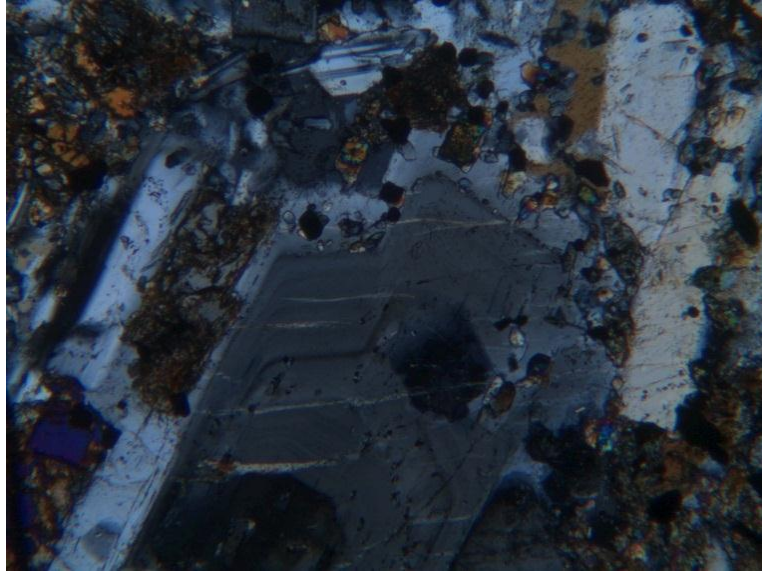
Fotografía 22. Lámina delgada de la muestra I- 2 A en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



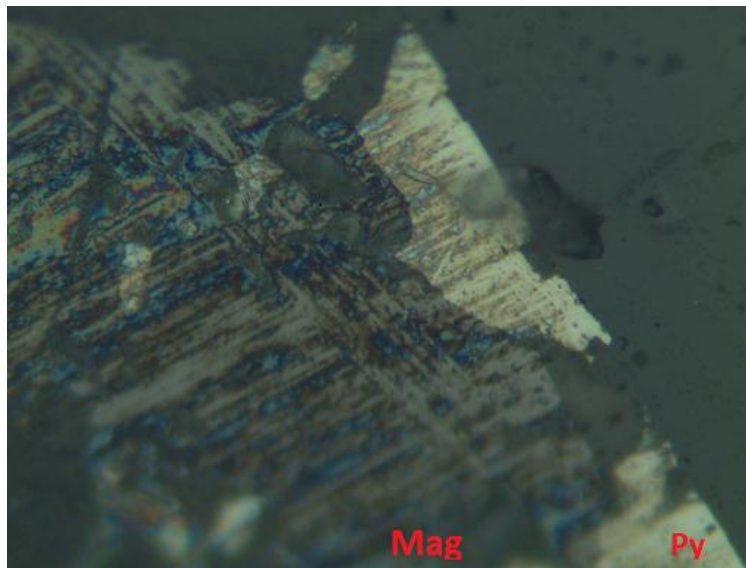
Fotografía 23. Fotografía de la lámina delgada de la muestra I- 2 A en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 24. Alteración secundaria a clorita en Lámina delgada de la muestra I- 2 A en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 20 aumentos.  
Fuente: El autor.



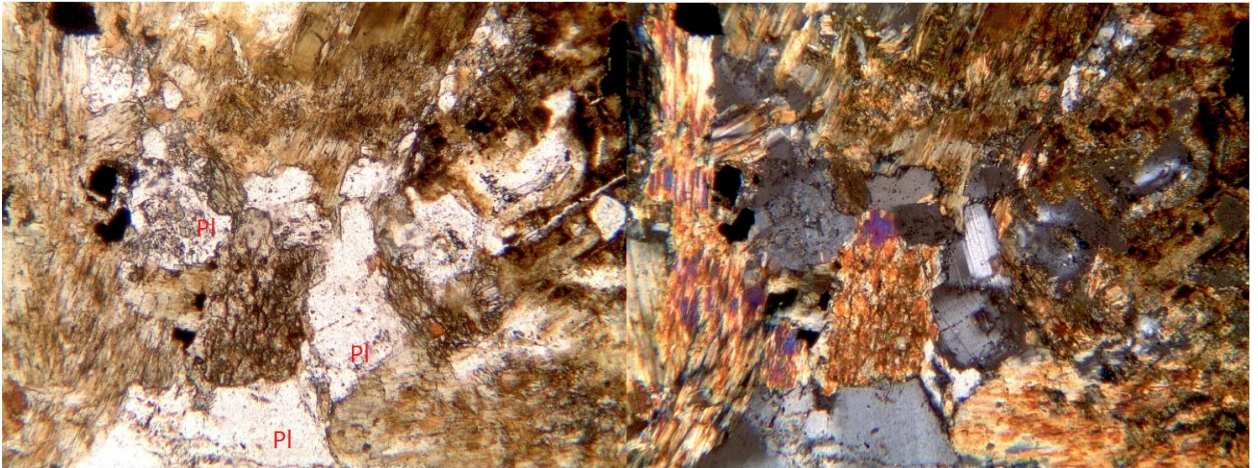
Fotografía 25. Plagioclasa con zonación en la muestra I- 2 A en LPA a 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



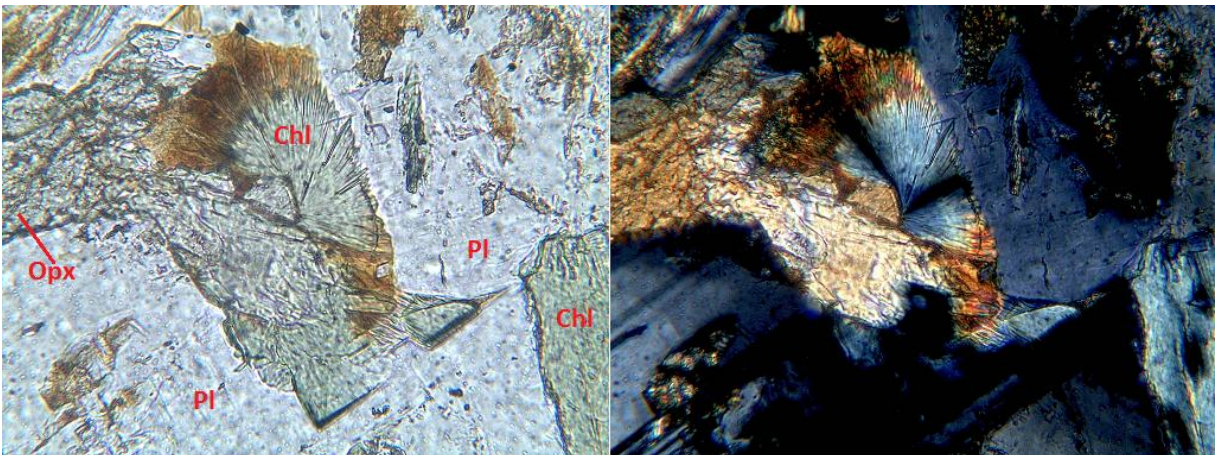
Fotografía 26. Minerales opacos de la muestra I- 2 A en luz reflejada, 50 aumentos.  
Fuente: El autor.

La muestra I- 2 B también tiene textura fanerítica y se encuentra más intensamente alterada que la muestra I- 2 A como se puede apreciar en la fotografía 27. Las plagioclasas conforman el 64% del volumen total de la roca, se encuentran frecuentemente con zonación (ver Fotografía 30) y existe la serie desde albita hasta bitownita con predominio de oligoclasa en un 35%, andesina 24% y labradorita un 24% del total de plagioclasa en la roca. No se encontró ni cuarzo ni feldespatos alcalinos en la lámina delgada; pero el feldespato alcalino pudo haberse alterado y por eso ya no existe. La hornblenda conforma el 18% del volumen total de la roca

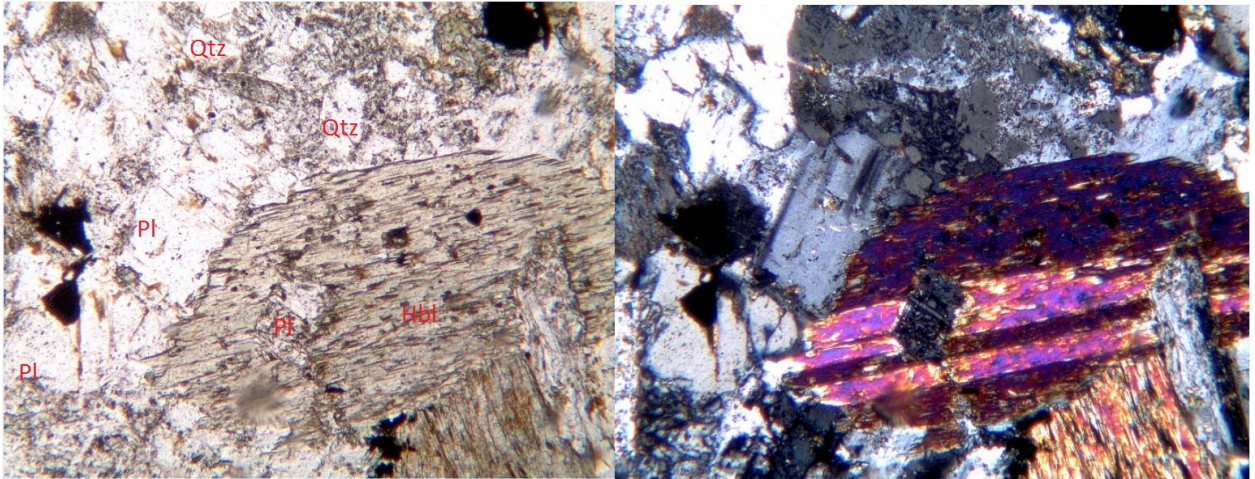
y el ortopiroxeno el 3%. Los minerales opacos y accesorios forman el 14% del volumen total de la roca, entre ellos existen sulfuros de cobre y hierro, magnetita e ilmenita; además, debido a que el análisis químico muestra  $P_2O_5$  y  $Zr_2O$  también indica la presencia de fosfatos y circonio en mínimas cantidades. La clorita se presenta como mineral de alteración con hábito micáceo, radial como en la Fotografía 28 y fibroso como en la fotografía 27. Debido a la descripción esta roca se podría clasificar como una diorita alterada.



Fotografía 27. Cloritas secundarias (color amarillo) en la lámina delgada de la muestra I- 2 B. en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.

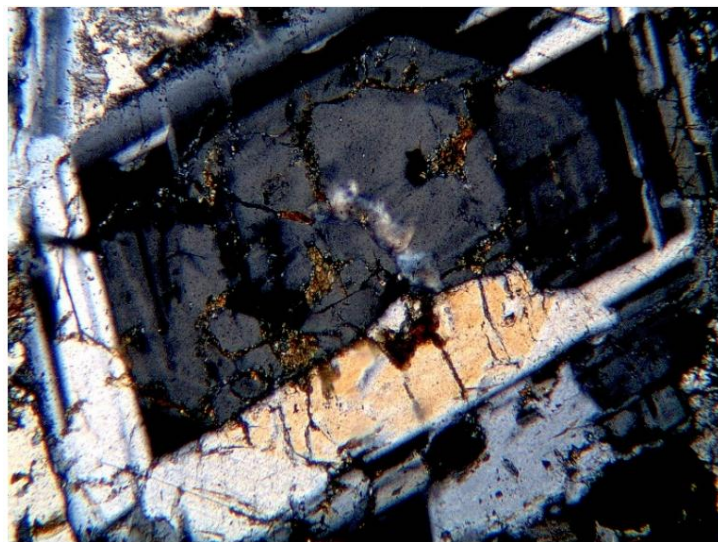


Fotografía 28. Clorita secundaria en la lámina delgada de la muestra I- 2 B en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 20 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 29. Hornblenda en la lámina delgada de la muestra I- 2 B en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 5 aumentos.

Fuente: El autor.



Fotografía 30. Plagioclasa con zonación en la muestra I- 2 B. en LPA, 5 aumentos.

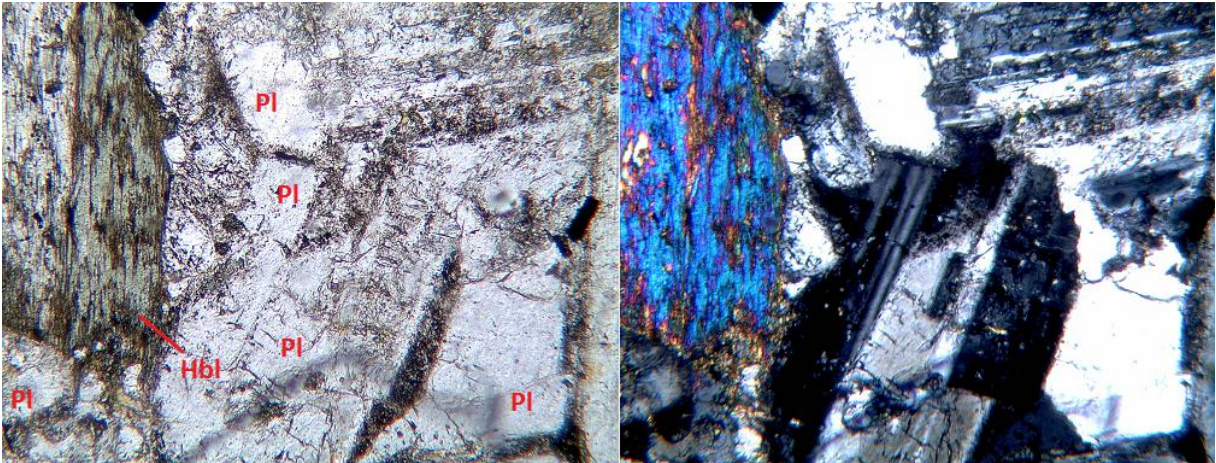
Fuente: El autor.

La muestra I-6 en campo se tomó de un extenso afloramiento de roca en el flanco sureste del cerro Villonaco; que en su mayor parte se encuentra meteorizada. Sin embargo; se encontró un sitio en donde la meteorización de la roca no era muy intensa (ver fotografía 31). El sitio se encuentra a pocos metros del contacto con una corneana, en el Punto 33.

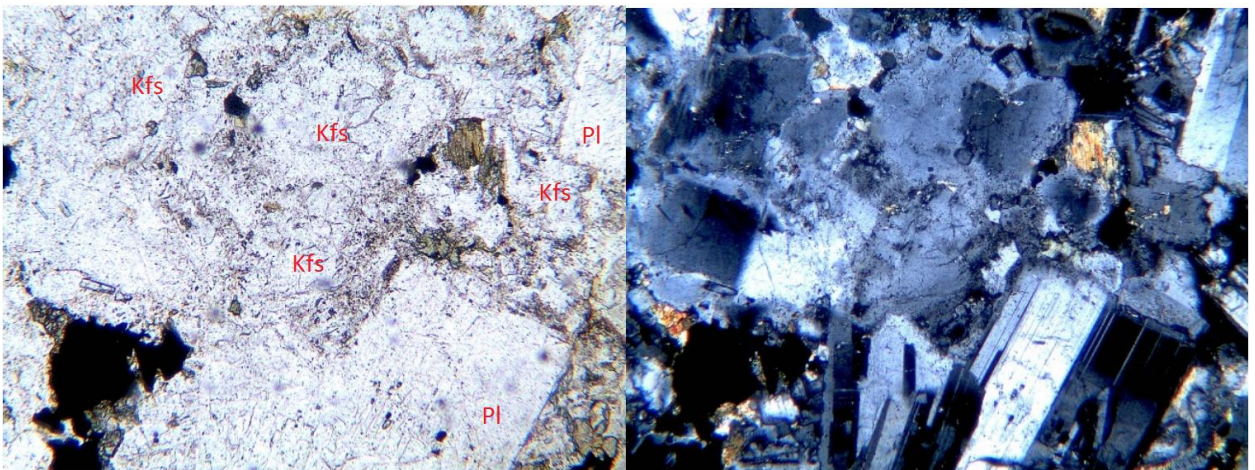


Fotografía 31. Afloramiento del Punto 33.  
Fuente: El autor.

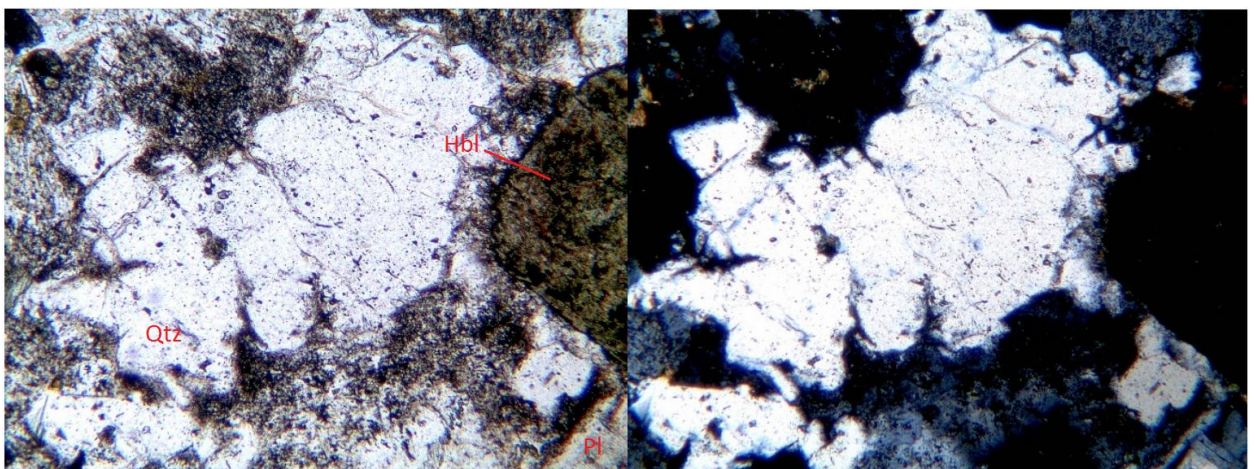
La muestra I- 6 en lámina delgada muestra textura fanerítica y se encuentra levemente meteorizada. Las plagioclasas conforman el 57% del volumen total de la roca y poseen macla de albita (ver fotografía 32); la serie de plagioclasas existe desde albita hasta bitownita con predominio de Oligoclasa que forma el 31% de las plagioclasas, la andesina el 23% y la labradorita el 23%; es decir, plagioclasas más sódicas que cálcicas. El feldespato de potasio se muestra en la fotografía 33 y se distingue fácilmente de las plagioclasas que desarrollaron cristales idiomórficos y euhedrales, conforma un 7% del volumen total de la roca mientras que el cuarzo conforma un 8%. El ortopiroxeno principal es la ferrosilita que conforma el 12% del volumen total de la roca (ver Fotografía 35), hornblenda conforma el 8% (ver fotografías 32 y 34) y los minerales opacos el 7% del volumen de la roca. Otros minerales accesorios como fosfatos y circón existen debido a la presencia de  $P_2O_5$  y  $Zr_2O$ , además de otros silicatos llegarían a formar el 1% del volumen total de la roca. Entre los minerales de alteración existen clorita y serpentina que alteran principalmente a los minerales máficos como se muestra en la Fotografía 36. La roca consiste en una cuarzo-monzodiorita



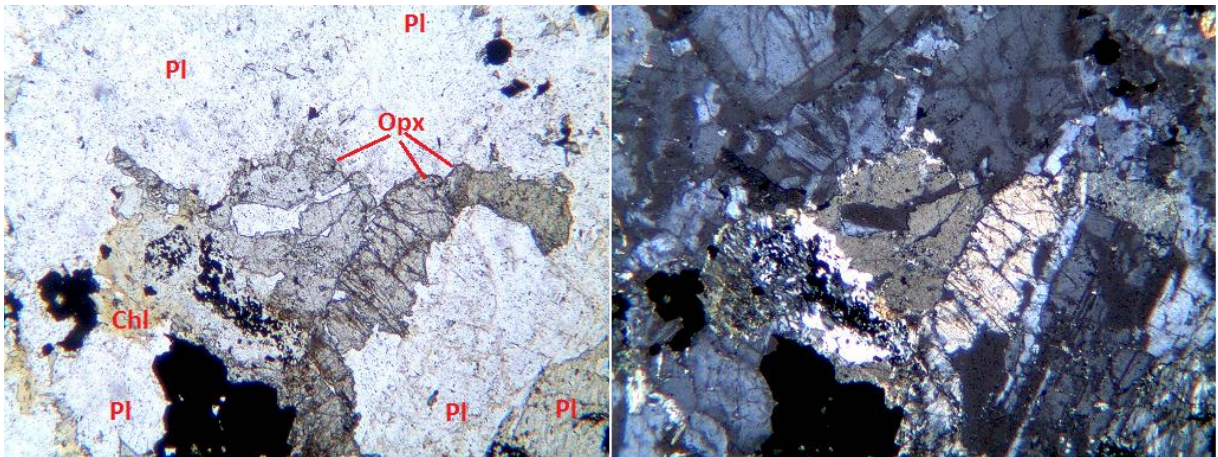
Fotografía 32. Hornblenda en la lámina delgada de la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



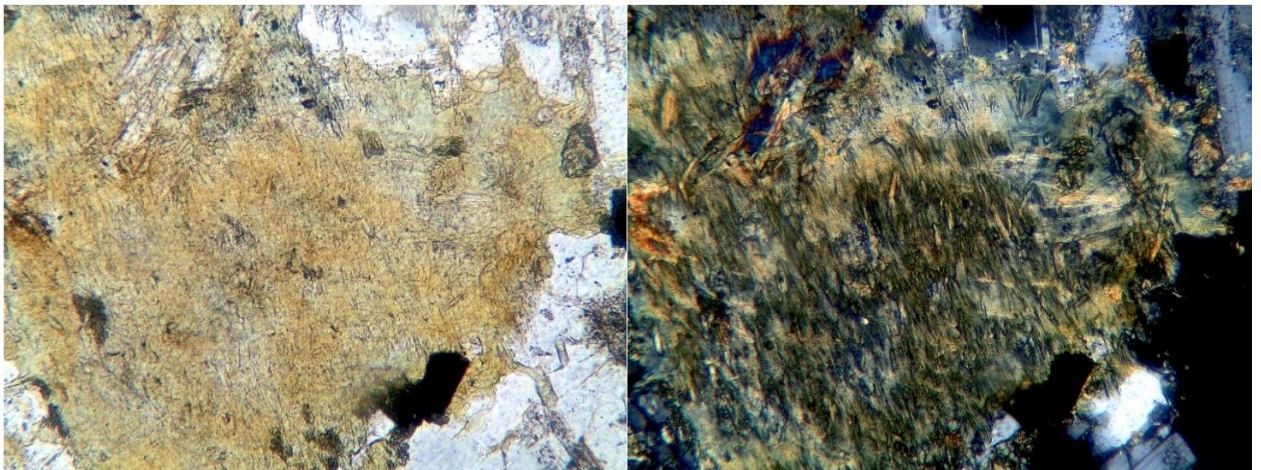
Fotografía 33. Feldespatos en la lámina delgada en la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 34. Cuarzo y hornblenda en la lámina delgada de la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 35. Ferrosilita en la lámina delgada de la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 36. Clorita alterando a un mineral máfico en la lámina delgada de la muestra I- 6 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 10 aumentos.  
Fuente: El autor.

#### **6.1.2.2. Intrusivo Duraznillo.**

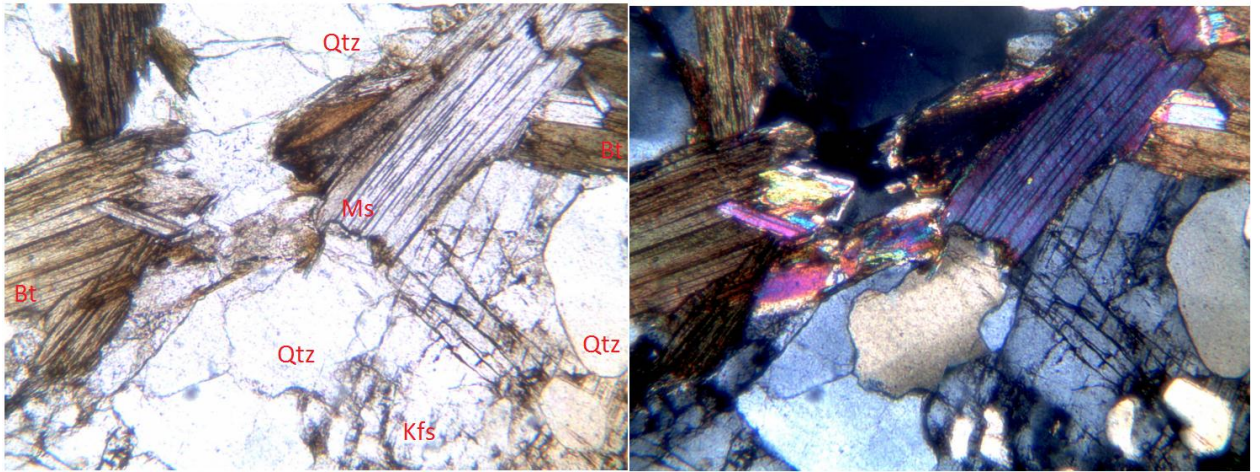
Esta intrusión aflora de forma continua en el noroeste del polígono con una dirección preferencial N-S, entre los afloramientos principales tenemos la entrada al barrio Duraznillo, la concesión minera El Durazno. A lo largo de toda la intrusión la roca es leucocrática, con gran contenido de cuarzo y se encuentran feldespatos de potasio color blanco. La única variante, vista en campo, de la litología de esta intrusión es la acumulación de la biotita que en algunos lugares puede a igualar la el porcentaje de cuarzo de la roca. Los minerales opacos son muy escasos en la roca, no conforman ni el uno por ciento del volumen total de la roca; pero mediante trituración de muestra y concentración de minerales opacos con el platón en

dos muestras de sitios distintos se logró identificar Ilmenita>Magnetita y Magnetita>Ilmenita respectivamente.

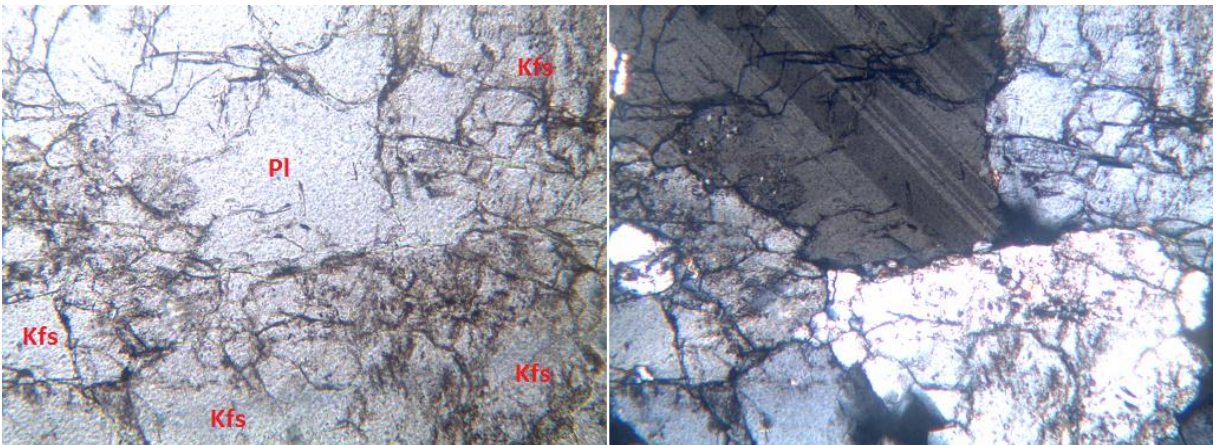


Fotografía 37. Roca del intrusivo Duraznillo en el Punto 65.  
Fuente: El autor.

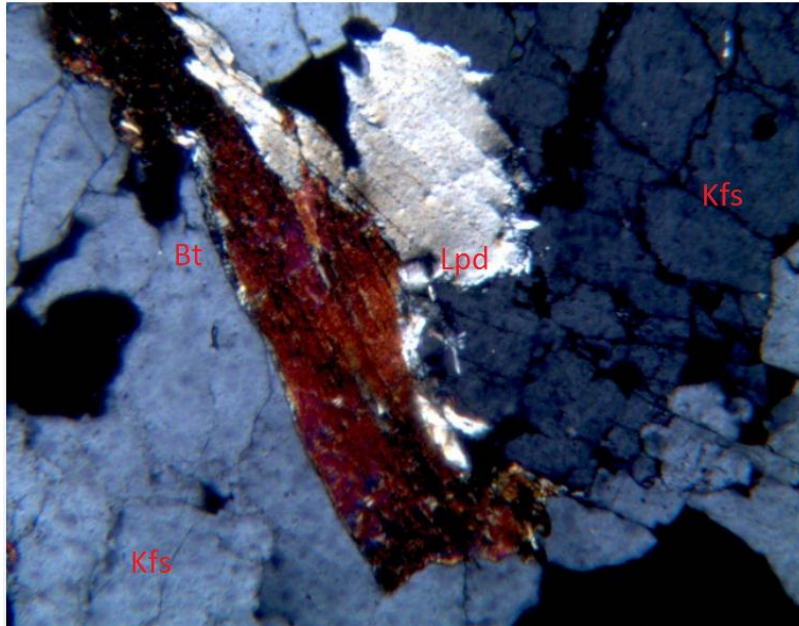
La muestra I-8 fue tomada en el afloramiento del Punto 65, aproximadamente a 100m del contacto con esquistos gráficas. La roca tiene textura fanerítica (ver Fotografía 38). El volumen de la roca se divide de la siguiente manera: cuarzo 26%, feldespato de potasio 47%, plagioclasa 15%, biotita 8% y entre la moscovita y lepidolita forman un 4%. La plagioclasa aparece con superficies más blancas que el feldespato de potasio y con macla de la periclina (ver Fotografía 39), es principalmente albita y oligoclasa. Las micas blancas, moscovita y lepidolita (ver fotografía 40) tienen características ópticas muy similares; pero la lepidolita se identificó gracias a un pleocroísmo con un tono rosado pálido mientras que la moscovita no es pleocroica. En la lámina delgada no hubo minerales opacos; pero la muestra triturada demostró tener magnetita en proporción levemente mayor que la de ilmenita. No se encontraron minerales secundarios. La roca es un sieno-granito.



Fotografía 38. Lámina delgada de la muestra I- 8 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



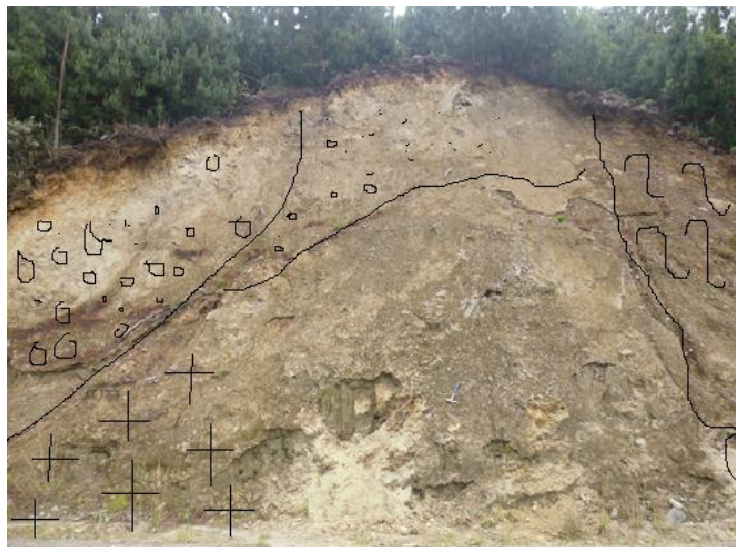
Fotografía 39. Plagioclasa rodeada de feldespato de potasio en la lámina delgada de la muestra I-8, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 40. Lepidolita y biotita en la lámina delgada de la muestra I-8 en LPA, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.

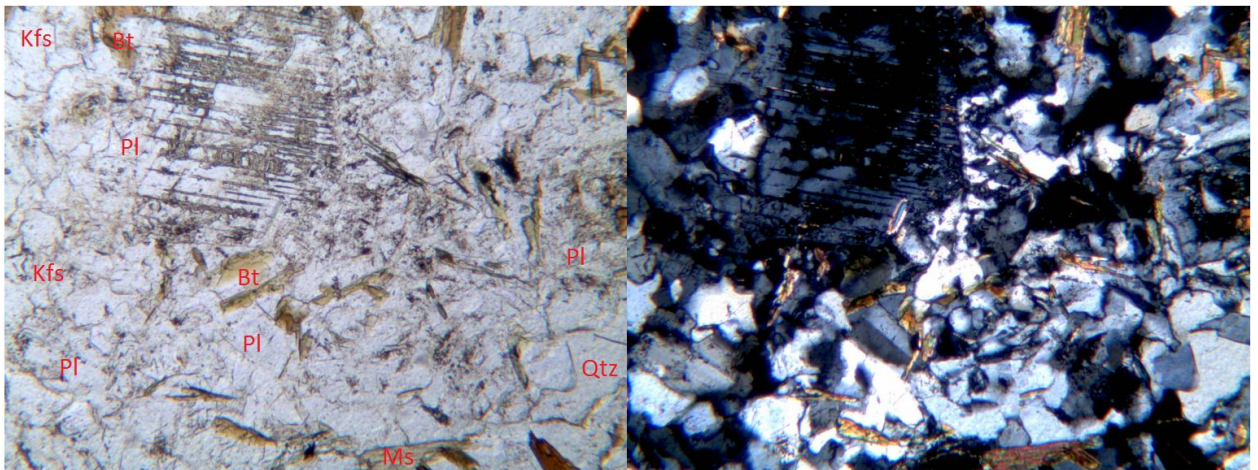
### 6.1.2.3. *Intrusivo Cerro Ventanas.*

Lo más probable es que esta intrusión consista en un dique debido a que se encontró esta roca en dos afloramientos alineados más o menos con una dirección NW-SE. En ambos afloramientos la mayor parte de la roca se encontraba meteorizada.



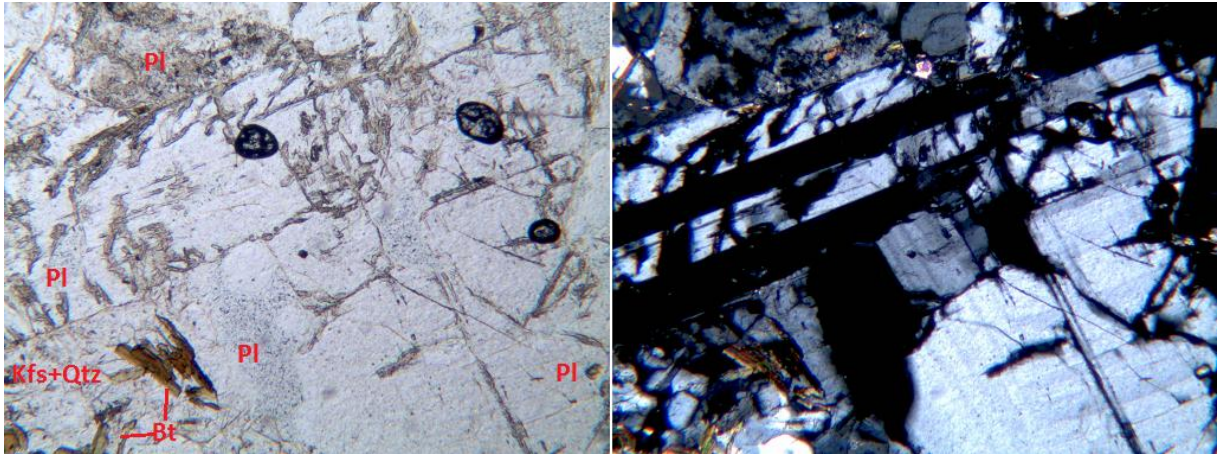
Fotografía 41. Intrusivo Cerro Ventanas en el afloramiento del Punto 114.  
Fuente: El autor.

La muestra I-11 fue tomada en el afloramiento del Punto 114 (ver fotografía 41), la cual se analizó mediante lámina delgada. Esta roca tiene textura porfirítica-afanítica con fenocristales de plagioclasa en una matriz aplítica de cuarzo y feldespato de potasio (ver fotografías 42 y 43). Los fenocristales de plagioclasa conforman el 17% de la roca y la matriz rocosa un 68% de la misma. La plagioclasa forma el 25% del volumen total de la roca, tan solo un 12% se encuentra en la matriz rocosa. El resto de minerales se distribuyen de la siguiente manera: cuarzo 32%, feldespato de potasio 29%, biotita 8%, moscovita 2%, titanita 2% (ver Fotografía 44) y los minerales opacos el 2% que se distribuye como Pirita>Ilmenita>Magnetita (analizado en un concentrado de muestra triturada). El cuarzo y el feldespato de potasio se encuentran exclusivamente en la matriz aplítica fina de la roca. La biotita es el único silicato máfico de la roca. La roca es un monzogranito.

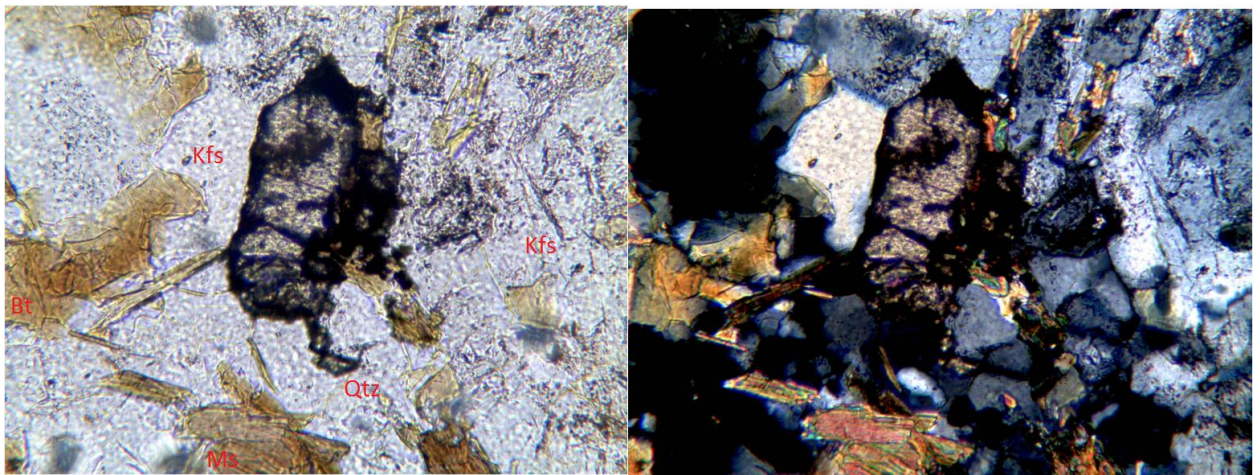


Fotografía 42. Lámina delgada de la muestra I-11 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 5 aumentos.

Fuente: El autor.



Fotografía 43. Fenocristales de plagioclasa en la lámina delgada de la muestra I-11, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 5 aumentos.  
Fuente: El autor.

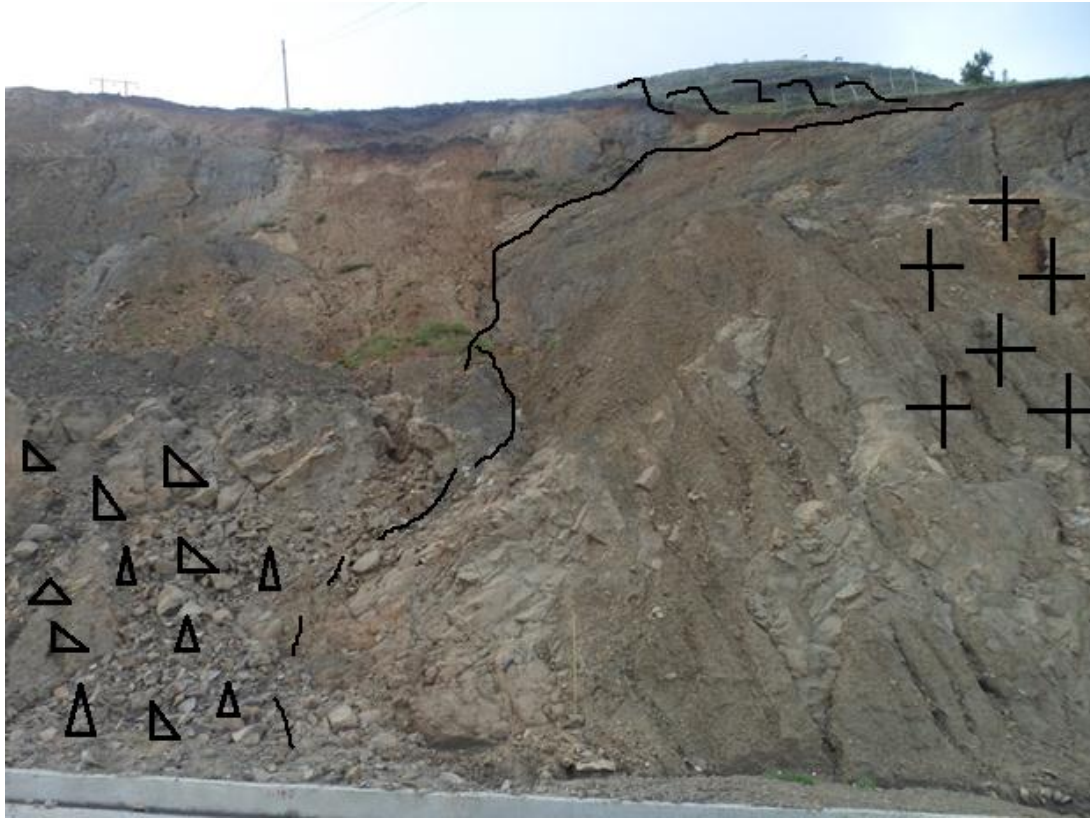


Fotografía 44. Cristal de titanita en la lámina delgada de la muestra I-11 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha. 10 aumentos.

Fuente: El autor.

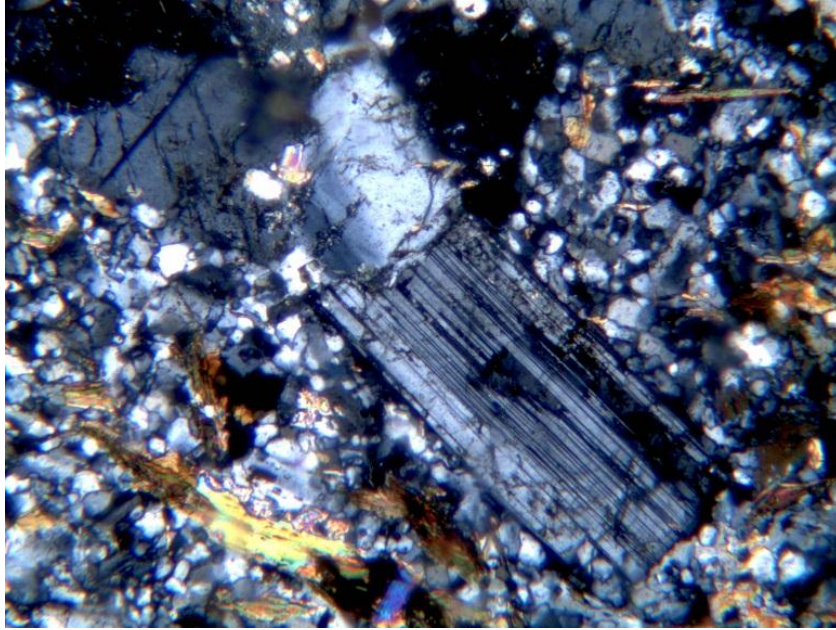
#### **6.1.2.4. Intrusivo Eucaliptos.**

Aflora 2 veces en la vía nueva de hormigón armado que conecta la subestación con el Parque Eólico Villonaco y en las quebradas Trigal y Limplacocha en la hacienda Villonaco de los Hermanos Maristas. Se tomaron dos muestras para lámina delgada de esta intrusión. La roca es generalmente de color lila, textura porfírica y con fenocristales de plagioclasa. Son raros los afloramientos que muestran roca sana.

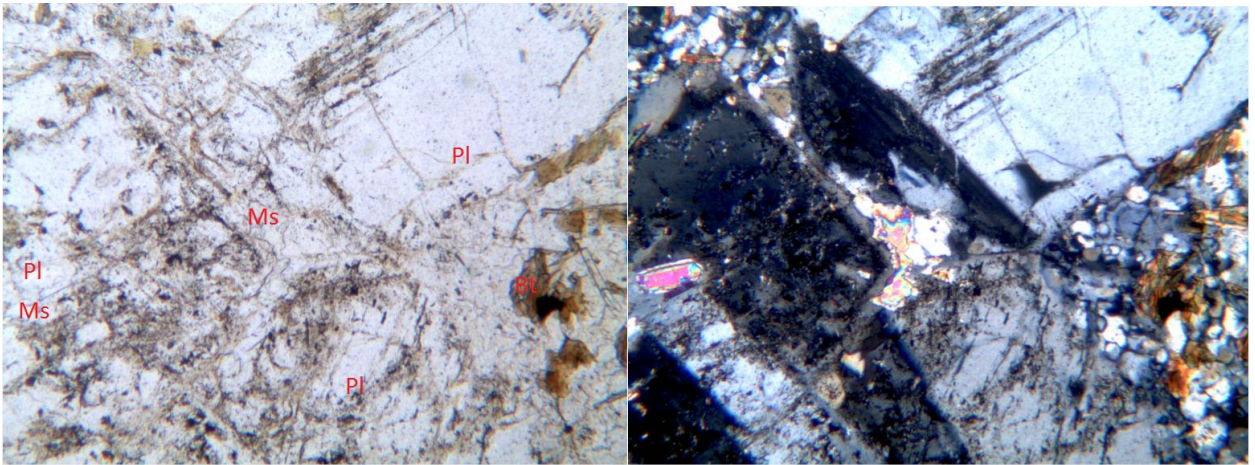


Fotografía 45. Contacto entre el intrusivo Eucaliptos y esquistos grafiticos en el Punto 154.  
Fuente: El autor.

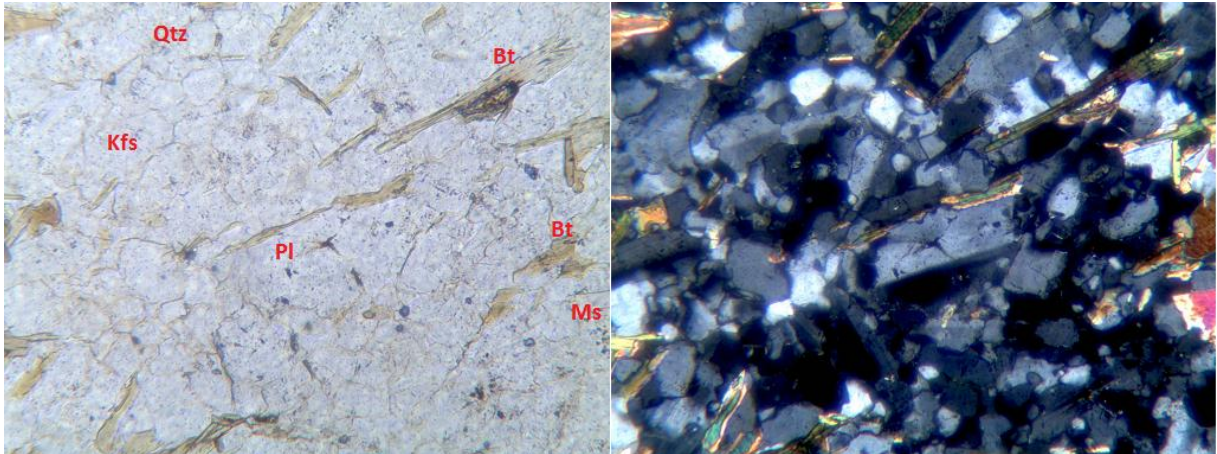
La muestra I- 17 se tomó del afloramiento en el Punto 154. Esta roca tiene textura porfirítica-fanerítica (ver fotografías 46 y 47) con fenocristales de plagioclasa y matriz aplítica; pero se pueden distinguir los minerales ya que no es criptocrystalina, y conforma el 57% del volumen de la misma, en su mayor parte está formada por cuarzo y además hay feldespato de potasio y plagioclasa (ver fotografía 48). Existe alineación de las micas en la roca; lo cual implica que hubo compresión durante el enfriamiento o emplazamiento del magma. Los minerales en la roca se distribuyen de la manera siguiente: plagioclasa en un 21%, cuarzo 43%, feldespato de potasio 10%, biotita 12%, moscovita 2% y minerales opacos y accesorios el 2% restante. La roca es una granodiorita.



Fotografía 46. Fenocristal de plagioclasa en la matriz fina de cuarzo y feldespato de potasio de la muestra I-17 en LPA, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.

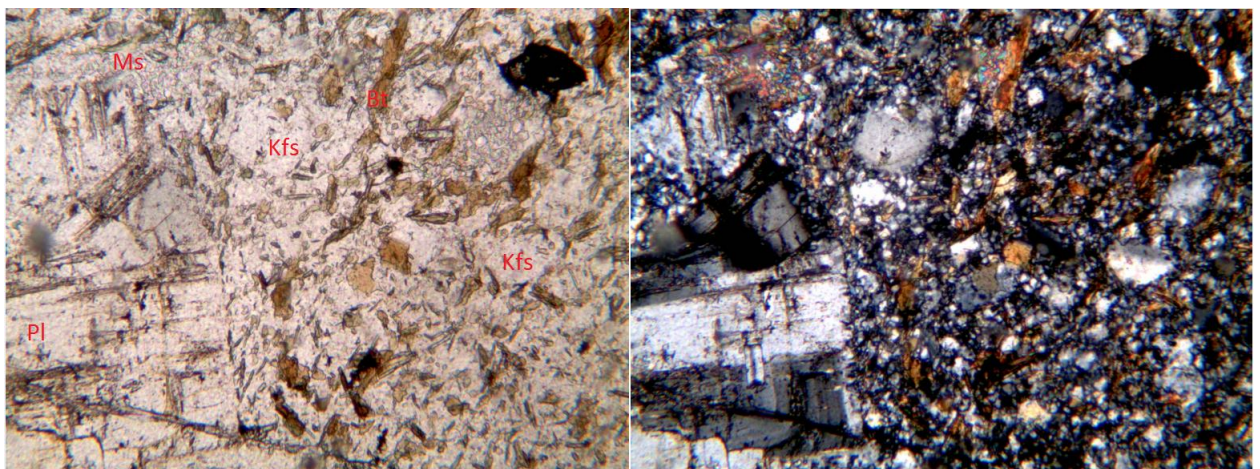


Fotografía 47. Lámina delgada de la muestra I- 17 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.

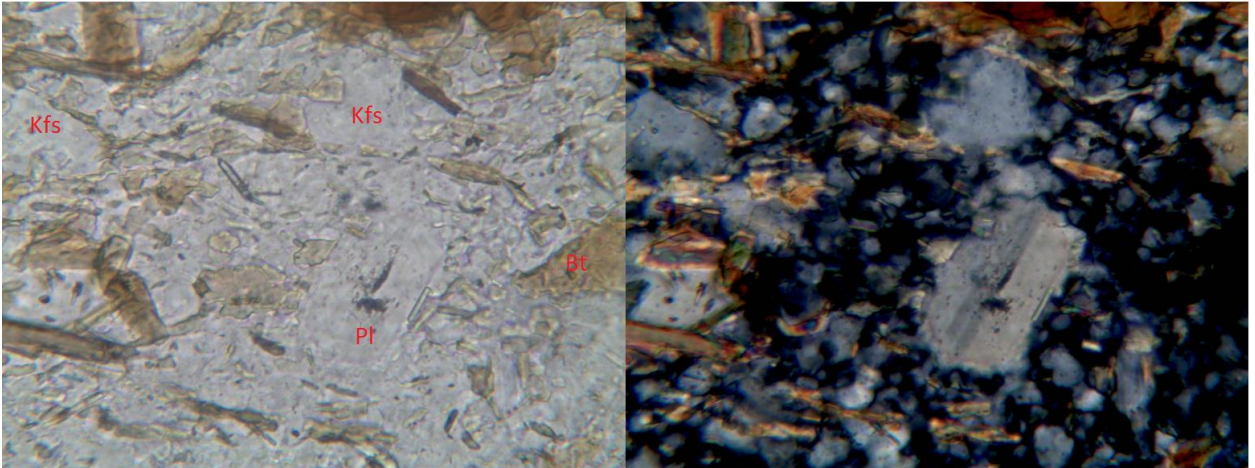


Fotografía 48. Matriz aplítica de la muestra I- 17 en lámina delgada, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 20 aumentos.  
Fuente: El autor.

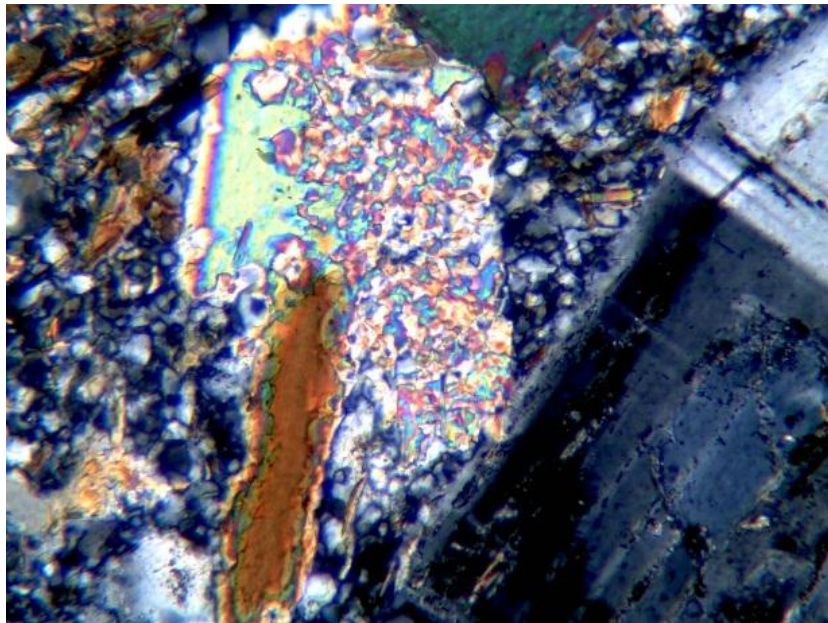
La muestra I- 19 fue tomada de un bloque anguloso de roca sana que fue caído de un afloramiento de roca ígnea en el Punto 170, quebrada Trigal- Hacienda Villonaco de los Hermanos Maristas. . La intrusión de donde proviene esta muestra es la continuación del dique de donde se tomó la muestra I- 17, en un afloramiento adyacente existe meteorización esferoidal. La lámina delgada de la roca muestra textura porfírica (ver Fotografía 49 y 50)), con fenocristales de plagioclasa en una matriz aplítica de cuarzo, feldespato de potasio y plagioclasa. Los minerales en la roca se encuentran en la siguiente abundancia: plagioclasa 38%, cuarzo 29%, feldespato de potasio 10%, biotita 16%, moscovita 5% y finalmente los minerales opacos y accesorios el 2%. La moscovita se encuentra en un hábito extraño, con hojuelas grandes como si estuviera remplazando otros minerales (ver Fotografía 51). La biotita muestra una orientación preferencial de orientación, y al igual que en la muestra I-17, esto implica compresión durante el emplazamiento de la roca. La roca es una granodiorita.



Fotografía 49. Textura en la lámina delgada de la muestra I- 19 en LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 5 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 50. Matriz aplítica de la muestra I-19 en lámina delgada, LPNA a la izquierda y LPA a la derecha, 20 aumentos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 51. Fenocristal de moscovita en la lámina delgada de la muestra I-19, LPNA, 10 aumentos.  
Fuente: El autor.

#### **6.1.2.5. Resumen del análisis de todas las muestras.**

Las muestras de las intrusiones ígneas principales han sido analizadas petrográficamente para obtener los minerales y su abundancia en el volumen total de la roca en forma de porcentaje. Atendiendo al diagrama de Streckeisen (elaborado con el software WinRock

versión 8.8) y siguiendo la clasificación de la IUGS<sup>1</sup> (Le Maitre; 2002) tenemos los siguientes resultados:

- La muestra I- 2 A es una diorita de Hbl-Opx.
- La muestra I- 2 B es una diorita de Opx-Hbl.
- La muestra I- 6 es una cuarzo-monzodiorita de Hbl-Opx.
- La muestra I- 8 es un sienogranito de Ldp-Ms-Bt.
- La muestra I- 11 es un monzogranito de Ms-Bt.
- La muestra I- 17 es una granodiorita de Ms-Bt.
- La muestra I- 19 es una granodiorita de Ms-Bt.

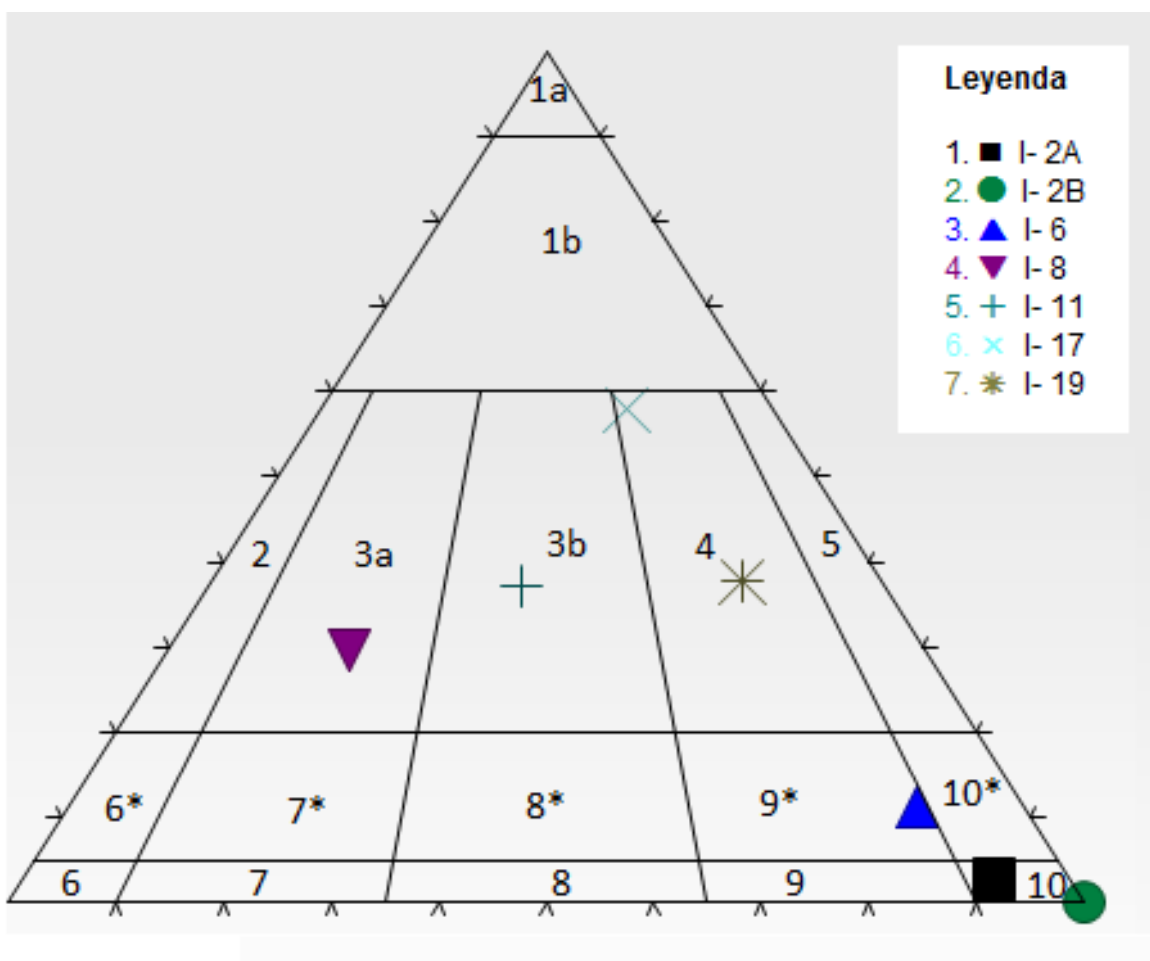


Ilustración 14. Diagrama de Streckeisen (1976) para las principales intrusiones ígneas.  
Fuente: El autor.

<sup>1</sup> Le Maitre recomienda que en una roca ígnea, después de su nombre, se indique primero el mineral con menor abundancia y luego el mineral que le siga. Por ejemplo, si existe un granito con 15% de moscovita y 5% de biotita, entonces se le debe de llamar granito de Bt-Ms. Es al revés en las rocas metamórficas.

## 6.2. Interpretación geoquímica por medio de diagramas.

### 6.2.1. Diagramas para las rocas metamórficas.

Debido a que las unidades litológico formacionales metamórficas son complejas, se ha procedido a clasificar en tres grandes grupos a estas rocas, desde las más antiguas a las más jóvenes:

- Metabasitas.
- Esquistos Pelíticos y Cuarzo Pelíticos.
- El primer grupo más joven se lo caracteriza por su gran contenido de grafito en la roca. Debido a que el grafito no se puede leer con la técnica de FRX no se discriminaron estas rocas por este método; sino más bien solo con la mineralogía.

Para comparar y diferencias de las formaciones a y b, además de la mineralogía se realizaron diagramas del tipo *Harcker* (ver ilustraciones 15, 16, 17, 18 y 19) , es decir un componente o la suma de varios componentes en X en función de otro o la suma de otros en Y, con el software PetroGraph, versión 2 Beta (Petrelli et al. 2007) . Salvo que se indique otra cosa, los componentes están dados en porcentaje de peso. Las muestras que no pertenecen a ninguno de los dos grupos se han encerrado en un círculo.

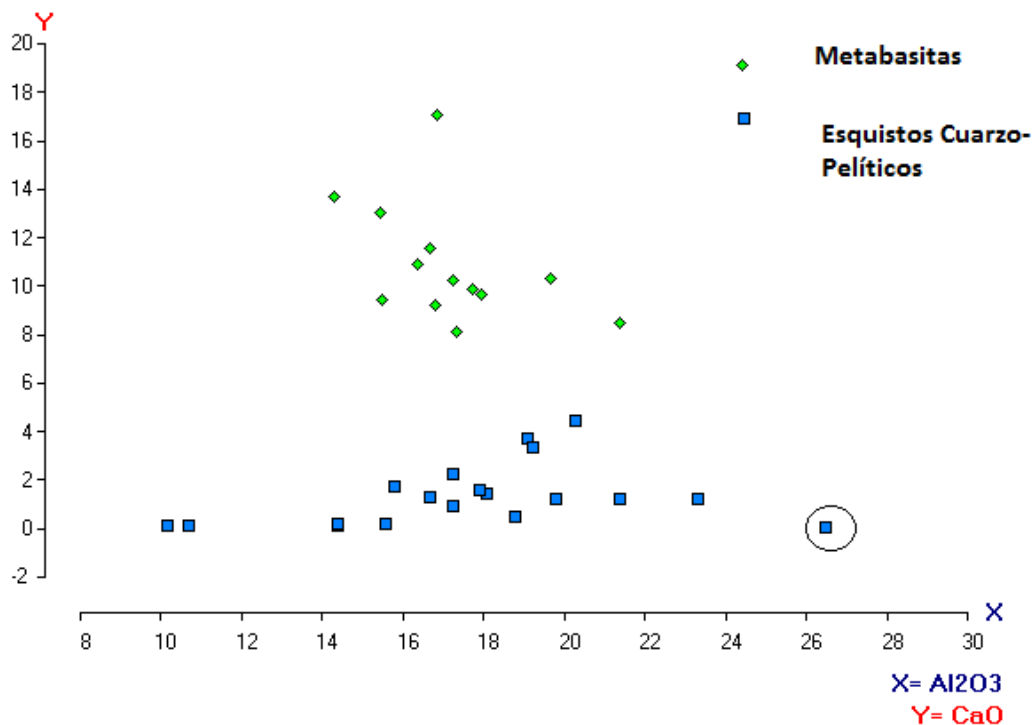


Ilustración 15.  $Al_2O_3$  en función del de  $SiO_2$ .  
Fuente: El autor.

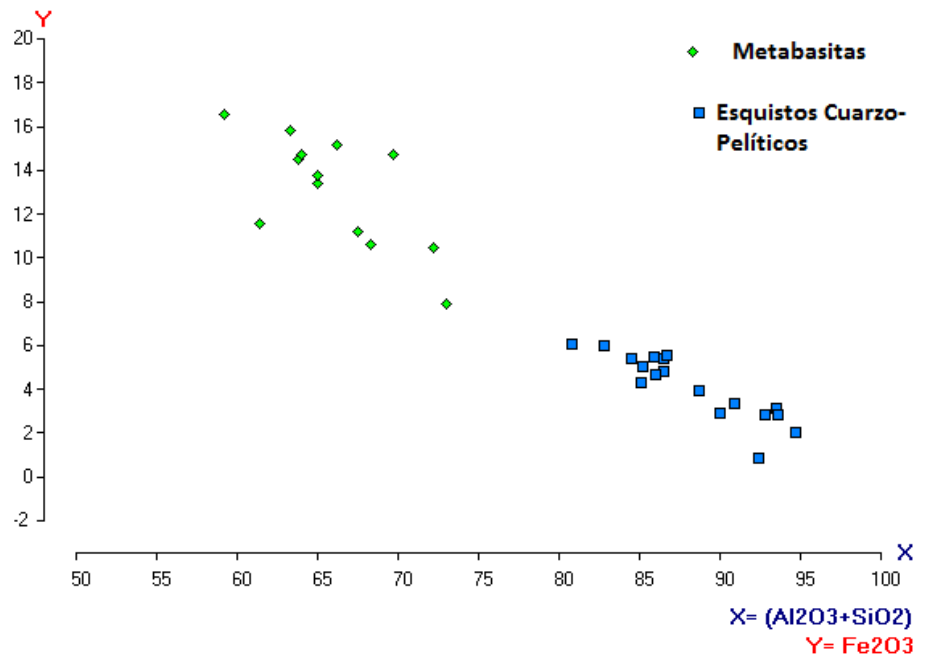


Ilustración 16. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + SiO<sub>2</sub> en función del de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total.  
Fuente: El autor.

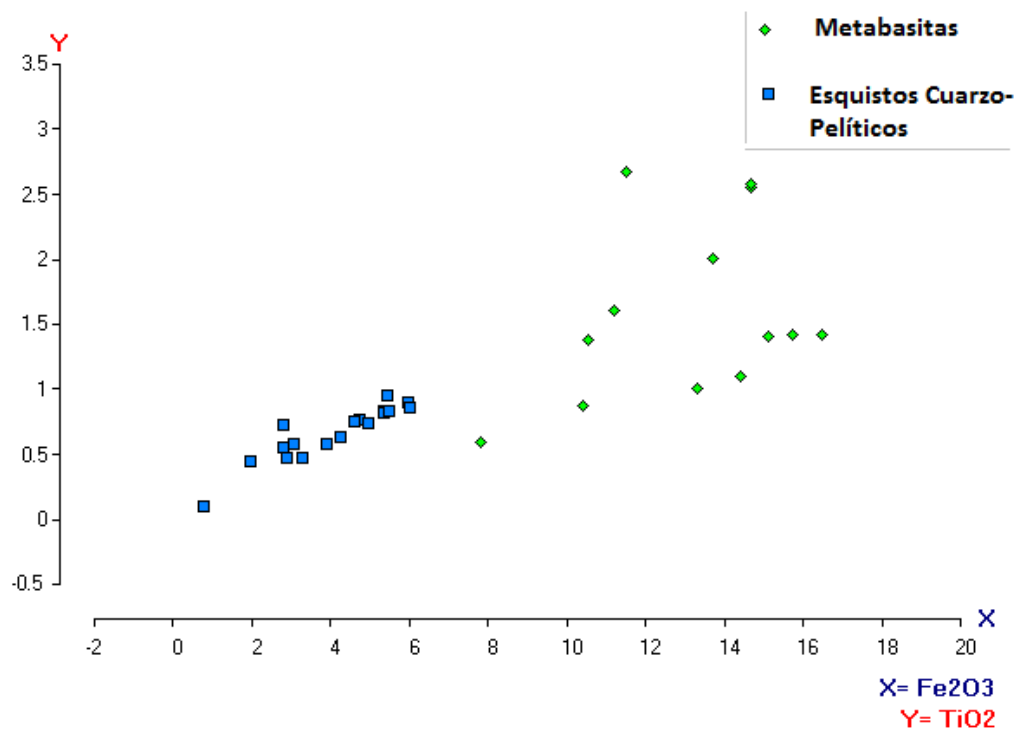


Ilustración 17. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total en función del de TiO<sub>2</sub> para metabasitas y esquistos cuarzo-pelíticos.  
Fuente: El autor.

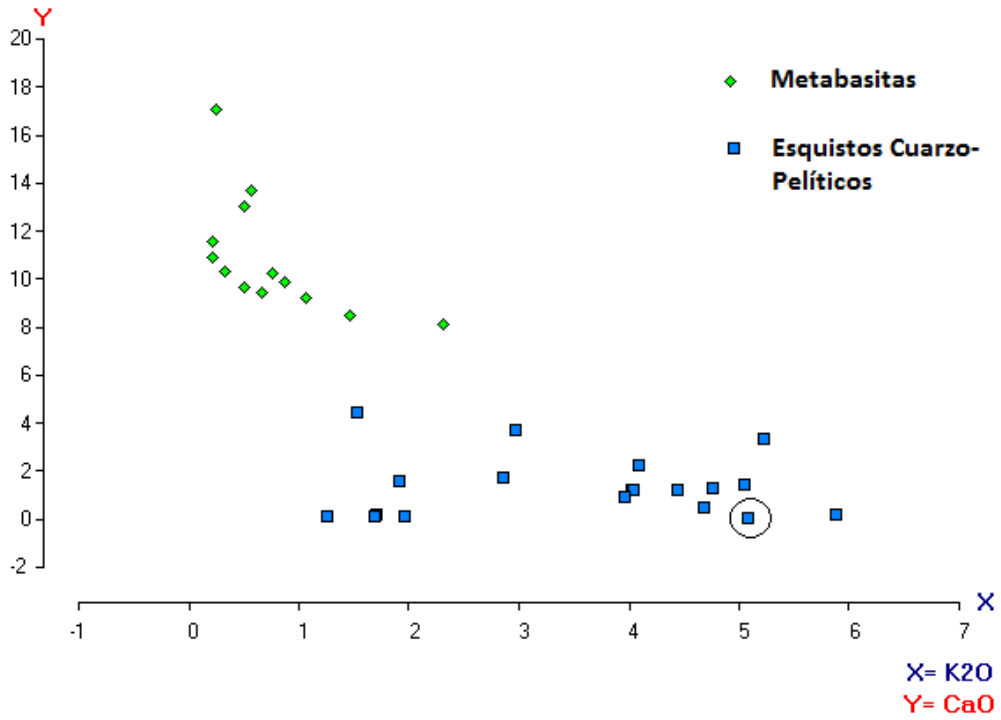


Ilustración 18. K<sub>2</sub>O en función del de CaO.  
Fuente: El autor.

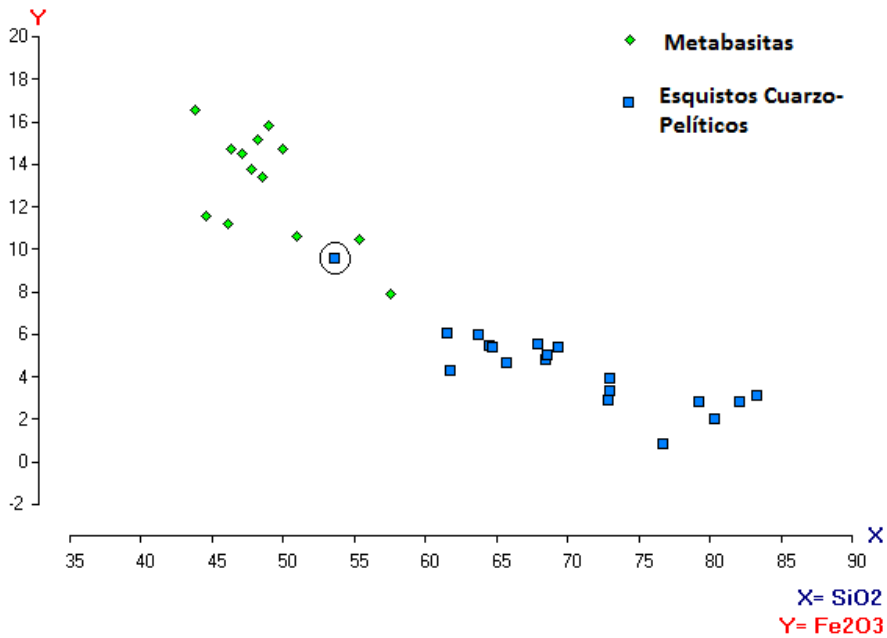


Ilustración 19. SiO<sub>2</sub> en función del de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.  
Fuente: El autor.

La información que nos brinda el equipo de FRX Brucker Turbo S-1 tiene tres grandes limitantes:

- No lee el óxido de sodio, que es un principal componente de las rocas.
- Tiene un alto error en las lecturas del MgO, entre el 4% al 4,5%.
- No discrimina entre el óxido ferroso FeO y el óxido férrico Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sino más bien da un porcentaje total de la suma de los dos (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total) la que es el valor que se muestra en las tablas de los anexos y la que ha sido utilizada en todos los diagramas mostrados en este documento.

Por esta razón es que no se utilizó diagramas de discriminación de minerales para las metabasitas ya que los mejores diagramas de discriminación de minerales en metabasitas, como el diagrama ACM, incluyen combinaciones de: alúmina, sosa, óxidos férrico y ferroso, cal y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en un solo diagrama para eliminar el mayor número de errores al inferir la mineralogía.

Sin embargo se utilizaron los dos diagramas siguientes para tener una noción del protolito de las metabasitas, el diagrama de Le Bas que se muestra en la Ilustración 20 fue elaborado con el software PetroGraph y el de Winchester Floyd con la plantilla de EXCEL desarrollada por Kurt Hollocher (ver Ilustración 21).

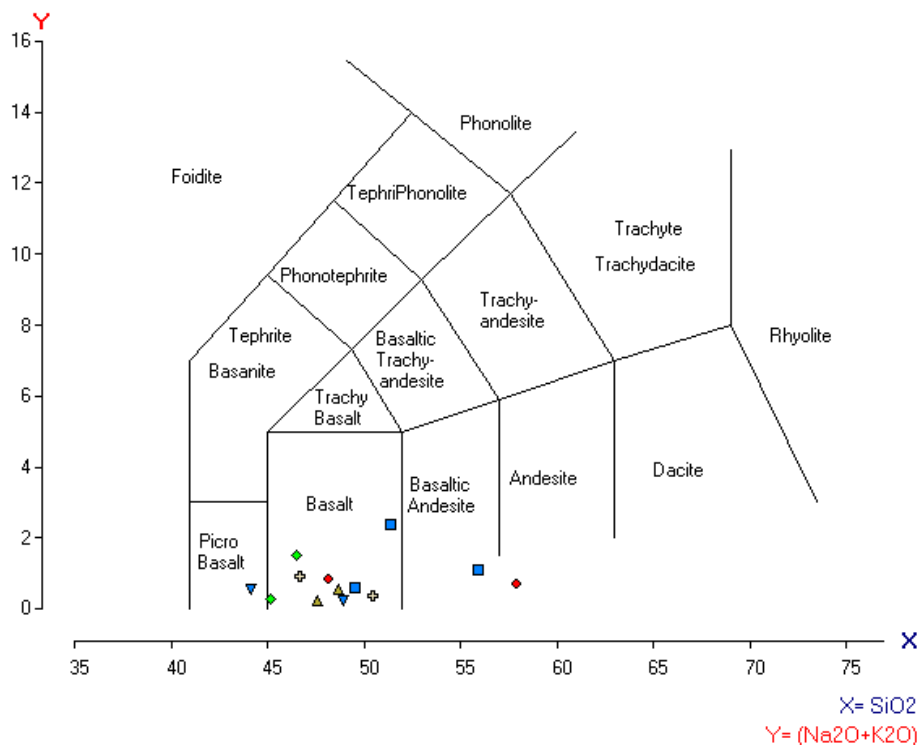


Ilustración 20. Muestras de metabasitas dibujadas en el Diagrama de Le Bas (1986) con PetroGraph.  
Fuente: El autor.

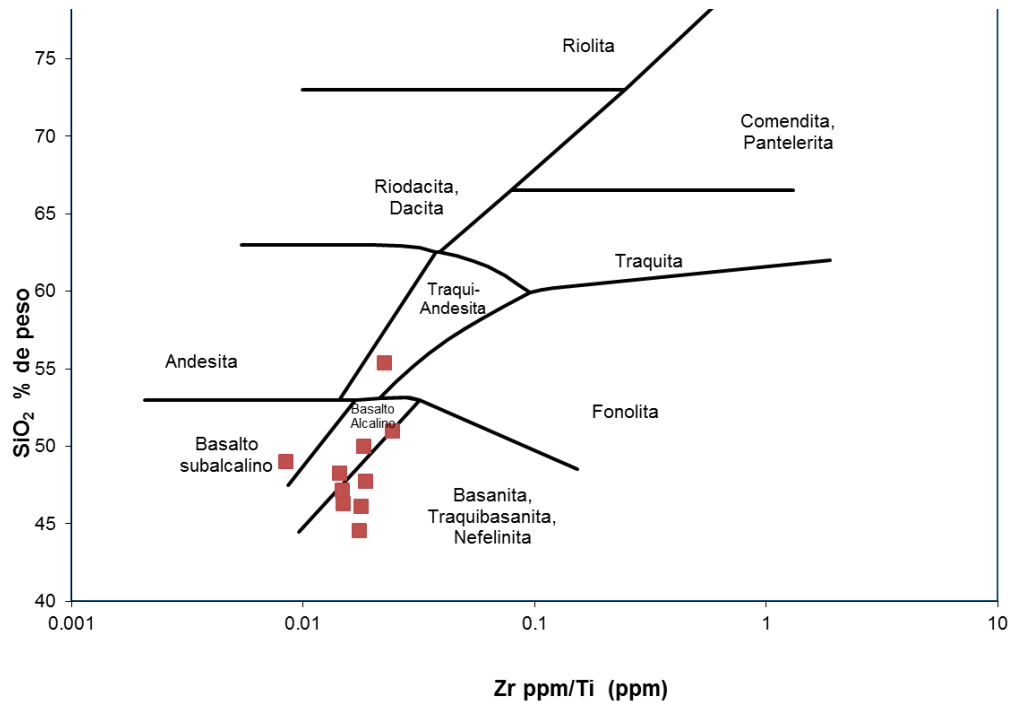


Ilustración 21. Muestras de las metabasitas en el diagrama de Winchester Floyd (1977).  
Fuente: El autor.

Para las rocas Cuarzo- Pelíticas se usó el diagrama AFM de Thompson recomendado por Best (2003) para las rocas pelíticas metamorfoseadas. Este diagrama consiste en una proyección de un tetraedro con el sistema KAFM cuyos vértices son potasa, alúmina, óxido ferroso y óxido de magnesio. Estos diagramas sirvieron para inferir la mineralogía y solo se aceptaron porque la mineralogía bajo lupa estereoscópico y lámina delgada coincidía con la mayoría de estos diagramas a pesar de que se utilizó el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total en vez del  $\text{FeO}$ . El diagrama fue tomado de Nelson (2011) por estar acorde al grado de metamorfismo de la mayoría de las muestras de los esquistos. Estos se muestran escaneados en las imágenes a que se muestran continuación (ver ilustraciones 22, 23, 24 y 25). El último de estos diagramas (ilustración 26) se diseñó para los gneis y corneanas y fue proyectado desde el feldespato de potasio en vez de la moscovita.

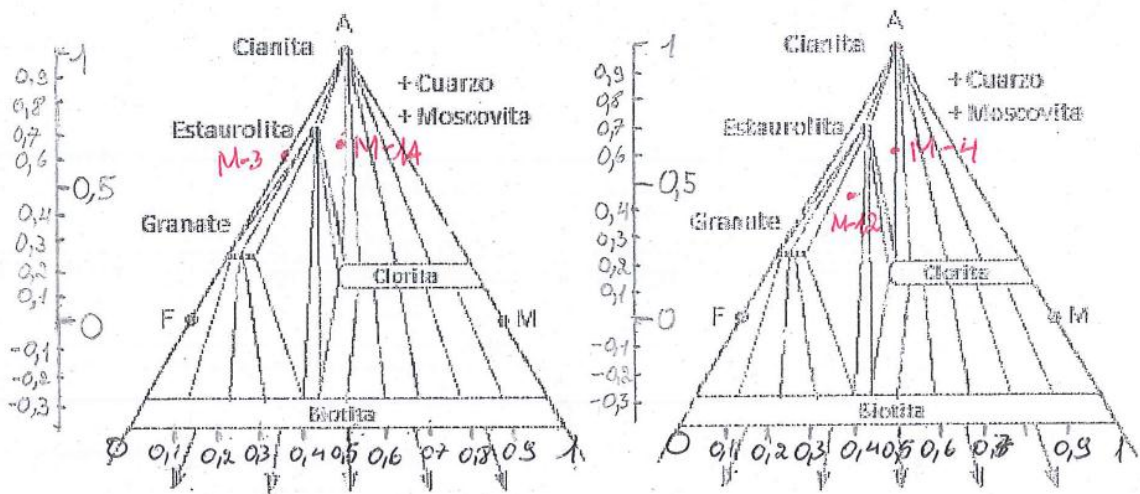


Ilustración 22. Muestras M- 3, M-1 A, M- 4 y M- 12 en la proyección AFM de Thompson.  
Fuente: El autor.

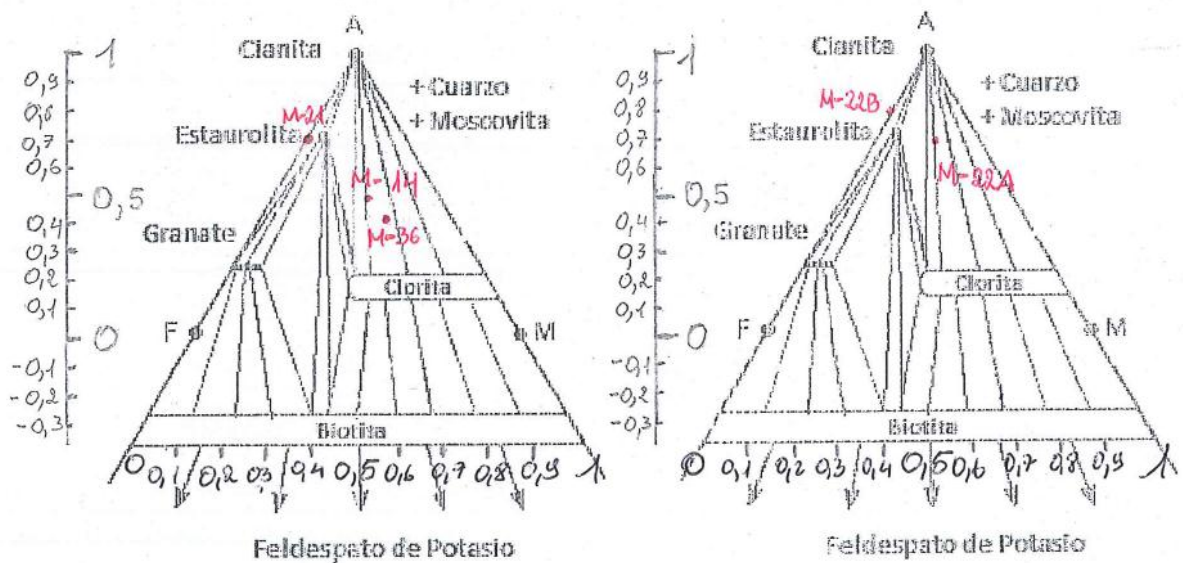


Diagrama 1. AFM de Thompson para las muestras M- 14, M 21, M- 36, M- 22 A y M- 22 B.

Ilustración 23. Muestras M- 3, M-1 A, M- 4 y M- 12 en la proyección AFM de Thompson.  
Fuente: El autor.

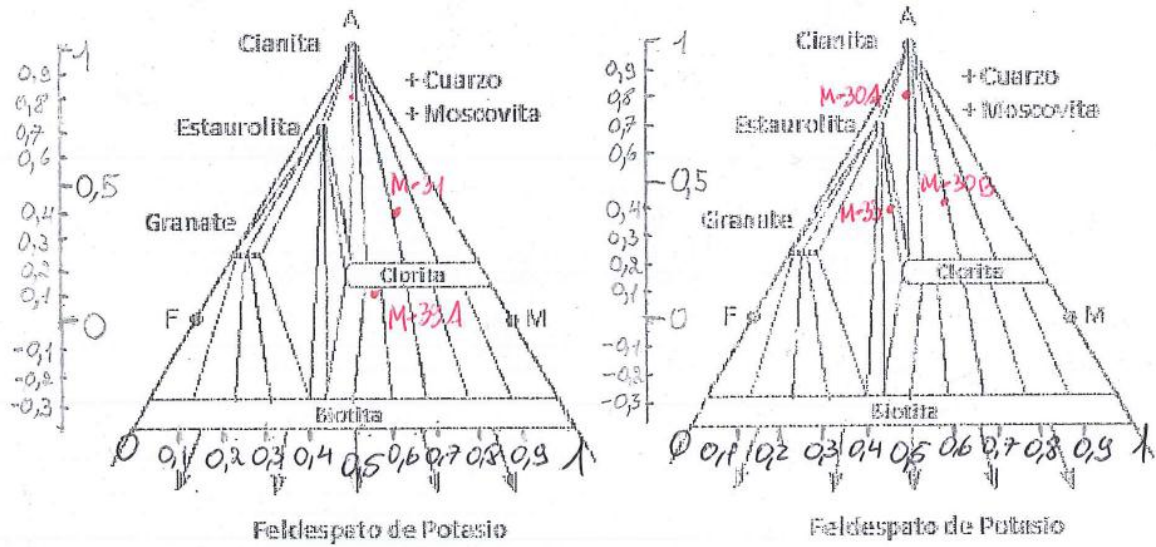


Ilustración 24. Muestras M- 31, M- 30 A, M- 30 B, M- 33 y M- 39 A en la proyección AFM de Thompson.  
Fuente: El autor.

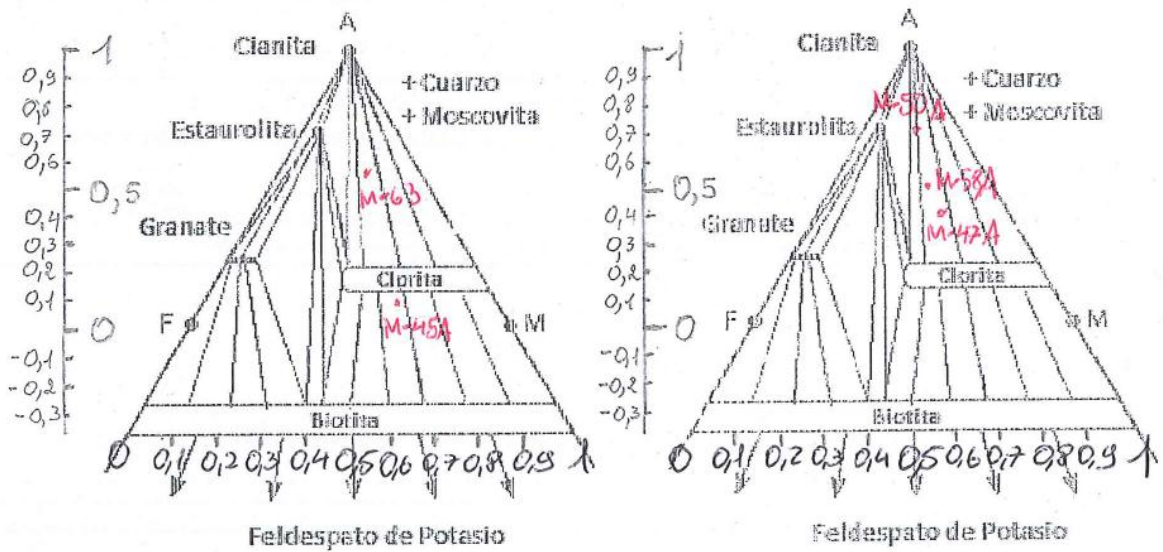


Ilustración 25. Muestras M- 45 A, M- 63, M- 47 A, M- 50 A y M- 58 A en la proyección AFM de Thompson.  
Fuente: Elaborado por el autor con el diagrama de Nelson (2011).

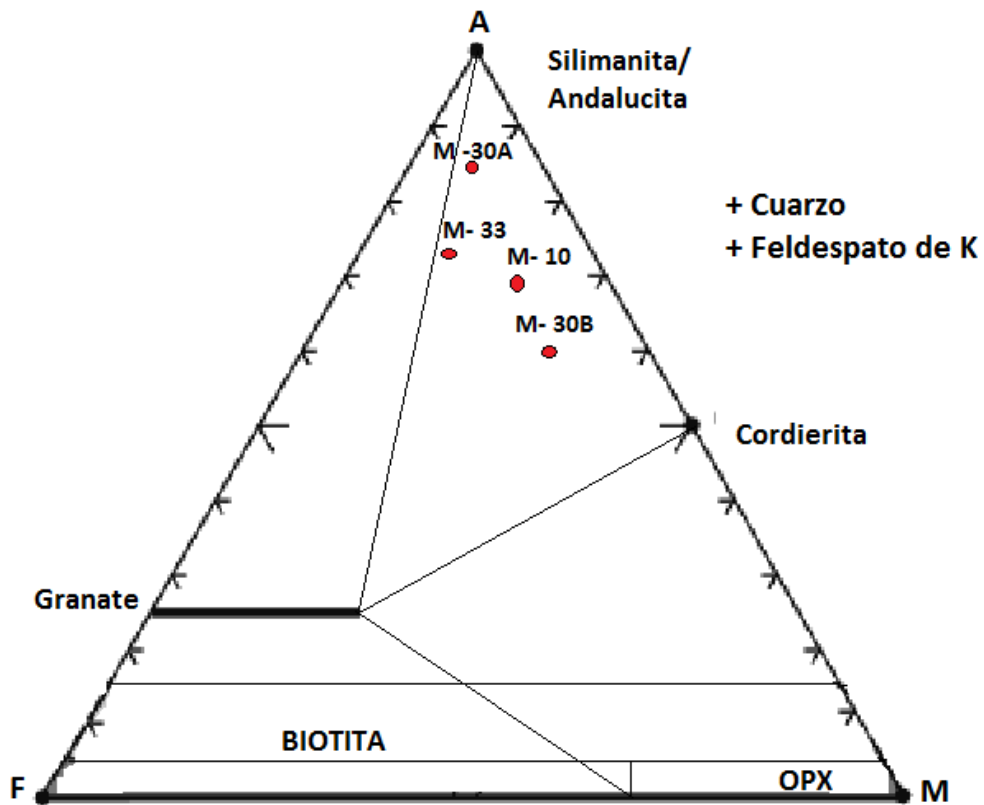


Ilustración 26. Metapelitas de alto grado de metamorfismo con el Diagrama AFM de Thompson.  
Fuente: El autor.

### 6.2.2. Diagramas para las rocas ígneas.

Estos diagramas fueron utilizados para dar una clasificación de la roca ígnea y también para describir el ambiente tectónico en el que estas fueron emplazadas. Se aplicaron de manera diferente para los diques cuya información proviene del equipo de FRX Brucker S-1 Turbo de la UTPL (que carece de sodio) y para las intrusiones grandes que en cambio fueron analizados en los laboratorios ACME.

Los diagramas se realizaron con el software PetroGraph, versión 2 Beta (Petrelli et al.; 2005) y otros con una plantilla de Microsoft Excel desarrollada por Kurt Hollocher de la universidad Union College de Nueva York.

### 6.2.2.1. Diques e intrusiones pequeñas.

Se utilizaron los diagramas de Le Bass (1986) y de Winchester Floyd 1976, mostrados en las ilustraciones 27 y 28 respectivamente, con el objetivo de tener una idea del tipo de magma que compone estos diques. También se incluyeron las muestras de las vulcanitas encontradas en el barrio Los Eucaliptos (muestras I-18 A, I- 18 B e I- 18 C).

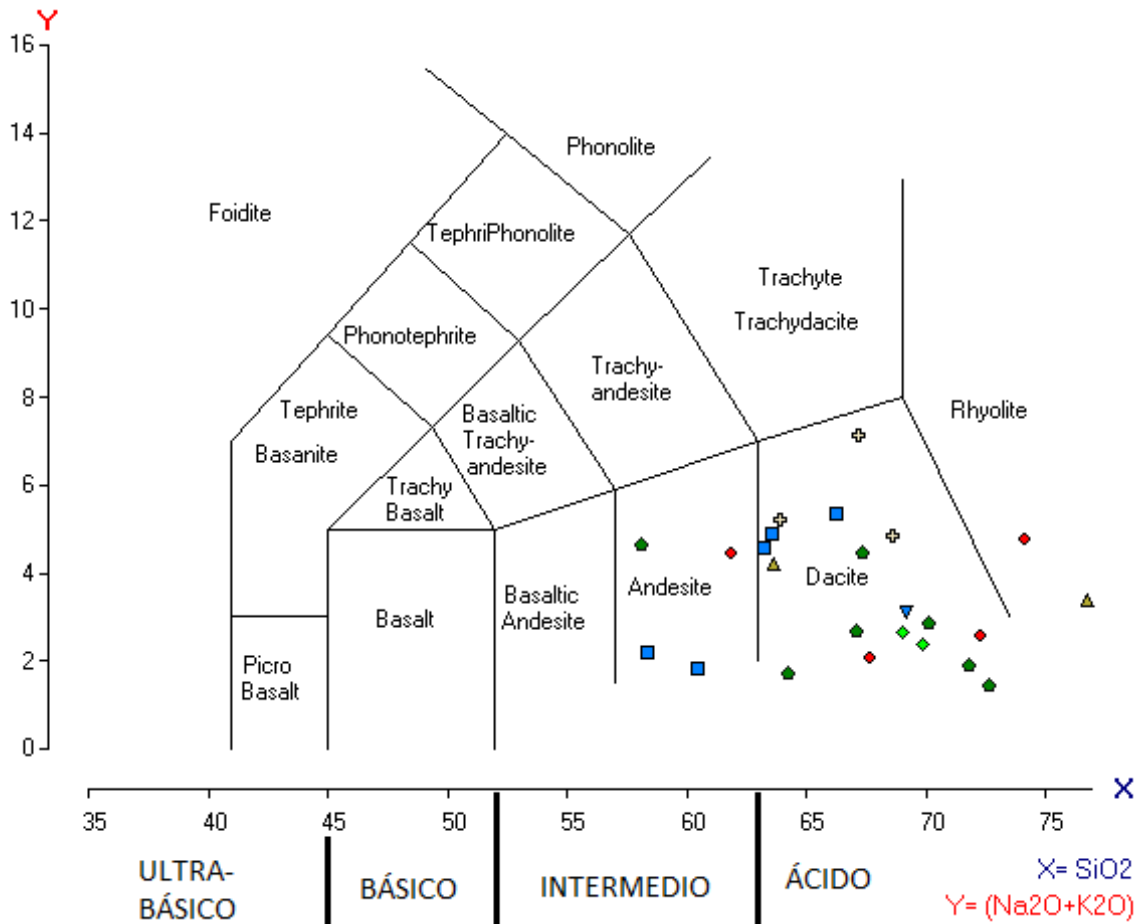


Ilustración 27. Muestras de los diques de rocas ígneas en el diagrama de Le Bas et al (1986). Fuente: El autor.

Para el diagrama de Le Bas (Ilustración 27) considérese que no se tomó en cuenta el  $\text{Na}_2\text{O}$  pero si nos sirve para darnos cuenta qué tipo de magma tienen las muestras. Las cuatro muestras de composición intermedia son: I- 15, I- 8 B, I-14 y M- 13 mientras que el resto son de composición ácida. A continuación se van a usar un diagrama de Winchester- Floyd (1977), que fue elaborado con la plantilla de EXCEL desarrollada por Kurt Hollocher (ver ilustración 28). Luego en la Tabla 4 se indican los campos que le corresponden a cada muestra en ambos diagramas.

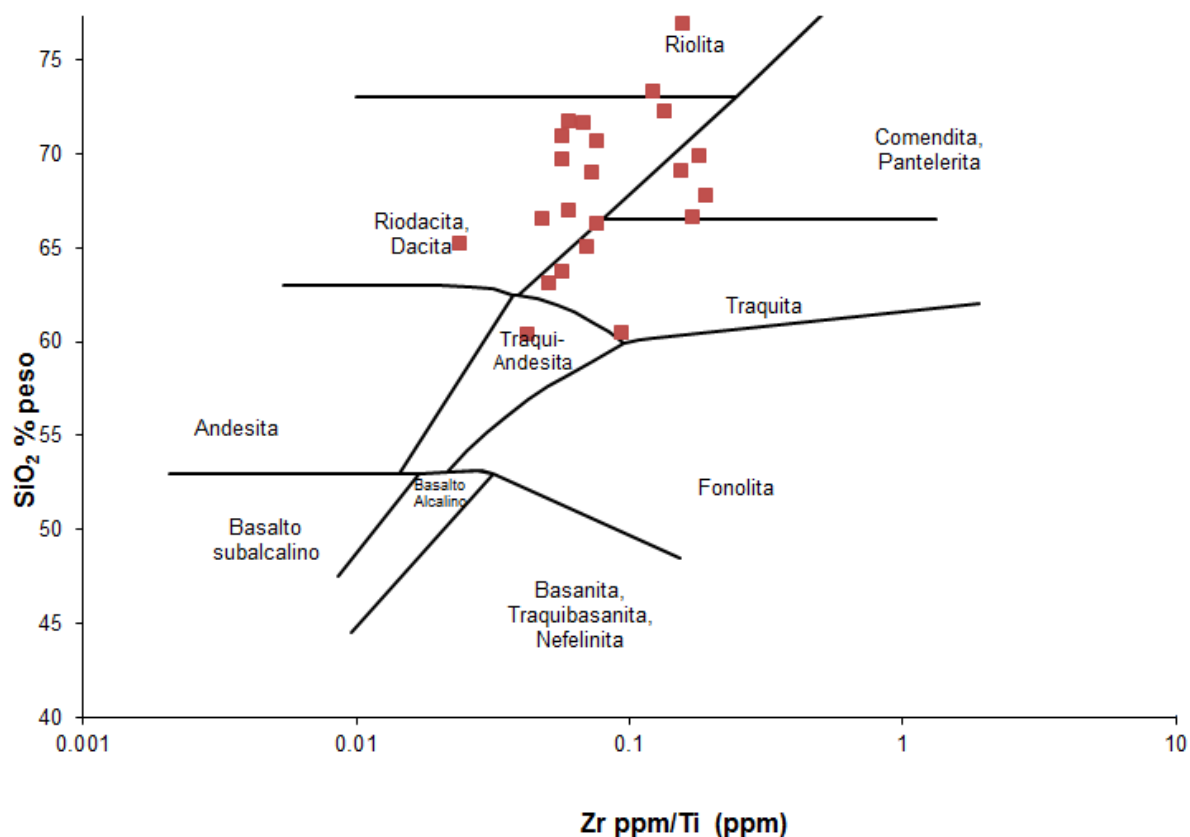


Ilustración 28. Zr/Ti en función de SiO<sub>2</sub> de Winchester Floyd (1977) para los diques de roca ígnea y otras intrusiones.  
Fuente: El autor.

Tabla 4. Resumen de los diagramas Le Bass (1986) y Winchester Floyd (1977) para los diques.

Muestra	K <sub>2</sub> O	Zr/Ti	SiO <sub>2</sub>	Le Bass et al. (1986)	Winchester Floyd (1977)	Tipo de roca
M- 13	1.89	0.051311	63.05	Andesita	Traquita	Dique de afanítico
V- 12	5.33	0.076664	66.25	Dacita	Riodacita	Veta de feldespato
I- 1	4.86	0.057689	63.7	Dacita	Traquita	Intrusion de ílítica- caolinítica
I- 3A	2.77	0.07341	68.95	Dacita	Riodacita	Dique porfírico
I- 3B	4.5	0.19238	67.7	Dacita	Comendita	Dique de caolín + otras arcillas
I- 5	4.82	0.060795	66.95	Dacita	Riodacita	Dique afanítico
I- 7	2.11	0.057544	69.65	Dacita	Riodacita	Dique porfírico de 13,5m. Granodiorita.
I- 8B	4.63	0.024285	65.15	Andesita	Riodacita	Intrusión de granito
I- 9A	2.52	-	72.5	Dacita	-	Intrusión de granito
I- 9B	4.76	-	74.3	Riolita	-	Intrusión de granito
I- 10	2.43	0.068618	71.55	Dacita	Riodacita	Dique porfírico
I- 12	2.71	0.076416	70.65	Dacita	Riodacita	Dique porfírico de 19m de potencia. Granodiorita.
I- 13A	1.43	0.123489	73.25	Dacita	Riolita	Dique afanítico
I-13B	1.92	0.135044	72.2	Dacita	Riodacita	Dique afanítico
I- 14	2.25	0.04257	60.3	Andesita	Traquiandesita	Dique afanítico
I- 15	4.83	0.094591	60.45	Andesita	Traquita	Dique porfírico
I- 16	1.78	0.048831	66.5	Dacita	Riodacita	Dique porfírico
I- 18A	7.32	0.156076	69	Dacita	Comendita	Volcanita
I- 18B	4.92	0.182006	69.8	Dacita	Comendita	Volcanita
I- 18C	5.38	0.172577	66.55	Dacita	Comendita	Piroclastos volcánicos
I- 20	2.92	0.06087	71.65	Dacita	Riodacita	Dique porfírico de 2,6m de potencia. Granodiorita.
I- 21	3.38	0.158741	76.85	Riolita	Riolita	Dique porfírico.
I- 22	4.28	0.070897	65	Dacita	Traquita	Dique porfírico.
I- 23	3.16	0.057074	70.85	Dacita	Riodacita	Dique afanítico

Fuente: El autor.

### 6.2.2.2. Diagramas para las principales intrusiones de roca ígnea.

Estos diagramas tienen gran confiabilidad por la procedencia de las muestras y la procedencia de los resultados de los análisis; pero desafortunadamente para la intrusión de Duraznillo se cuenta con una sola muestra (I- 8) de toda una intrusión de un considerable tamaño. Sin embargo, esta muestra fue tomada de un punto central de la roca y provee muy buena información.

Los diagramas mostrados en las ilustraciones 29 y 30 tienen sirven para caracterizar si el magma es alcalino o calco-alcalino. Los diagramas de las ilustraciones 31, 32, 33 y 34 son diagramas de clasificación de rocas. Finalmente los diagramas 35, 36 y 37 tienen la función de darnos a conocer el ambiente tectónico en donde se emplazaron estas rocas.

Todos estos diagramas que se presentan a continuación fueron elaborados con el software PetroGraph a excepción de los de Winchester-Floyd (1977), que aplican para rocas meteorizadas, los cuales fueron elaborados con la plantilla de EXCEL de Kurt Hollocher.

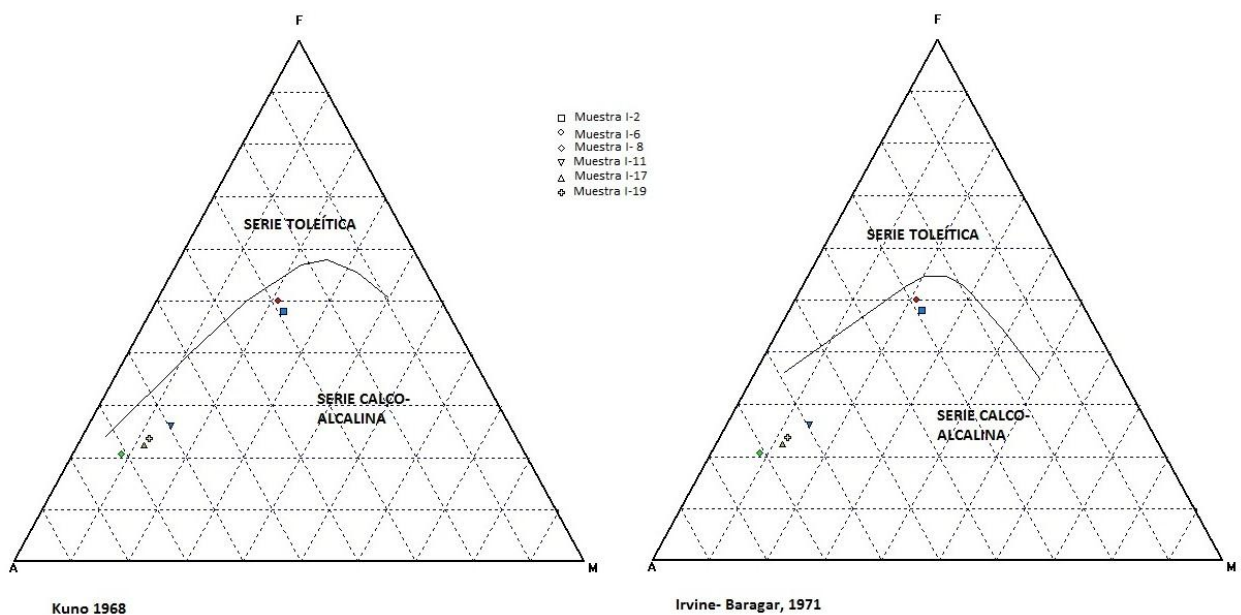


Ilustración 29. Diagramas AFM para principales intrusiones ígneas según Kuno (1968) e Irvine Baragar (1971).  
Fuente: El autor.

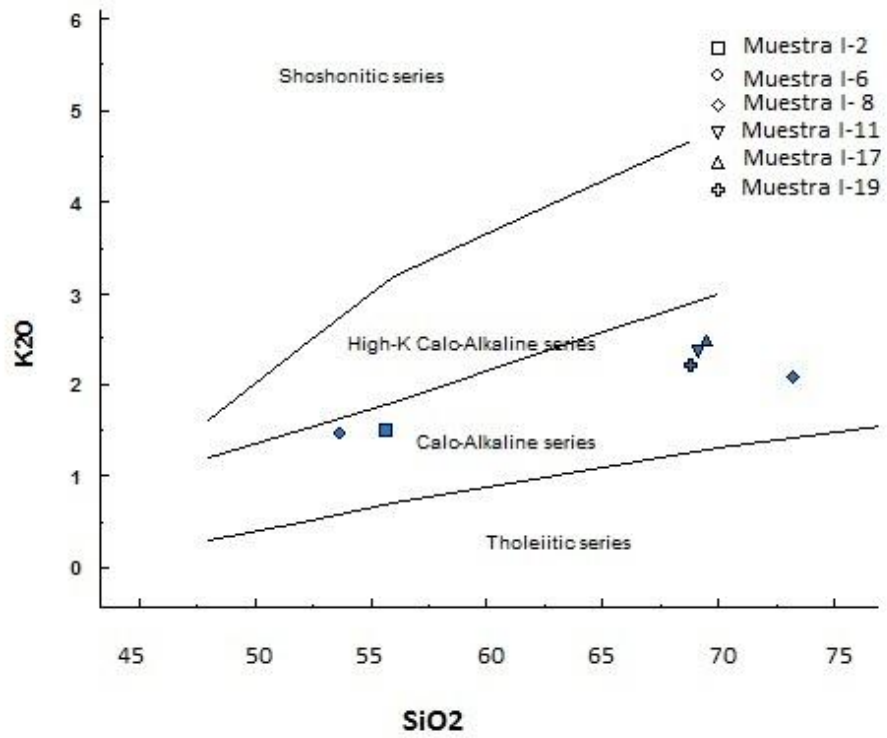


Ilustración 30. Diagramas de Peccerillo y Taylor (1976) para las principales intrusiones ígneas.  
Fuente: El autor.

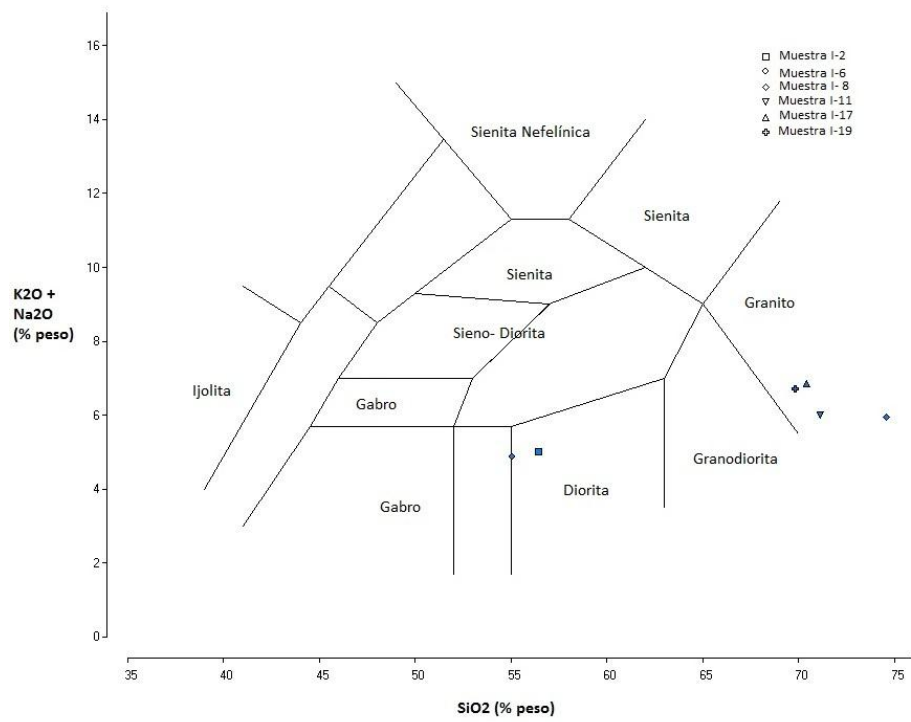


Ilustración 31. Diagrama de TAS de Cox-Bell-Prank (1979) para las principales intrusiones ígneas.  
Fuente: El autor.

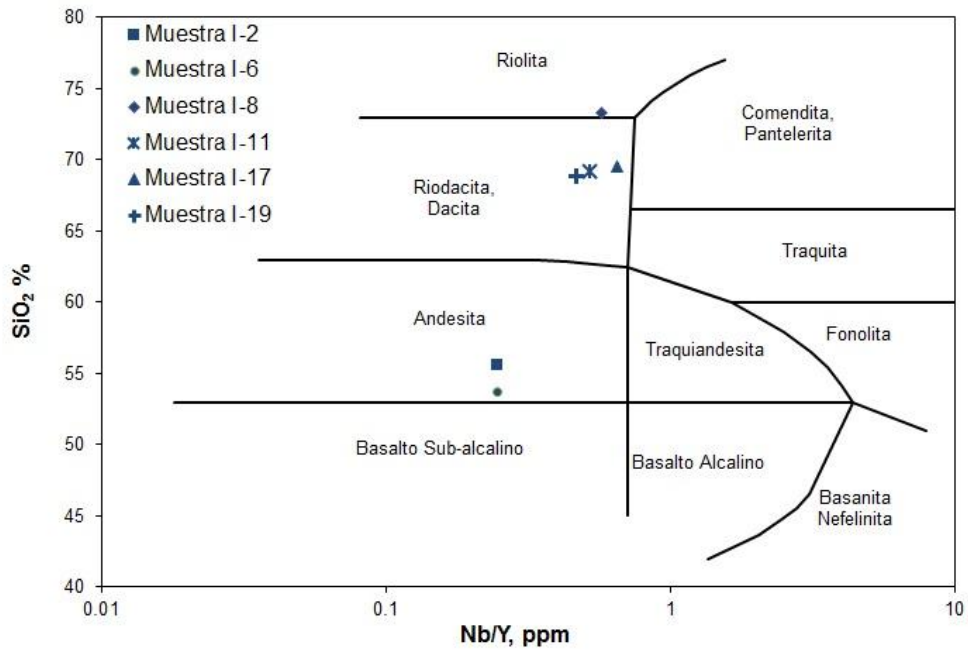


Ilustración 32. Diagrama de clasificación con elementos traza de Winchester-Floyd (1977) de Nb/Y vs  $\text{SiO}_2$ .  
Fuente: El autor.

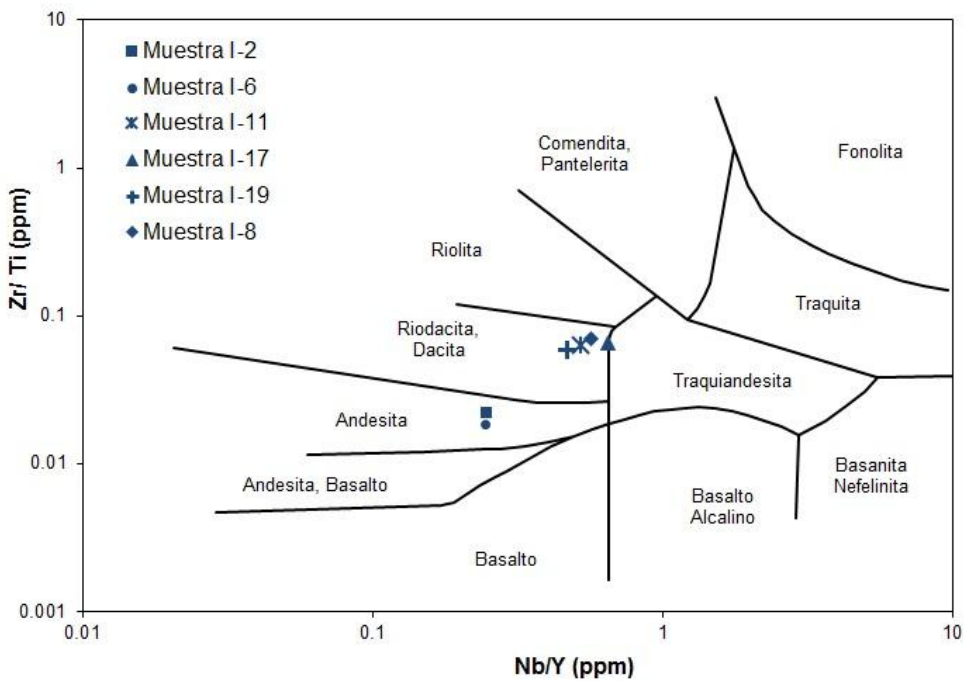


Ilustración 33. Diagrama de clasificación con elementos traza de Winchester-Floyd (1977) de Nb/Y vs Zr/Ti.  
Fuente: El autor.

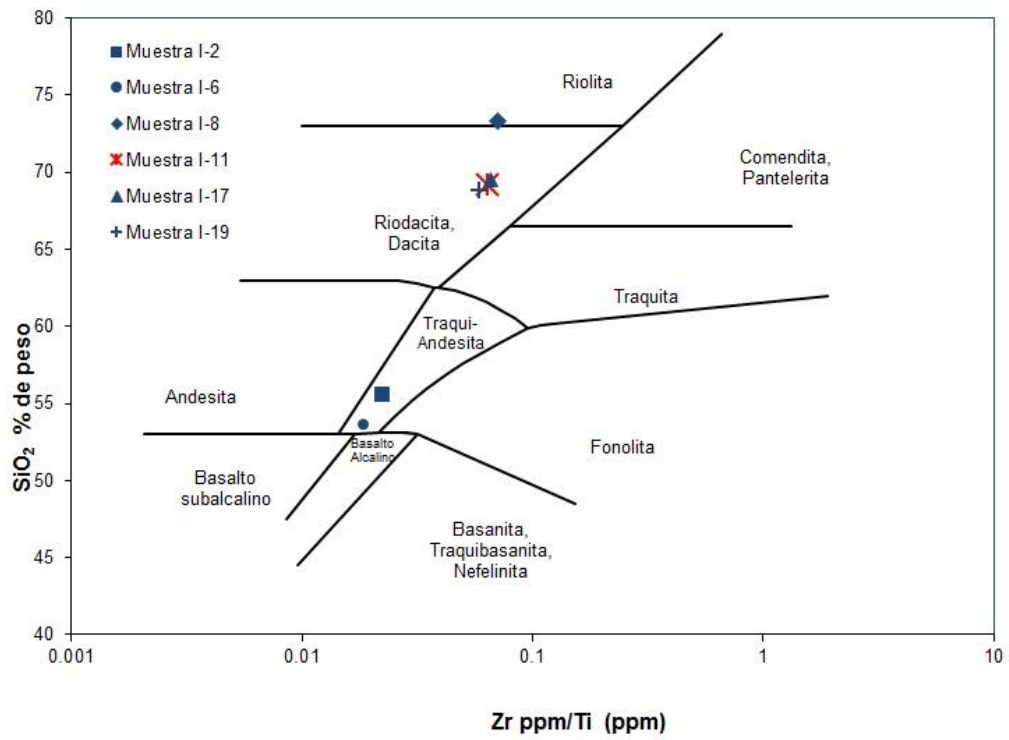


Ilustración 34. Diagrama de clasificación de Winchester-Floyd (1977) de  $\text{Zr/Ti}$  vs  $\text{SiO}_2$ . Fuente: El autor.

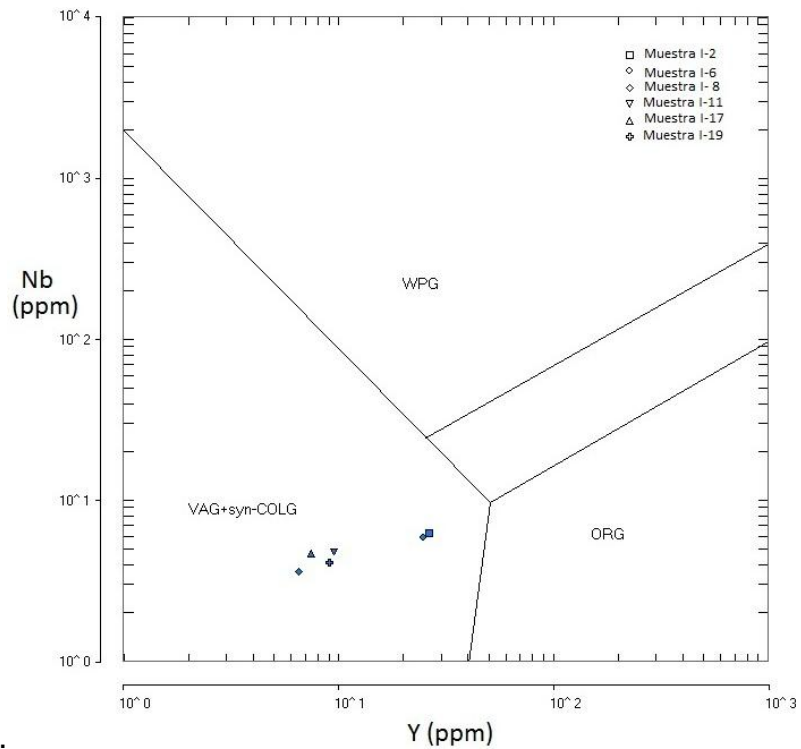


Ilustración 35. Diagrama de discriminación de ambiente tectónico de Pearce et al. (1984) usando  $\text{Y}$  vs  $\text{Nb}$ . Fuente: El autor.

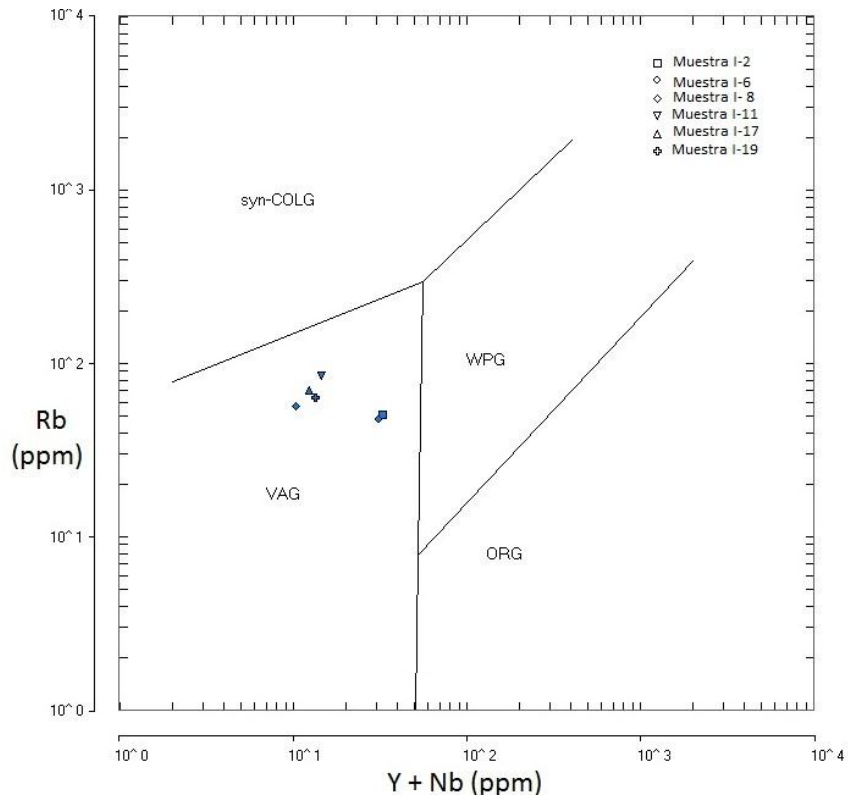


Ilustración 36. Diagrama de discriminación de ambiente tectónico de Pearce et al. (1984) usando Y+ Nb vs Rb.  
Fuente: El autor.

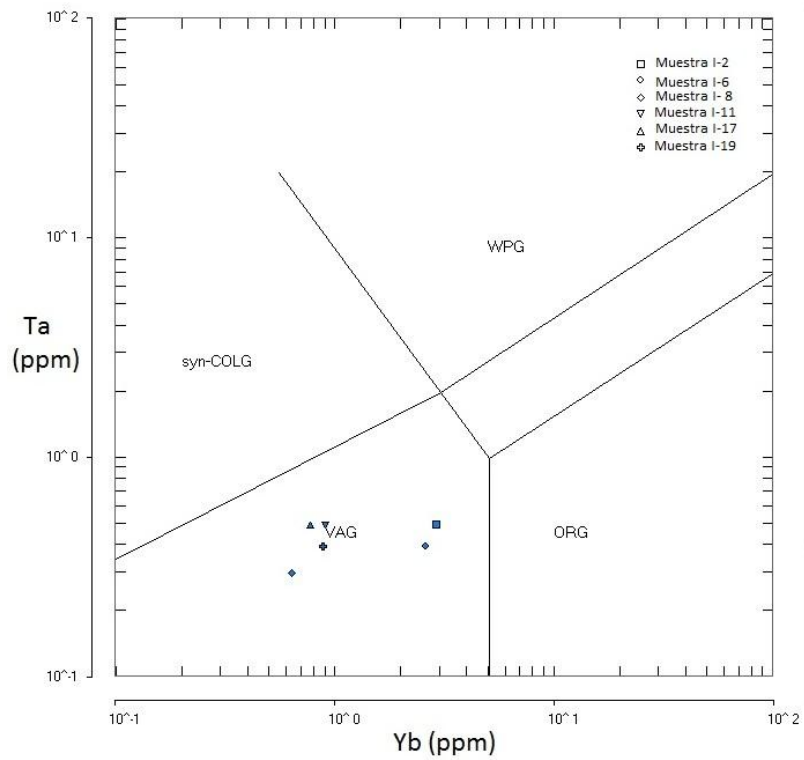


Ilustración 37. Diagrama de discriminación de ambiente tectónico de Pearce et al. (1984) usando Yb vs Ta.  
Fuente: El autor.

Chappel y White (2001) realizaron una fuerte investigación sobre los granitos tipo S y tipo I (refiriéndose con la palabra granitos a intrusiones plutónicas en general). Algunas de las características geoquímicas para diferenciar los granitos tipo S de los tipo I son las dos siguientes: Primero, los granitos tipo I máficos poseen  $\text{Na}_2\text{O} > 2.2$  y los granitos tipo I félsicos  $\text{Na}_2\text{O} > 3.2$ , ( $\text{Na}_2\text{O}$  en porcentaje de peso). Segundo, la relación, en fracciones molares, de  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$  es mayor que 1 en granitos tipo S y menor que 1 en granitos tipo I. En la Tabla 5 se resaltan con negrita todos los granitos que cumplen condiciones tipo I, es decir los de la intrusión Villonaco. El resto de muestras tienen características tanto de tipo S como de tipo I.

Esta información no es el único criterio para discriminar entre granitos tipo S y tipo I. Además de esto, la mineralogía y la información en campo deben corroborar estos datos; información que si se tiene de las intrusiones de Villonaco y Duraznillo y que permite clasificarlos definitivamente como granitos del tipo I y del tipo S respectivamente.

Tabla 5. Composición y relaciones entre álcalis y alúmina.

Muestra	Na <sub>2</sub> O	mAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mNa <sub>2</sub> O	mK <sub>2</sub> O	mCaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O+CaO) (fracciones molares)
I- 2	<b>3.44</b>	<b>0.16928</b>	<b>0.0555</b>	<b>0.01582</b>	<b>0.1275</b>	<b>0.851423398</b>
I- 6	<b>3.29</b>	<b>0.18056</b>	<b>0.05308</b>	<b>0.01539</b>	<b>0.13516</b>	<b>0.886706281</b>
I- 8	3.75	0.14192	0.0605	0.02197	0.03655	1.192404638
I- 11	3.49	0.15428	0.05631	0.02484	0.03691	1.306793156
I- 17	4.29	0.15506	0.06922	0.02622	0.04743	1.085322321
I- 19	4.4	0.15889	0.07099	0.02335	0.04975	1.102713582

Fuente: El autor.

**CAPÍTULO VII**  
**GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y CORRELACIONES CON EL TRABAJO DE**  
**LABORATORIO.**

Toda la información que se brinda en este capítulo es el producto del levantamiento de la información en campo y los análisis mineralógicos y geoquímicos de las muestras de roca en laboratorio. Además se toma en cuenta información y estudios hechos anteriormente para poder correlacionar lo que se descubrió con el trabajo de campo y de laboratorio.

Se describe cada unidad litológica-formacional desde la más antigua hasta la más joven. Finalmente se dedicará un capítulo para describir los principales plegamientos y fallas y otro al desarrollo de la cartografía geológica.

### **7.1. Metabasitas.**

Estas rocas afloran a lo largo de un sistema de fallas inversas de dirección NE-SW desde el sector centro este hasta sector centro sur (ver mapa en el anexo VI). Las litologías tienen asociaciones de las facies de Esquistos Verdes, Anfibolitas de Epidota y Anfibolitas de Hornblenda; es decir, que el grado de metamorfismo en estas rocas es de medio o moderado; pero podría llegar a ser alto cerca del intrusivo Villonaco.

Las litologías principales comprenden epidotas de Ep-Pl-Cal- Ilm- Mag  $\pm$  Qtz, anfibolitas de Hbl-Pl-Ep-Act- Mag- Ilm, esquistos de Act-Ep-Qtz-Hbl-Cal, anfibolitas de Hbl-Pl-Qtz $\pm$ Cal $\pm$ Act $\pm$ Mag $\pm$ Ilm en ciertos casos hay tremolita y actinolita, en pocas rocas son esquistos de Chl-Bt-Qtz-Cal, especialmente las de grado más bajo que afloran en la intersección de la vía que conecta la Subestación Villonaco con la Antigua Carretera Loja- La Toma.

Estas rocas aparecen alineadas, como ya se lo mencionó anteriormente, a lo largo de un sistema de fallas inversas, entre ellas una de cabalgamiento, que fue la única vista en campo. Las anfibolitas y esquistos verdes forman un cinturón de dirección NE-SW. Los principales afloramientos se encuentran en la Hacienda Villonaco de los Hermanos Maristas, a lo largo de la carretera de Hormigón Armado que conecta el parque eólico con la Subestación Villonaco. Además, curiosamente en el barrio Urihuanga estas rocas afloran en las montañas a una altitud de 2240m, en la quebrada Chicheros a 2040m y en la misma quebrada aguas abajo aparecen estas metabasitas enterradas por los esquistos cuarzo- pelíticos a una altitud de 1880m.

Esta unidad litológico formacional es discordante con los esquistos grafiticos y con los esquistos cuarzo- pelíticos, de los cuales conformó algún día el basamento en una cuenca

marina de transición. Hay ciertos afloramientos en los que estas metabasitas tienen un poco de grafito; lo cual da una idea de que hubo vida que residía en el lecho de estos basaltos y basalto-andesitas.

Por la disposición de estas rocas, y debido a que los protolitos fueron principalmente basaltos y basalto-andesitas (ver ilustraciones 20 y 21), a que se encuentran alineadas a lo largo de fallas inversas y con desniveles pronunciados en el terreno, es muy posible que se trate de un arco volcánico muy antiguo; sin embargo sería necesario caracterizar el ambiente tectónico de estas rocas con elementos traza y tierras raras para definir si el protolito fue un arco volcánico o fueron basaltos de dorsal oceánica (MORB).

Las estructuras más características son: su textura decusada en las anfibolitas y epidositas, la foliación en los esquistos verdes y crenulaciones intensas provocadas por la deformación dúctil en la roca (ver fotografías 52 y 53).

En cuanto a la correlación con otras litologías existentes en la Cordillera Real, se encuentran las anfibolitas Monte Olivo en el norte del país, asociadas a las unidades Chigüinda, Agoyán, Tres, Lagunas y Sabanilla. Estas anfibolitas tienen edades de  $306 \pm 10$  y  $343 \pm 23$  Ma obtenidas con la técnica de K-Ar en hornblendas, que podrían indicar la edad de “*anfibolitización*” (Harrison; 1990 en Litherland et al.; 1994, pag.16). El protolito de las anfibolitas es mucho más antiguo, y en función de que la Unidad Chigüinda que sobreyace a estas anfibolitas es de edad post-silúrica; se podría afirmar que los protolitos de las anfibolitas pertenecen los primeros periodos de la era Paleozoica e incluso puede ser de edad Precámbrica debido a que no se puede descartar la posibilidad de que estas rocas puedan pertenecer al grupo Piedras de edad Precámbrica.

Por lo tanto, estas metabasitas tienen edad del Paleozoico inferior o e incluso Precámbrica; sin embargo su metamorfismo ocurrió en el mismo lapso de tiempo que el de los meta-sedimentos que sobreyacen a estas debido a que el metamorfismo de las rocas cuarzo-pelíticas y grafiticas y de las anfibolitas es del mismo grado y del mismo tipo (moderado y regional), la facie metamórfica de anfibolita proveniente de rocas básicas es análoga con la zona de la Estaurolita encontrada en los esquistos grafiticos y en cuarcitas de los esquistos cuarzo-pelíticos. Es obvio que las metabasitas se pudieran encontrar con grados de metamorfismo relativamente más elevados porque se debe considerar que se encuentran más enterradas que los meta-sedimentos y por lo tanto más cercanas a las intrusiones ígneas y con mayor carga litostática que los sedimentos, ahora metamorfoseados, que sobre esta

yacen; es decir que se sometieron a temperaturas y presiones mayores a los esquistos cuarzo-pelíticos y grafíticos.

Para la cartografía, esta estructura litológica-formacional presentó varios inconvenientes por la naturaleza misma de su origen, por su intenso grado de meteorización (solo en ciertos sitios) y porque en su mayor parte se encuentra enterrada. En el sector del barrio Eucaliptos, afortunadamente se cuenta con varios afloramientos discordantes entre metabasitas, el intrusivo Eucaliptos y otras rocas metamórficas, lo cual permitió dibujar contactos seguros en este sector y en el del parque interpretando el estudio de Benítez (2011). La roca en general no posee una orientación preferencial de los cristales; pero en algunos afloramientos ubicados al este del parque eólico y en la hacienda Villonaco la foliación de las rocas se encuentra con inclinación al NW y los datos estructurales varían entre  $281^{\circ}/35^{\circ}$  hasta  $313^{\circ}/46^{\circ}$ . Solo en el Punto 396, en el flanco oeste del parque eólico se obtuvo un dato estructural con inclinación al SE, que es de  $116^{\circ}/40^{\circ}$ .

Por otra parte en el sector centro-sur del polígono se tuvieron escasos afloramientos de estas rocas y todos ellos con estructura masiva, textura decusada en la roca y por lo tanto no existen datos de foliación de la roca. Se asume que parte de las metabasitas deben estar enterradas y en profundidad forman un cinturón continuo de anfibolitas y esquistos verdes. La mayoría de los contactos que se dibujan en este sector son inferidos.



Fotografía 52. Afloramiento de las metabasitas en el Punto 149, cabeza del martillo al norte.  
Fuente: El autor.



Fotografía 53. Crenulaciones en las anfibolitas que afloran en el Punto 16.  
Fuente: El Autor.

## 7.2. Esquistos cuarzo pelíticos.

Esta estructura litológica-formacional está en gran parte enterrada por los esquistos grafiticos y sobreyacen a las metabasitas; que algún día fueron su basamento. Afloran en gran parte del área de estudio ya que la erosión permite observarlos; especialmente en la punta del cerro Villonaco (sector de las antenas), a lo largo de la quebrada Chicheros, en la quebrada Limplacocha y en la vía antigua al cerro Ventanas.

La litología es químicamente similar y mineralógicamente muy poco variable. En su mayoría son esquistos de crucero filítico de Qtz-Bt-Ms± Mag±Gr y esquistos de Qtz-Ms-Bt±And±Ab en ambos flancos del cerro Villonaco y por la entrada al barrio Duraznillo, cuarcitas muy puras e impuras con Ms±Bt±St en la punta y en la parte baja del cerro Villonaco. En el sector de la vía antigua al Loja- El Tambo, Tierras Coloradas y en el cerro Ventanas la litología es casi inconfundible: esquistos de Qtz- Ms- Bt. En el cerro ventanas hay una franja de gneises que representan el más alto grado de metamorfismo regional de esta estructura litológico formacional, los cuales tienen una mineralogía de Qtz-Kfs-Bt-Ms<sup>2</sup>-Alm (ver mapa en el Anexo VI). La cordierita no se encontró en estos gneises y la moscovita es algo peculiar y está asociada a la biotita en hábito similar; parece que el metamorfismo no llegó a ser lo suficientemente intenso como para convertir la moscovita en silimanita, como lo explica Best (2003) en la reacción de deshidratación: Ms+Qtz → Sil+Kfs+H<sub>2</sub>O o en alguna reacción similar. Finalmente existen una corneana de Qtz-Kfs-Opx-Bt, podría existir hornblenda en vez de ortopiroxeno o los dos minerales a la vez, esta corneana rodea solamente a la diorita de la intrusión Villonaco y tiene una potencia de 40m por lo cual no se la ha incluido en el mapa geológico del cerro Villonaco; además en ciertos lugares el metamorfismo de contacto forma, en vez de corneana, cuarcitas masivas (no foliadas) y cuando intruye a los esquistos de grafito se forma corneana grafitica de grano muy fino.

Las cuarcitas están intercaladas con los esquistos de cuarzo, es decir que en el protolito hubo pelitas intercaladas con samitas y que se vieron afectadas por el metamorfismo. El "estrato" con mayor cantidad de cuarcitas es el que está justo en el contacto con los esquistos grafiticos, es decir los "estratos superiores" de los esquistos cuarzo-pelíticos.

---

<sup>2</sup> En la lámina delgada la moscovita no tiene sus típicos colores de interferencia de tercer orden; sino blancos de primer orden; pero sigue teniendo el típico hábito micáceo tipo "borde de libro" y extinción recta del tipo ojo de pájaro, razón por la cual podría tratarse de otra mica blanca como paragonita, lepidolita u alguna clase de moscovita especial que no tiene alta birrefringencia.

Otra característica importante de los esquistos cuarzo-pelíticos es la poca cantidad de grafito en la formación. Hay lentes y capas de grafito; pero no son muy abundantes ni continuas; sino más bien son esporádicas. La clorita es rara entre estos esquistos; algunos lugares que tienen clorita, como en las montañas del barrio Urihuanga al sur del polígono han sido considerados como parte de esta estructura litológica formacional por estar en la asociación Chl-Ms-Qtz y Chl-Ms-Qtz-Grt. Se recalca que de estas últimas rocas solo se realizó mineralogía en campo y podrían existir otros minerales además de los nombrados.

Finalmente y de forma muy peculiar, en un solo afloramiento en el Punto 62 existe esquisto de Chl-And-Tr-Cal con textura decusada y sin foliación que es el producto de metamorfismo de una marga, se confirma esto porque la cantidad de CaO que brinda el análisis de FRX es de 4,41% mientras que en la mayoría de esquistos de esta formación este óxido no llega ni al 0,5%, con la excepción de unos pocos que tienen calcita como mineral accesorio y sin embargo este porcentaje de CaO en estos no es tan alto como el de la muestra del Punto 62.

Algunas de las estructuras más importantes de los esquistos cuarzo-pelíticos son las siguientes:

- La foliación. Los esquistos son generalmente de crucero filítico o pizarroso pero con biotitas bien desarrolladas (entre 2 o 3 milímetros en su mayoría), no todas negras sino también de color amarillo o dorado. Solamente en la franja de gneises se aprecia bandeo gnéisico (ver fotografía 59).
- La dirección de foliación. Se forman familias de pliegues bien definidas en el sector este del polígono con dirección de eje NNW-SSW mientras que en el sector suroeste del polígono hay una dirección de eje SW-NE. Para observar más datos estructurales de la foliación revítese la Tabla 6 o el Anexo II.
- La existencia de cuarzo granular (esquistos) o masivo (cuarcitas) en las rocas, con excepción de los afloramientos del Punto 62.
- Existen crenulaciones en un afluyente de la quebrada Chorrera, llamada quebrada Villonaco por los habitantes de la zona y en la quebrada Limplacocha y sus cercanías (ver fotografías 56 y 57).

- Vetas de cuarzo discordantes a la foliación de la roca que son foráneas a esta estructura litológico formacional y posteriores a la misma, algunas llegan a tener más de un metro de potencia.
- Algunos afloramientos forman superficies de cuesta (ver fotografías 54, 55 y 58).
- En fotografía aérea, se puede ver el relieve del tipo cuarcita o gneis que resalta en el terreno con coloración generalmente blanca cuando la roca es vista, también puede ser de color lila (ver Ilustración 39). El relieve en el sur del polígono es más bien del tipo sierra de esquistos (ver ilustración 42).

Esta estructura litológico formacional forma la parte inferior de la unidad Chigüinda del Terreno Loja en el sector del Villonaco. Su potencia medida en un corte geológico es de 120m. Su edad es post silúrica (Owens; 1992 en Litherland; 1994); pero no se puede afirmar nada más que eso y darle una edad entre los periodos Devónico, Carbonífero y Pérmico, es decir del Paleozoico superior.

Para desarrollar la cartografía de esta unidad litológico-formacional se usó fotogeología gracias a que el relieve del tipo cuarcitas contrasta con la forma de relieve de los esquistos grafiticos que es más bien del tipo esquistos (López; 1988). La delimitación de la franja de gneis con la franja de esquistos se tomó en función del sitio donde empiezan a aflorar y donde terminan de aflorar y siguiendo la dirección de foliación y de los pliegues. Sin embargo, existe una transición entre esquistos de Qtz-Bt-Ms a gneis de Qtz-Kfs-Bt-Alm. En el sector suroeste del polígono solo se pueden inferir contactos debido a la poca información de campo que se tiene.



Fotografía 54. Contacto entre los esquistos cuarzo-pelíticos hacia el sur y los esquistos gráficas hacia el norte.  
Fuente: El autor



Fotografía 55. Superficie de cuesta en la punta del cerro Villonaco.  
Fuente: El autor.



Fotografía 56. Crenulaciones en la roca que aflora en un drenaje en el Punto 300.  
Fuente: El autor.



Fotografía 57. Lentes de cuarzo que en los esquistos cuarzo-pelíticos en el Punto 250.  
Fuente: El autor.



Fotografía 58. Cuarcitas en el Punto 24, norte hacia la derecha.  
Fuente: El autor.



Fotografía 59. Foliación del tipo bandeado gnéisico de las rocas en el Punto 124.  
Fuente: El autor.

Tabla 6. Principales datos estructurales de los esquistos cuarzo-pelíticos por sectores.

Principales datos estructurales de los esquistos cuarzo-pelíticos por sectores. DE significa dato estructural y está en el formato "dirección de inclinación/inclinación", en grados sexagesimales. Para ver la ubicación exacta de los puntos, véase el anexo IV B.			
Sector de las repetidoras Villonaco (antenas de la policía y el ejército)		Sector hacia el sur de la intrusión Duraznillo	
Punto	DE	Punto	DE
6	130/31	62	177/34
9	110/70	63	145/43
14	118/50	Sector del barrio Urihuanga	
15	148/35	Punto	DE
23	138/42	193	134/92
Sector Cerro Ventanas		194	163/69
Punto	DE	195	122/55
109	80/39	196	290/81
110	130/55	197	149/45
111	285/70	198	345/40
112	245/20	Sector de la quebrada Chicheros	
116	130/50	Punto	DE
117	130/50	211	196/44
119	131/63	212	215/42
120	276/68	213	177/40
122	115/50	214	214/37
127	137/59	215	232/53
128	28/60	Sector de la quebrada Limplacocha	
129	315/45	Punto	DE
131	116/53	303	140/60
Sector de Tierras Coloradas		304	110/32
Punto	DE	305	315/85
181	295/23	306	300/86
183	314/29	308	145/89
184	330/49	309	114/54
189	340/22		

Fuente: El autor.

### 7.3. Esquistos grafiticos.

Estos esquistos afloran a lo largo y ancho de todo el polígono, excepto en el extremo sur del mismo, y se manifiestan como esquistos grafiticos o pelíticos, yaciendo discordantemente sobre las metabasitas con una discordancia fundamental encontrada en el afloramiento del Punto 150, mientras que el contacto entre estos y los esquistos cuarzo pelíticos es más bien de una discordancia del tipo angular y en ciertos casos hay una transición entre cuarcitas puras hasta ser poco a poco más grafiticas, como en el caso de la parte baja del cerro Villonaco y la quebrada Duraznillo. La diferencia estratigráfica en lo que algún día fueron dos formaciones sedimentarias es lo que en este documento se le ha llamado como: esquistos cuarzo pelíticos y esquistos grafiticos, dicha diferencia es muy notoria.

En cuanto a la litología de estas rocas, en su mayoría son esquistos de Gr-Ms-St-And-Qtz±Chl en el sector del cerro Villonaco, especialmente en el flanco NW, en donde el metamorfismo de estas rocas es más elevado y también Gr-Qtz-Ms-Bt con moscovitas y biotitas bien desarrolladas y visibles en muestra de mano, la foliación en este sector es generalmente esquistosa. Cuando el metamorfismo disminuye la composición de estos esquistos es de Gr-Qtz-Ms-Chl en donde las moscovitas son de grano más fino y no existe Biotita, el crucero se vuelve filítico y pizarroso (ver Fotografía 60). Finalmente hay ciertos sectores en el barrio Paja Blanca y en el sector Las Lagunas, es decir al N y al NE del polígono, en donde el grafito bien formado se va perdiendo y las rocas que afloran son pizarras de metamorfismo muy bajo con arcillas, clorita y material grafitico, lo cual coincide con la falta de intrusiones ígneas y con el alejamiento al ramal principal de la cadena montañosa; pero las cotas siguen siendo elevadas. Cuando estas rocas dejar de ser grafiticas se las encuentra como filitas de Ms-Chl-Bt o Qtz-Ms-Chl, esto se aprecia principalmente en el sector central y al sur del Parque Eólico Villonaco.

Al oeste del cerro Villonaco estos esquistos grafiticos aparecen intercalados con cuarcitas que generalmente poseen grafito, las meta-arcosas son raras y aparecen como un granito estratificado con Qtz-Kfs-Bt-Ms (afloramiento en el Punto 399). Hay sectores, especialmente en paja Blanca y hacia el sur del contacto con la intrusión Duraznillo (o Plutón Catamayo) en donde el grafito llega a formar hasta el 80% del volumen de la roca. En la quebrada Chicheros es frecuente encontrar calcita entre los esquistos grafiticos.

Entre las estructuras principales que caracterizan a esta estructura litológico formacional tenemos las siguientes:

- Vetas de cuarzo provenientes de fluidos hidrotermales que atraviesan los esquistos gráficas de forma concordante o discordante a la foliación de la roca.
- Lentes y vetillas muy continuas de cuarzo, aisladas de la parte gráfica de la roca. Estas estructuras se forman debido a que el cuarzo no forma silicatos con la materia orgánica y es la razón por la cual en la mayoría de esquistos gráficas el cuarzo proviene de vetillas, lentes y vetas, mas no por estar en forma granular o formando parte de la matriz lepidoblástica de los esquistos gráficas con metamorfismo más elevado. En ciertas filitas el cuarzo se puede hallar de forma granular (ver fotografías 61 y 62)
- En la vía antigua Loja- La Toma, sector del parque eólico antes de tomar el desvío para la carretera antigua Loja- El Tambo, existen numerosas estructuras meta-sedimentarias del tipo lenticular en donde se ven lentes aislados de meta-arenisca levemente metamorfoseadas entre una matriz con mega-cristales de moscovita y cristales muy finos de biotita (ver Fotografía 63). Los lentes llegan a tener hasta 80cm de potencia y más de un metro de largo, evidencia de que el origen de los sedimentos depositados fueron llevados allí por el agua en un ambiente litoral, específicamente en las zonas de marea o (*tidal and interdital zones*) como lo explican Reineck y Singh (1986; p 114- 117).
- Micropliegues frecuentes. Estas estructuras tienen el tamaño tal que son vistos en escala de afloramiento. Se forman especialmente cuando hay intercalaciones con cuarcita debido al distinto comportamiento reológico de los materiales: las cuarcitas no aparecen deformadas; mientras que los esquistos o filitas gráficas si aparecen deformados.
- Los esquistos gráficas se muestran en fotografía aérea formando sierras regulares con coloración generalmente lila. En ciertos sitios esto permite diferenciarlos de las litologías síliceas adyacentes (ver ilustraciones 39 y 40).

La edad exacta de estas rocas es muy difícil de obtener. Pertenecen a la Unidad Chiguinda al igual que los esquistos cuarzo- pelíticos y se depositaron después de aquellos. Es probable que si se puedan encontrar fósiles, aunque poco preservados en estas rocas, sobre todo en los sitios que tengan calcita. La potencia máxima que se estima a esta formación es de 420m.

Para la cartografía de estos esquistos se utilizó la interpolación con puntos de la misma litología gracias a que se cuenta con una gran cantidad de afloramientos. Solo en el contacto

con los esquistos cuarzo-pelíticos en la escuela Rumicorral se optó por usar el dato estructural de  $285^{\circ}/43^{\circ}$  que se tomó de un afloramiento de esquistos gráficos en el Punto 29 y es muy similar al de la mayoría de datos estructurales del sector. Este trazo se confirmó con afloramientos en campo.

Entre una peculiaridad de los datos estructurales de esta estructura litológico-formacional, es que en el flanco oeste del cerro Villonaco la dirección de inclinación de la roca es hacia el SW o al W; pero hacia el sur de la intrusión Duraznillo, esta inclinación se dirige hacia el sur, esto se debe a que la intrusión levantó a los esquistos gráficos durante su emplazamiento. Otro sitio en donde los datos estructurales son muy cambiantes y no se puede generalizar dirección de pliegues es en el sector barrio Paja Blanca y en el sector noreste del polígono. Para ver más datos estructurales de esta unidad litológica-estructural revítese la Tabla 7 o el Anexo II.



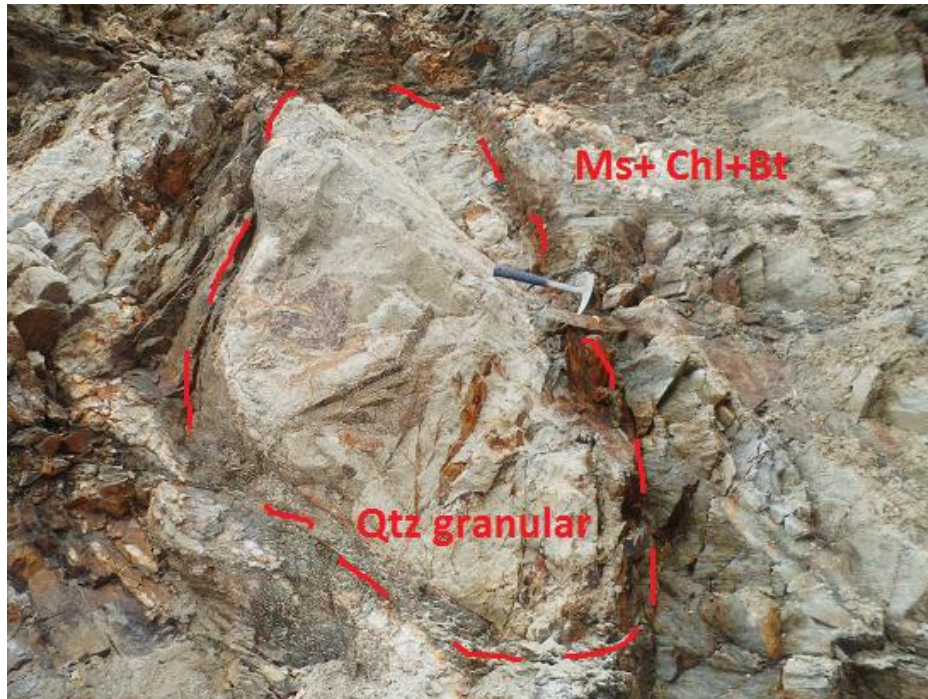
Fotografía 60. Esquistos gráficos en el afloramiento del Punto 29.  
Fuente: El autor.



Fotografía 61. Lentes de cuarzo con crenulación leve en el afloramiento del Punto 403.  
Fuente: El autor.



Fotografía 62. Vetillas de cuarzo entre el esquistos de grafito en la roca del afloramiento del Punto 142.  
Fuente: El autor.



Fotografía 63. Lente de meta-arenisca inmerso en una matriz pelítica en el afloramiento del Punto 138.

Fuente: El autor.

Tabla 7. Principales datos estructurales de los esquistos gráficas por sectores.

Principales datos estructurales de los esquistos gráficas por sectores. DE significa dato estructural y está en el formato "dirección de inclinación/inclinación", en grados sexagesimales. Para ver la ubicación exacta de los puntos, véase el anexo IV B.			
Sector del Cerro Villonaco, vía de entrada a las repetidoras de la policía y el ejército.		Sector hacia el sur del intrusivo Duraznillo	
Punto	DE	Punto	DE
28	285/43	31	180/26
29	315/29	175	188/20
30	122/81	177	176/23
32	185/98	178	163/44
132	189/28	178*	231/43
Sector del flanco oriental del cerro Villonaco		Sector quebrada Chicheros	
Punto	DE	208	240/34
45	264/40	391	285/82
47	118/23	Sector del Barrio Paja Blanca- Parroquia Taquil	
48	230/38	Punto	DE
49	245/49	399	168/10
53	95/20	403	195/40
56	246/78	406	60/15
57	245/62	407	212/37
59	238/56	412	150/27
Sector del flanco oeste del Parque Eólico Villonaco		Sector noreste del polígono	
Punto	DE	Punto	DE
132	189/28	283	145/61
136	119/65	284	200/32
137	145/50	285	131/58

192	237/61	286	92/57
131	116/53	287	214/42
Sector del flanco este del Parque Eólico Villonaco		288	155/55
Punto	DE		
143	345/26		
145	329/31		
185	344/55		
187	331/31		
150	285/44		
159	275/50		

Fuente: El autor

#### 7.4. Intrusivo Villonaco.

Esta roca aflora solamente en el cerro Villonaco, al centro del área de estudio. Fue reportada como un gabro por Benítez (2011). De las tres láminas delgadas elaboradas en la misma intrusión nos permiten dar conclusiones muy sólidas en cuanto a la petrografía:

- La roca es una diorita con textura fanerítica y gradualmente se convierte en cuarzo-monzodiorita en el centro de la intrusión (ver Ilustración 14).
- Las plagioclasas predominantes son la oligoclasa, albita, andesina y labradorita, menos común la Bitownita y no se reportó nada de Anortita. La labradorita y la andesina están en una proporción 1:1; pero por existir plagioclasas más sódicas tenemos que  $An < 50\%$  en toda la roca.
- La roca está saturada en cuarzo y los feldespatos alcalinos son muy escasos.
- Los silicatos máficos son, de mayor abundancia a menor abundancia, hornblenda, ortopiroxeno, biotita y flogopita.
- Entre los minerales opacos tenemos ilmenita, magnetita, pirita y sulfuros de cobre (bajas cantidades).
- Los análisis químicos de las muestras I-2B e I-6 de dos sitios distintos de la roca nos arrojan los mismos resultados en todos los diagramas:
- En el diagrama de TAS de Prank (1979) las muestras caen el campo de Diorita. En los diagramas de Winchester Floyd (1978) también coinciden con los campos de andesita, es decir, el equivalente volcánico de la diorita; aunque solo en el de  $Zr/Ti$  vs  $SiO_2$  cae en el campo de traquiandesita, equivalente volcánico de la monzo-diorita (ver ilustraciones 31, 32, 33 y 34).
- El magma es calco alcalino con tendencia toleítica (ver ilustración 29).
- Según los diagramas de Pearce et al. (1984), estas rocas se emplazaron en el ambiente de arco de islas (VAG, ver ilustraciones 35, 36 y 37). La descripción petrográfica coincide con el ambiente de Granitos de Arco Volcánico del tipo Arco Oceánico. Sin embargo, no

se han encontrado ningún tipo de rocas volcánicas asociadas a esta intrusión; a pesar de que en los estudios del CELEC (Benítez, 2011) indican que existen basaltos en el sector del parque eólico, puede que exista una relación entre estas rocas y las metabasitas.

En campo esta intrusión se mapeó con seguimiento de contactos y apoyándose en fotografía aérea para dibujar contactos seguros y solo con fotografía aérea para dibujar contactos inferidos. Sus características de campo son las siguientes:

- Intensa meteorización física. Existen estructuras de meteorización esferoidal (ver Fotografía 64) donde las esferas tienen menor cantidad de clorita que los alrededores de la roca. Algunas de estas esferas se las encuentran en varias quebradas que nacen del cerro Villonaco como cantos rodados. La roca se encuentra disgregada en la mayoría de afloramientos, mostrándose como arenas y limos o limos arenosos de color amarillo ocre (ver Fotografía 65).
- Alteración por meteorización química. La roca se muestra alterada en la totalidad de sus afloramientos y los minerales primarios están ausentes en la mayoría de afloramientos. También existen gran cantidad de arcillas que remplazan a las plagioclasas (Ver Fotografía 66).
- Corneanas o cuarcitas masivas en todos los contactos de la roca (ver Fotografía 67).
- La intrusión se encuentra enterrada debajo de las cuarcitas y esquistos de cuarzo en la punta del cerro Villonaco, rocas a las cuales levantó durante su intrusión.
- Su diámetro máximo se lo obtuvo midiendo los contactos con las cotas 2720 m y fue de 1,2 Km y cuando esta cota disminuye su diámetro también disminuye, razón por la cual se ha identificado como un diapiro.
- Presencia de alteración argilítica en las cercanías de la diorita provocada por fluidos y diques alóctonos. La primera rodeando un dique de composición intermedia en el Punto 37 y con presencia de sulfuros, 0,2 ppm de Au y 8 ppm de Ag (calculados por análisis al fuego en el laboratorio de metalurgia extractiva de la UTPL por el Ing. Juan C. Quintuña), en donde existe una aureola de material arcilloso, posiblemente caolín. En cambio en el afloramiento en el Punto 15 (ver Fotografía 68) hay una intrusión de cuarzo, illita, caolín y sulfuro de hierro (ensayo de DRX realizado en el departamento de Química de la UTPL

por el Dr. Francisco Fernández). El Punto 15 se ubica a 230 m del contacto lateral con la diorita; pero la diorita se encuentra enterrada someramente debajo de este Punto. Estas alteraciones se deben a que las rocas ígneas son más susceptibles a la alteración hidrotermal que las rocas metamórficas (Bateman; 1982) y por ser la textura de la roca fanerítica, es más fácil la penetración de fluidos hidrotermales en la misma.

La composición de la roca y las relaciones entre: sosa, potasa, cal y alúmina; presencia de anfíboles, ilmenita-magnetita-sulfuros además del metamorfismo de contacto que se genera por temperaturas muy elevadas en el magma nos indican que esta roca es del tipo I, según la clasificación de Chappel y White (2001).

Debido a que no hay ninguna relación con otros intrusivos de la zona, a que se produce metamorfismo de contacto alrededor de esta intrusión y a que la roca tiene tendencia toleítica es muy posible que esta sea más joven que las otras intrusiones en el polígono. Esta deducción se fundamenta también porque no hay relación entre la composición de los magmas de las otras intrusiones que son ácidas y la del intrusivo Villonaco es totalmente básica.

Litherland et al. (1994) reportan ciertas rocas del Batolito de Zamora como dioritas, es decir la misma litología del intrusivo Villonaco, estas son las únicas rocas cercanas que tienen una relación con la intrusión existente en el cerro Villonaco. El batolito de Zamora de edad Jurásica se encuentra al este de la zona de estudio y el de Tangula ubicado hacia el oeste de la zona de estudio pertenece al Cretácico Superior; como el magmatismo en los Andes ecuatorianos migró durante el mesozoico de este a oeste (Paladines y Soto; 2010), es muy probable que pudo haber magmatismo en la zona de estudio durante ese lapso de tiempo y por eso se infiere una edad del Cretácico Inferior para el intrusivo Villonaco.



Fotografía 64. Meteorización esferoidal en el afloramiento del Punto 16.  
Fuente: El autor.



Fotografía 65. Disgregación mecánica de cuarzo-diorita en el Punto 16. La fotografía fue tomada con un acimut de  $216^{\circ}$ .  
Fuente: El autor.



Fotografía 66. Roca meteorizada en el afloramiento del Punto 20.  
Fuente: El autor.



Fotografía 67. Corneana a lado de la intrusión Villonaco con el norte a la izquierda.  
Fuente: El autor.



Fotografía 68. Intrusión arcillosa en el afloramiento del Punto 15.  
Fuente: El autor.

## 7.5. Intrusivo Duraznillo o Plutón Catamayo.

Litherland et al. (1994) ya habían encontrado y estudiado esta roca, la clasificaron como una granodiorita. Aflora en el barrio Duraznillo, concesión Minera El Durazno y debajo de la urna de la Virgen del Cisne en la carretera nueva Loja- La Toma.

La lámina delgada de la muestra I-8 al igual que la observación macroscópica de material triturado permite determinar lo siguiente:

- El feldespato de potasio es predominantemente ortosa; pero existe también microclina.
- Las plagioclasas son del tipo albita-oligoclasa.
- Además de moscovita existe lepidolita (mica de litio) entre las micas leucocráticas.
- No hay orientación preferencial de las micas.
- Los minerales pesados de la roca variaron de un lugar a otro como Ilmenita>magnetita y magnetita>ilmenita (muestra triturada).
- Existen dos tipos distintos de micas melanocráticas. La biotita de color negro y una menos abundante de color verdoso fueron vistas en muestra triturada.

Los diagramas de composición y de elementos traza demuestran lo siguiente sobre la muestra I- 8:

- La muestra es un granito según el diagrama de TAS (ver Ilustración 31).
- En los diagramas de Winchester Floyd (1978) la muestra se grafica en los campos de riolita y riodacita (ver ilustraciones 32, 33 y 34)
- La roca pertenece a la serie calco- alcalina.
- Según los diagramas de Pearce et al (1984) la roca fue emplazada en un ambiente de arco volcánico (ver ilustraciones 35, 36 y 37). Al comparar con la mineralogía este arco es del tipo margen continental.

En campo esta intrusión se mapeó con seguimiento de contactos, lo cual permitió dibujar contactos seguros. Solo el contacto norte donde no se encontraron afloramientos queda inferido.

- El feldespato de potasio a lo largo de toda la intrusión en el área de estudio tiene color blanco; sin embargo hay pocos sitios al NW del polígono de estudio y del barrio Duraznillo donde la intrusión tiene feldespato de potasio de color rosado.

- La biotita en ciertos sitios aumenta drásticamente hasta formar más del 25% de la roca y llega a tener una relación de 1 a 1 con el cuarzo, es el único silicato máfico de la roca en todos los afloramientos.
- La moscovita aumenta cuando disminuye la cantidad de biotita. En las partes apicales de la roca no hay biotita o es muy escasa y en cambio la moscovita aparece con más abundancia, en estos sectores la roca es completamente blanca (ver fotografías 69 y 70)
- En todos los contactos encontrados con los esquistos grafiticos, estos poseen una cantidad anómala muy elevada de moscovita.
- En las cercanías del contacto este, a la altura del Punto 64 la biotita está alineada y le da un aspecto foliado a la roca, en este sector la biotita es muy abundante.
- No existe hornblenda en ningún sitio de la intrusión ígnea.
- Se encontraron dos vetillas de pocos centímetros de mica leucocrática que atraviesan este granito, uno al NW del polígono y otro cerca de su contacto este con los esquistos grafiticos (ver Fotografía 70)
- Xenolitos de esquisto grafitico en las partes apicales de la intrusión.
- Se encontró una veta de grafito y cuarzo de 24 cm dentro de la intrusión manera de enclave de roca preexistente con dato estructural de  $131^{\circ}/40^{\circ}$  en el Punto 413 (ver Fotografía 71).
- En el mapa la roca aflora en secuencia con los esquistos cuarzo-pelíticos (ver Ilustración 38), no en forma de diapiro ni de dique. Es discordante con los esquistos grafiticos en donde los contactos son muy claros y son vistos; sin embargo hay contactos en donde aparecen estas litologías más o menos concordantes fuera del polígono (ver Fotografía 72). No se encontraron afloramientos en donde se pueda observar el contacto con los esquistos cuarzo pelíticos directamente.

Esta roca fue datada por Litherland et al. (Ibíd.; p. 51), con técnica de K-Ar con una edad de  $58,2 \pm 2$  Ma. Por lo tanto esta intrusión pertenece al Paleoceno.

La roca petrográficamente es un sienogranito. Los diagramas de Pearce et al. (1984) indican que se emplazó en un ambiente de arco de islas. Sin embargo los granitos que se emplazan en los ambientes tectónicos de Arco de Islas son generalmente granitos del tipo I; pero, toda la información en campo, nos indica que este granito es del tipo S y debido a su distribución espacial con los esquistos cuarzo-pelíticos es muy posible que se haya formado por la fusión de los mismos debido a una fuente de calor existente debajo de estas rocas y a que los esquistos y cuarcitas en ese sector pudieron estar levemente metamorfoseados, muy fracturados y/o muy hidratados para favorecer la fusión de la roca.

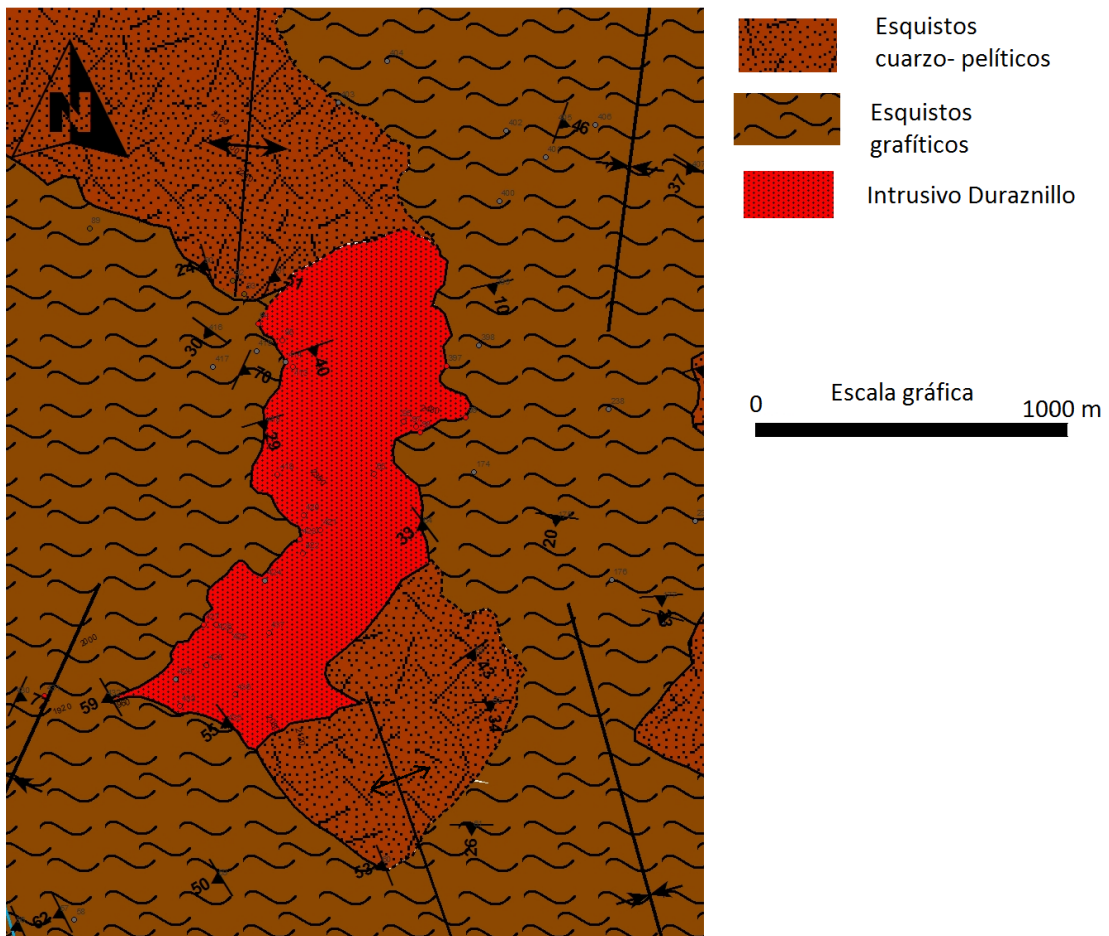


Ilustración 38. Detalle de la intrusión Duraznillo en el mapa geológico.  
Fuente: El autor.





Fotografía 69. Granito de la intrusión Duraznillo en el afloramiento del Punto 97.  
Fuente: El autor.



Fotografía 70. Veta de cuarzo y moscovita sobre el suelo, intrusión Duraznillo en el Punto 96.  
Fuente: El autor.



Fotografía 71. Granito de la intrusión de Duraznillo con una capa de grafito y cuarcita de grano fino.  
Fuente: El autor.



Fotografía 72. Contacto entre los esquistos gráfiticos y la intrusión Duraznillo.  
Fuente: El autor.

## 7.6. Diques e intrusiones pequeñas.

Estas estructuras afloran en toda el área de estudio, especialmente en el centro y en el este. Sus composiciones pueden ser variables pero en general son de textura porfírica y afanítica, razón por la cual no fue posible analizar la mineralogía de todos ellos.

Estos diques pueden apreciarse en las fotografías 73, 74, 75, 76, 77, 78 y 79. Las características de estas estructuras en campo son las siguientes:

- Atraviesan las estructuras siguientes: metabasitas, esquistos cuarzo- pelíticos y esquistos grafiticos e intrusivo Villonaco.
- No forman aureolas de metamorfismo contacto entre las rocas que intruyen.
- En su mayoría son discordantes a la foliación de la roca; pero hay unos pocos que intruyen las rocas a manera de sills (ver Fotografía 79).
- La coloración generalmente es rosada o crema. Solo en las intrusiones Cerro Ventanas y Eucaliptos la coloración es gris claro, gris oscuro y ocurrentemente con tonos lila.
- El tamaño de las intrusiones varía desde uno o dos decímetros hasta 20m en el intrusivo Cerro Ventanas, 40m en el intrusivo Urihuanga y 50m en el intrusivo Eucaliptos (calculados con los cortes geológicos).
- A mayor tamaño de las intrusiones, estas se vuelven más porfíricas y a menor tamaño afaníticas.

Los análisis diagramas de TAS y Winchester Floyd (ver Tabla 4) nos indican que estas rocas, con pocas excepciones son riocitas o granodioritas. En el sector en donde los diques atraviesan a las anfibolitas y al intrusivo Villonaco estos son de composición traquítica o andesítica debido a la contaminación por atravesar estas rocas básicas. Se aclara que no se usó  $\text{Na}_2\text{O}$  en los diagramas.

La intrusión Eucaliptos que aflora en el sector centro este del polígono se analizó petrográficamente con dos láminas delgadas (I-17 e I-19) las cuales se dibujan en el diagrama de Streckeisen en el campo de granodiorita (ver Ilustración 14) y según su composición

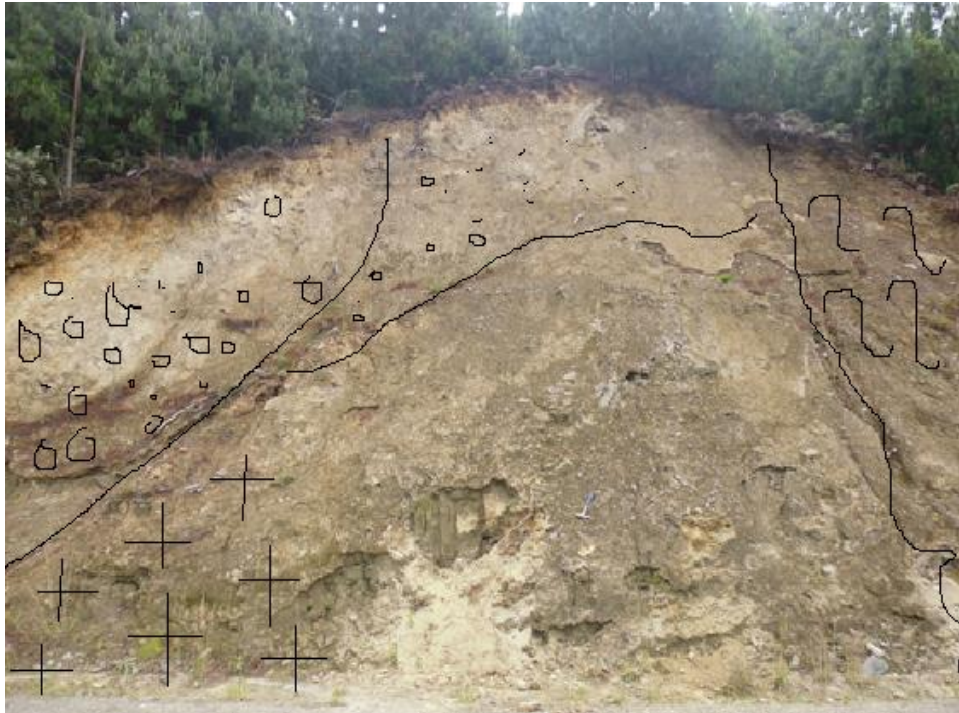
química, analizada con los diagramas de Le Prank et al. (1979) y Winchester-Floyd (1977) están en el campo de granito y sus equivalentes volcánicos (ver ilustraciones 31, 32, 33 y 34). Todos los contactos en el mapa de esta roca han sido vistos y por eso se los ha dibujado como seguros.

De la misma manera el intrusivo Cerro Ventanas fue identificado petrográficamente como un monzogranito según el Diagrama de Streckeisen (ver Ilustración 14) y coincide esto con el análisis químico. Este aflora en el sector sureste del polígono.

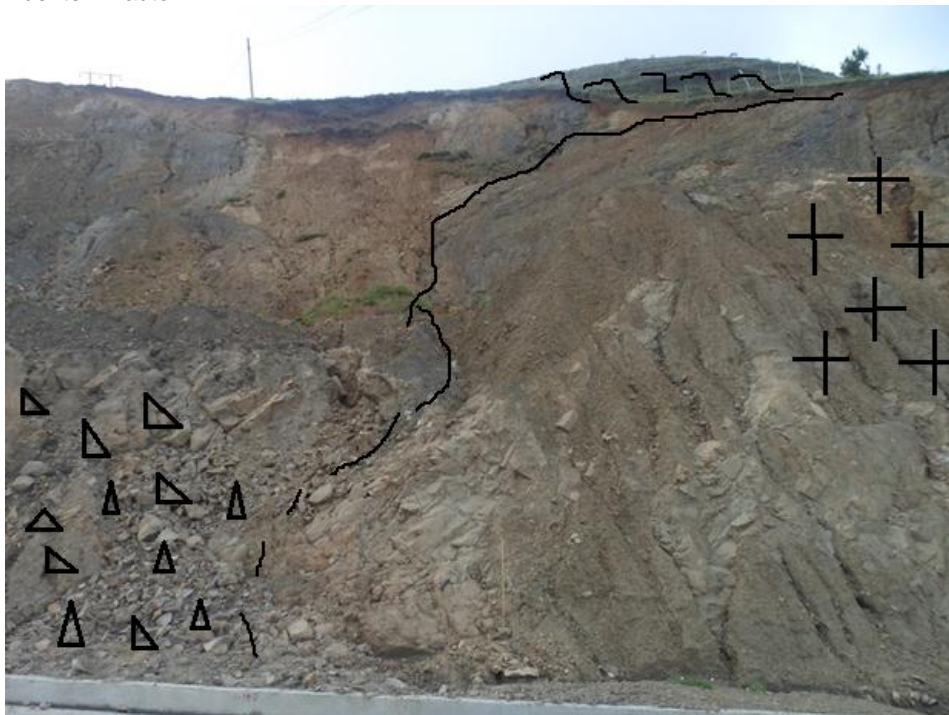
El intrusivo Urihuanga que se ubicado centro sur del polígono solo se analizó con FRX y resultó ser de composición ácida (riolita); su textura es porfírica y en ciertos sitios solo contiene cuarzo y feldespato. Este se dibujó con contactos seguros debido a se tiene 4 puntos de contacto y el dato estructural en la pared de la intrusión es de  $123^{\circ}/62^{\circ}$ , el cual resultó ser muy confiable porque al proyectarlo con la regla de las uves coincidió con los puntos tomados en campo con GPS (ver mapa geológico en el Anexo VII).

Todos los diagramas de Pearce (1976) realizados a las muestras I-11, I- 17 e I- 19 coinciden en indicar que estos granitos se emplazaron en un ambiente tectónico del tipo arco de islas (ver ilustraciones 35, 36 y 37) , y según su descripción petrográfica pertenecen al arco de islas de margen continental (Pearce; 1996). Las tres rocas pertenecen a la serie calco-alkalina (ver ilustración 29). No se discriminó si estas rocas pertenecen a granitos del tipo S o del tipo I.

Estas rocas no han sido registradas anteriormente, con excepción de la intrusión Eucaliptos (Guamán y Soto; 2002) que fue clasificada como una cuarzodiorita. Sin embargo, no se han realizado dataciones de ningún a estas estructuras. Debido a que los diques son granitos de biotita y granodioritas (o sus equivalentes afaníticos), es posible que todos estos diques se conecten con una cámara magmática común en profundidad y dicha cámara magmática esté relacionada con el batolito de San Lucas de composición granodiorítica y edad media de 60 Ma (datada por Litherland et al.; 1994), puesto que es la única intrusión ígnea geográficamente más cercana con esta composición. En caso de ser esta relación cierta, la roca debería pertenecer al Paleoceno y estaría asociado a la formación de la intrusión de Duraznillo y sería entonces la fuente de calor que permitió la fusión las rocas que dieron origen a la "intrusión Duraznillo".



Fotografía 73. Afloramiento en el Punto 114 con el SW a la derecha.  
Fuente: El autor.



Fotografía 74. Contacto entre la intrusión Eucaliptos y los esquistos gráficas en el Punto 154 con el NE hacia la derecha.  
Fuente: El autor.



Fotografía 75. Afloramiento en el Punto 169.  
Fuente: El autor.



Fotografía 76. Dique afanítico de dacita atravesando esquistos gráfiticos.  
Fuente: El autor.



Fotografía 77. Dique de granodiorita del afloramiento en el Punto 149 con el NW hacia la derecha.  
Fuente: El autor.



Fotografía 78. Dique porfirítico de granodiorita que atraviesa a los esquistos grafiticos en el Punto 153 con el NE hacia la derecha.  
Fuente: El autor.



Fotografía 79. Sill de roca ácida atravesando a esquistos grafiticos.  
Fuente: El autor.

## 7.7. Vulcanitas Terciarias.

Estas rocas solo afloran 60m a lo largo de la quebrada Trigal en la hacienda Villonaco. Han sido erosionadas y por eso no se puede ver ninguna estructura volcánica de gran tamaño. Sin embargo se encontraron lavas y piroclastos de composición ácida. Según el diagrama de Le Bas (1986) estas rocas están en el campo de las dacitas (posiblemente traquidacitas ya que no se usó el  $\text{Na}_2\text{O}$ ) y en el campo de Comendita-Pantlerita (ver Tabla 4).

Las lavas en campo muestran las siguientes características:

- Estructuras columnares que se pueden apreciar en el afloramiento del Punto 165 (ver Fotografía 80).
- Aglomerados y piroclastos ácidos de color blanco en el Punto 166 (Ver fotografías 81 y 82).
- Lavas de textura afanítica y generalmente color verde oliva claro o rosado pálido.

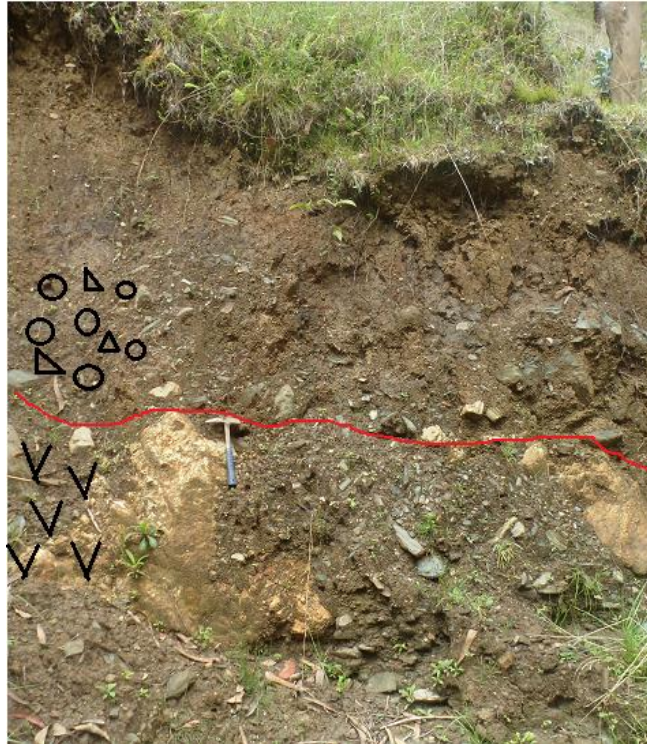
Debido a que están yaciendo sobre las rocas metamórficas (esquistos cuarzo-pelíticos) y no sobre los sedimentos se descartó la posibilidad de que sean pertenecientes a la formación Salapa; más bien pertenecen la formación Loma Blanca de edad del Eoceno tardío u Oligoceno inicial que aflora en el sur de la cuenca sedimentaria de Loja (Hungerbühler et al.; 2002).



Fotografía 80. Estructuras columnares en las lavas ácidas en el afloramiento en el Punto 165.  
Fuente: El autor.



Fotografía 81. Piroclastos de la formación Loma Blanca en la quebrada Trigal. Punto 165.  
Fuente: El autor.



Fotografía 82. Terraza aluvial depositada sobre los piroclastos de Loma Blanca. Punto 165.  
Fuente: El autor.

## **7.8. Cuenca sedimentaria de Loja.**

Estas rocas afloran discordantemente sobre los esquistos cuarzo-pelíticos y los esquistos gráfiticos al noreste del área de estudio. El tipo de discordancia es fundamental, es decir de basamento.

Estas rocas se delimitaron con ayuda de la fotografía aérea y confirmando las traza con la información obtenida en campo. Estas rocas sedimentarias tienen las siguientes características:

- Son clásticas, en general areniscas de grano grueso y bien redondeado con matriz de arenas más finas de granos exclusivamente volcánicos. Estas areniscas son más abundantes en la parte superior de la formación.
- Arcillolitas asociadas a las areniscas y lutitas intercaladas con las areniscas.
- Capas de turba de poca potencia yaciendo debajo de ciertas capas de arenisca. Las turbas están intercaladas con capas de arcillolita.
- Buzamientos muy suaves con tendencia hacia el este en el sector centro-este (ver Fotografía 82) del polígono y capas sub-horizontales en el sector noreste del polígono.

Por la información adquirida en el campo, clastos volcánicos y por aflorar en la parte oeste de la cuenca sedimentaria de Loja se concluye que todas estas rocas sedimentarias pertenecen a la formación Tigal del Mioceno Medio (Hungerbühler et al.; 2002).



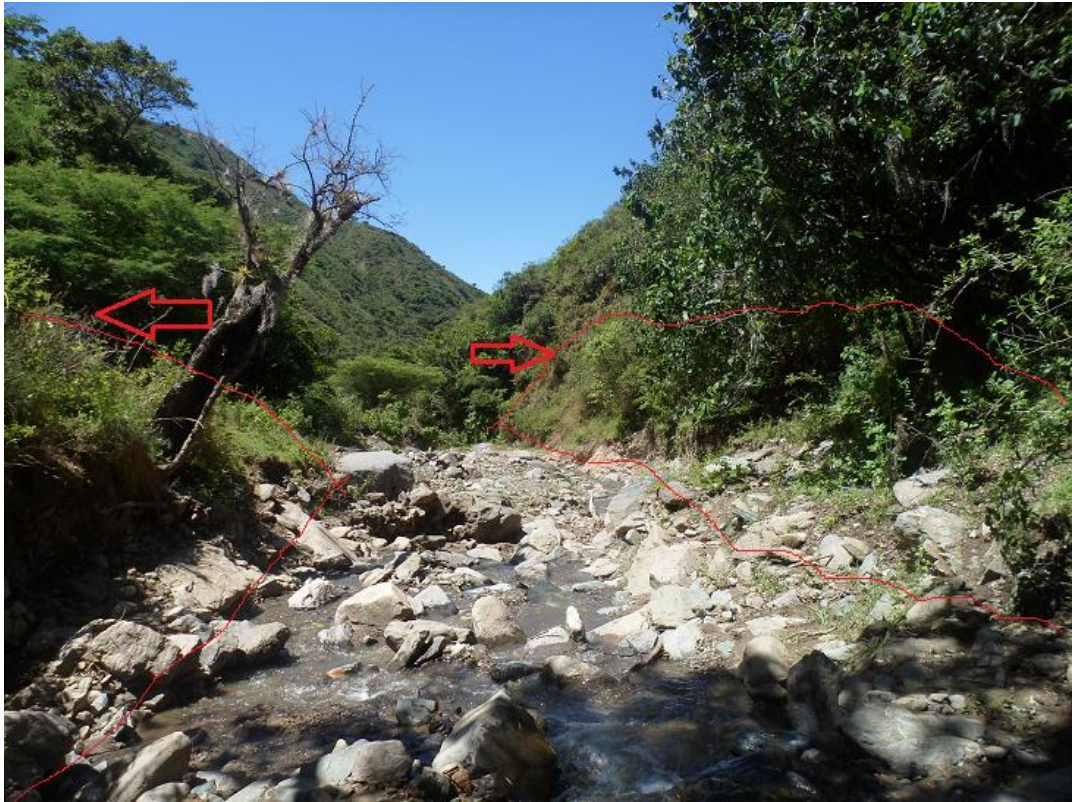
Fotografía 83. Afloramiento del Punto 191 con noreste a la derecha.  
Fuente: El autor.

## **7.9. Depósitos Aluviales y Coluviales.**

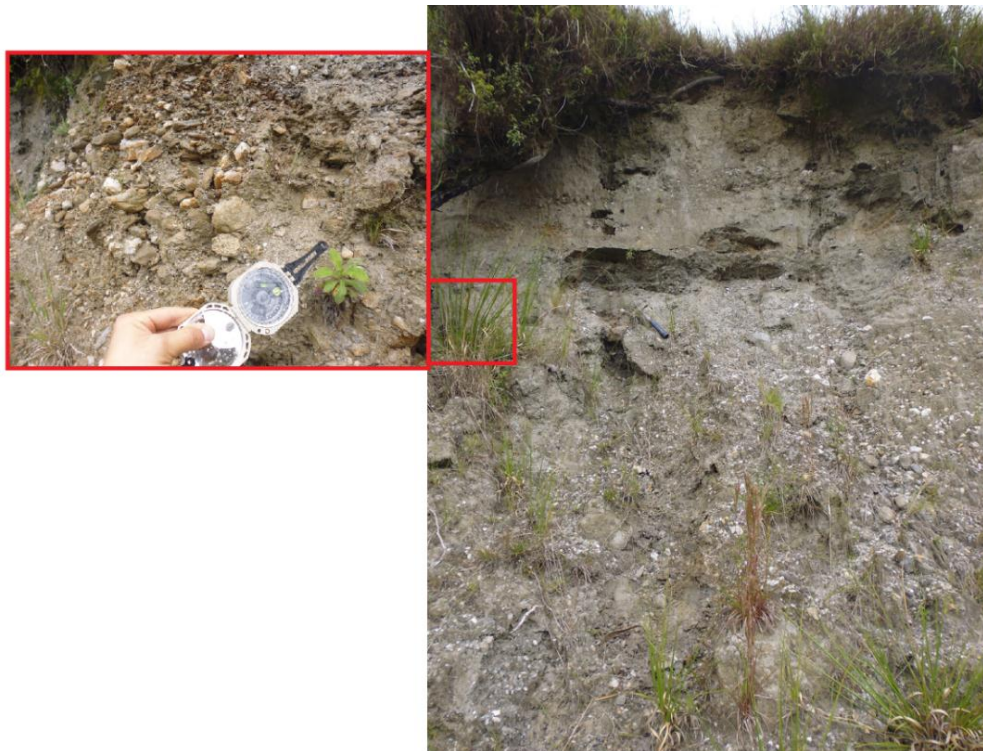
### **7.9.1. Depósitos aluviales.**

Estos depósitos se encuentran solo en ciertos lugares de ciertas quebradas o en terrazas aluviales asociadas a drenajes naturales. Debido a que los procesos exógenos predominantes en la zona de estudio son: la disgregación, transporte y socavamiento de rocas metamórficas e ígneas, la sedimentación del material disgregado proveniente de dichas rocas es muy limitado. A continuación se indica los lugares en donde se ha encontrado material de origen aluvial no perteneciente a la cuenca sedimentaria Miocénica de Loja.

- En la quebrada Chorrera y en su afluente, la quebrada Villonaco, se encuentran pocas terrazas angostas con poca altura y un solo nivel (ver Fotografía 84). Los clastos que las forman son en su mayoría de roca metamórfica y raras rocas ígneas. Existen pequeñas playas formadas en algunos meandros. Son más frecuentes las cascadas y encañonamientos en roca que los depósitos aluviales, estos últimos están limitados a las partes planas o de pendiente muy baja de la quebrada.
- Al norte del barrio Tierras Coloradas existen depósitos aluviales con clastos angulosos y sub-redondeados con imbricación, algunos de estos podría decirse que están en etapa de diagénesis ya que aparecen como conglomerados de matriz limo-arcillosa, como los encontrados en el afloramiento del Punto 374. Otros depósitos como el encontrado en el afloramiento del Punto 379 (ver Fotografía 85) tienen una matriz de arena silíceas y micas. En ambos casos los clastos son exclusivamente esquisto de micas (Bt-Ms o Ms-Bt), cuarzo lechoso y rara vez esquisto grafitico.
- En las quebradas Trigal, Limplacocha y otras paralelas a la misma aparecen terrazas aluviales altas de un solo nivel (Ver fotografía 86). Los clastos en general son metamórficos, angulosos y sub-redondeados con imbricación, la matriz varía de arcillo-limosa a limo-arenosa.



Fotografía 84. Depósitos aluviales en la quebrada Chorrera, Punto 208, con un acimut de 250°.  
Fuente: El autor.



Fotografía 85. Depósito aluvial del afloramiento el Punto 379.  
Fuente: El autor.



Fotografía 86. Depósito aluvial estratificado del afloramiento del Punto 296.  
Fuente: El autor.

### 7.9.2. Depósitos coluviales.

Estos depósitos son poco importantes en la zona de estudio. Entre los más importantes tenemos los siguientes:

- Al este del cerro Ventanas (sureste del polígono) hay un depósito coluvial que forma una berma del ancho de una carretera amplia de dos carriles. Este depósito entierra a cuarcitas y esquistos de la estructura litológica-formacional de esquistos cuarzo-pelíticos. Los clastos son esquistos de mica angulosos en matriz arcillosa. El depósito se encuentra cubierto de vegetación.
- Al norte del polígono y al este y noreste de la urna de la Virgen del Cisne, carretera nueva Loja- La Toma, existen varios depósitos coluviales con clastos de esquisto grafitico enterrando a los mismos esquistos grafiticos.
- Al noreste del Polígono Guamán y Soto (2002) identifican un depósito coluvial importante que fue delimitado en el mapa geológico anexo solo con ayuda de la fotografía aérea.

## **7.10. Fallas y Pliegues.**

### **7.10.1. Fallas.**

Estas estructuras requieren un poco de atención para poder conocer la historia del lugar. Primero que nada tenemos una gran cantidad de vetas de cuarzo y de diques de pequeños que son indicadores de fallamientos anteriores a un evento magmático importante. En su mayoría las vetas de cuarzo encontradas entre los esquistos gráficas en la carretera antigua y nueva Loja- La Toma tienen una dirección NW-SE al oeste del cerro Villonaco. En cambio sector central del polígono y a ambos lados del parque eólico hay gran cantidad de diques; pero generalizar una dirección entre estos es difícil ya que existen algunos con direcciones de: NE-SW y NW-SE con tendencia E-W. Todo esto indica que hubo fallas geológicas y una zona de cizalla que en la actualidad no muestran actividad y están rellenas de material ígneo o hidrotermal.

Posterior a la actividad magmática existen fallas inversas, es decir de compresión. Las más importantes de estas se encuentran al sur del cerro Villonaco y están asociadas a los afloramientos de las metabasitas. Una falla de cabalgamiento en el afloramiento del Punto 146 tiene un dato estructural de  $N36^{\circ}E/25^{\circ}NW$  y desplaza a un dique 6,6m hacia el NW, desde su posición en el afloramiento (ver Fotografía 87). Realizando un cálculo con geología estructural y usando la metodología de Ragan (2009) indica que el desplazamiento de la falla en su dirección de buzamiento resulta ser de 29,5m (ver ANEXO V). Además de esta falla vista en campo existen drenajes paralelos y sub-paralelos a la dirección de este cabalgamiento, perfectamente alineados que no coinciden con el comportamiento dendrítico del resto de los drenajes. A estos alineamientos se los ha considerado como fallas inferidas de carácter inverso que formarían un sistema de fallas inversas (ver Ilustración 41).

Una falla identificada en campo aflora en la parte noreste del polígono y atraviesa a los esquistos gráficas, se aprecia bien por una discontinuidad de una capa de cuarcita o veta de cuarzo de 17cm en el muro que se pierde en el techo o bloque levantado de la falla, en el cual existe una ligera deformación de los esquistos gráficas que levantan sus capas como si se estuvieran presionando contra el otro bloque. Esta falla tiene dato estructural de  $S31^{\circ}E/75^{\circ}NE$  y es de carácter inverso, y solamente local. Seguramente está inactiva debido a que la carretera no ha mostrado ningún problema geotécnico en el sector. Los sedimentos de la cuenca de Loja se encuentran plegados y atravesados con fallas inversas de dirección N-S y NW-SE y buzamiento hacia el este (Hungerbühler et al.; 2002), es por esta razón que esta falla local pertenece a esta misma familia de fallas regionales.

Otra falla importante se localiza cerca de la esquina sureste del polígono de estudio, asociada al depósito coluvial al flanco oeste del cerro Ventanas. Tiene un dato estructural de  $E11^{\circ}S/84^{\circ}S$  y atraviesa a los esquistos cuarzo-pelíticos. Se identifica por la falta de continuidad de las fracturas de roca (o discontinuidades) en los dos bloques de la falla y porque la roca a su alrededor se encuentra triturada. Esta falla está rellena por una veta de cuarzo que de igual forma se encuentra triturada. No se identificó otra falla de la misma familia en ningún otro sector del polígono y posiblemente el desplazamiento o salto de falla sea de varios metros o e incluso unas pocas decenas de metros. Esta falla es joven y existe la posibilidad de que se encuentre activa y de que esté asociada al origen del depósito coluvial adyacente.



Fotografía 87. Dique que atraviesa anfibolitas y ha sido desplazado por una falla. Acimut de  $23^{\circ}$  hacia la derecha.  
Fuente: El autor.



Fotografía 88. Falla geológica en el Punto 283. Acimut de  $80^{\circ}$  hacia la derecha.  
Fuente: El autor.



Fotografía 89. Falla geológica en el Punto 279. Cabeza de martillo apuntando al oeste.  
Fuente: El autor.

### **7.10.2. Pliegues.**

Existen dos familias principales de pliegues bien definidas en el área de estudio. La primera familia es la predominante, aparece en toda la parte este del polígono y es más evidente en los esquistos cuarzo-pelíticos y en las metabasitas que en los esquistos grafiticos (ver el mapa geológico en el anexo VI). Los pliegues son muy regulares con ejes de dirección NNE y SSW, con la excepción de uno cuyo eje tiene dirección NE-SW, posiblemente por estar cerca del cinturón de anfibolitas. Esta familia de pliegues tiene continuidad regular hacia el sur del Polígono y se pueden apreciar al mapear la carretera antigua Loja- El Tambo.

La segunda familia de pliegues tiene una dirección NNW-SSE, la cual es una especie de continuación de la primera familia de pliegues; pero que comienza a cambiar de dirección a hacia el oeste del intrusivo Urihuanga y hacia el oeste del intrusivo Villonaco (ver el mapa geológico en el anexo VI).

Con la información de campo obtenida, lo que podría explicar estas dos direcciones de plegamiento es que hubo dos periodos de plegamiento o los basamentos de los meta-sedimentos eran distintos en un lado y el otro. Sea cual sea la causa, el cinturón de metabasitas tiene la dirección de la primera familia de pliegues al igual intrusivo Urihuanga y que las fallas inversas en el centro y sur del polígono (ver mapa geológico en el Anexo VI).

### **7.11. Interpretación de la fotografía aérea.**

Principalmente se la usó fotogeología para la delimitación de sedimentos con las rocas metamórficas. Este procedimiento se confirmó con la información de campo. También se utilizó esta técnica para los dibujar contactos de los esquistos cuarzo-pelíticos con los esquistos grafíticos. Como los esquistos cuarzo-pelíticos son principalmente cuarcitas crean relieves del tipo cuarcita o gneis en los que fue relativamente fácil y muy confiable delimitar contactos, además los esquistos grafíticos muestran coloración más oscura (marrón rojiza o morada) en la orto-foto mientras que los esquistos cuarzo y cuarcitas se ven con coloración blanca (ver ilustración 39). Solo para los contactos del flanco oeste del cerro Villonaco estas dos litologías pueden ser distinguidas por la vegetación, los esquistos grafíticos muestran vegetación muy escasa en comparación a las cuarcitas con una abundante vegetación (ver ilustración 40). Sea cual sea el caso se confirmaron estos contactos con los contactos vistos en campo, los cuales encajan perfectamente con los de la fotografía aérea.

Finalmente, las intrusiones ígneas no siempre muestran un cambio de relieve levemente notorio, razón por la cual en donde no fueron vistos los contactos solo se infiere el contacto (línea entrecortada). Sin embargo, el contacto este de la intrusión Duraznillo se distingue porque una quebrada sirve como contacto, en la cual fueron vistos tres contactos entre el intrusivo y los esquistos grafíticos.

Es imposible delimitar precisamente las metabasitas y esquistos cuarzo-pelíticos en el sur del polígono debido a que la vegetación arbustiva es muy espesa, los afloramientos son escasos y no presentan geo-formas distintas en la fotografía aérea. Razón por la cual, el sector sur y suroeste del polígono podrían aumentarse o modificarse los contactos entre estas dos estructuras litológicas-formacionales con un mapeo más minucioso. En este sector, lo que sí se puede apreciar es el socavamiento, drenaje dendrítico y encañonamientos en la roca metamórfica (ver ilustración 42).

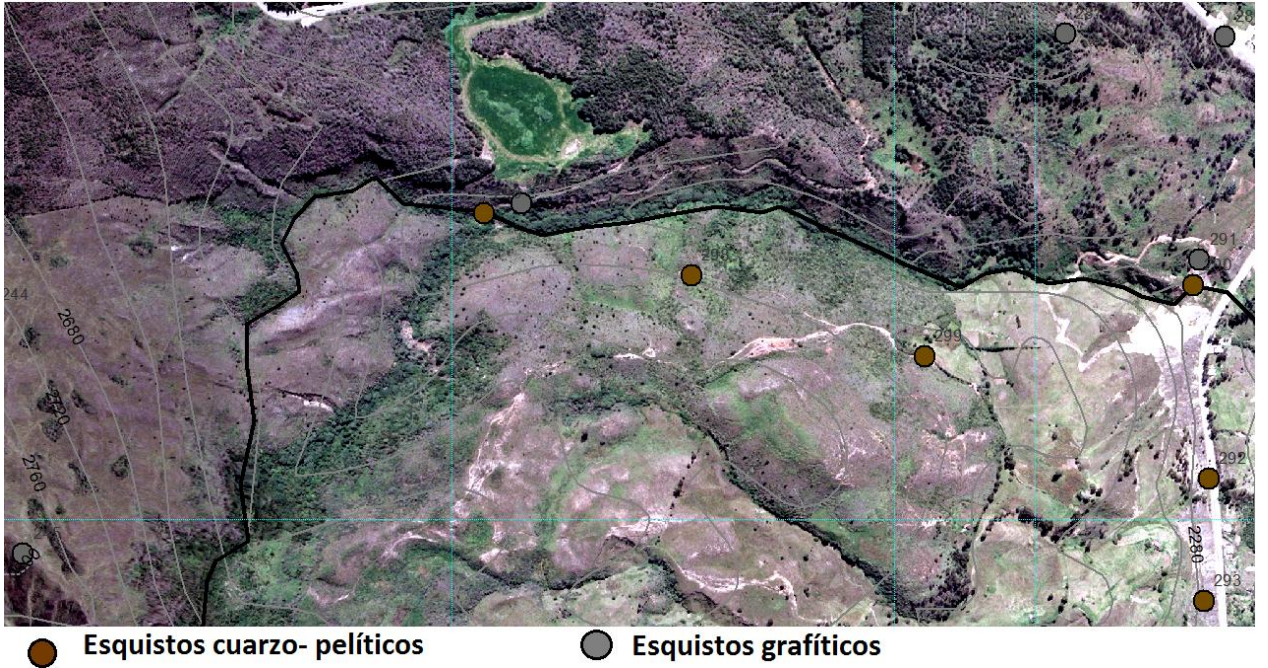


Ilustración 39. Relieves de esquistos cuarzo-pelíticos y los grafiticos en la orto-foto aérea.  
El autor.

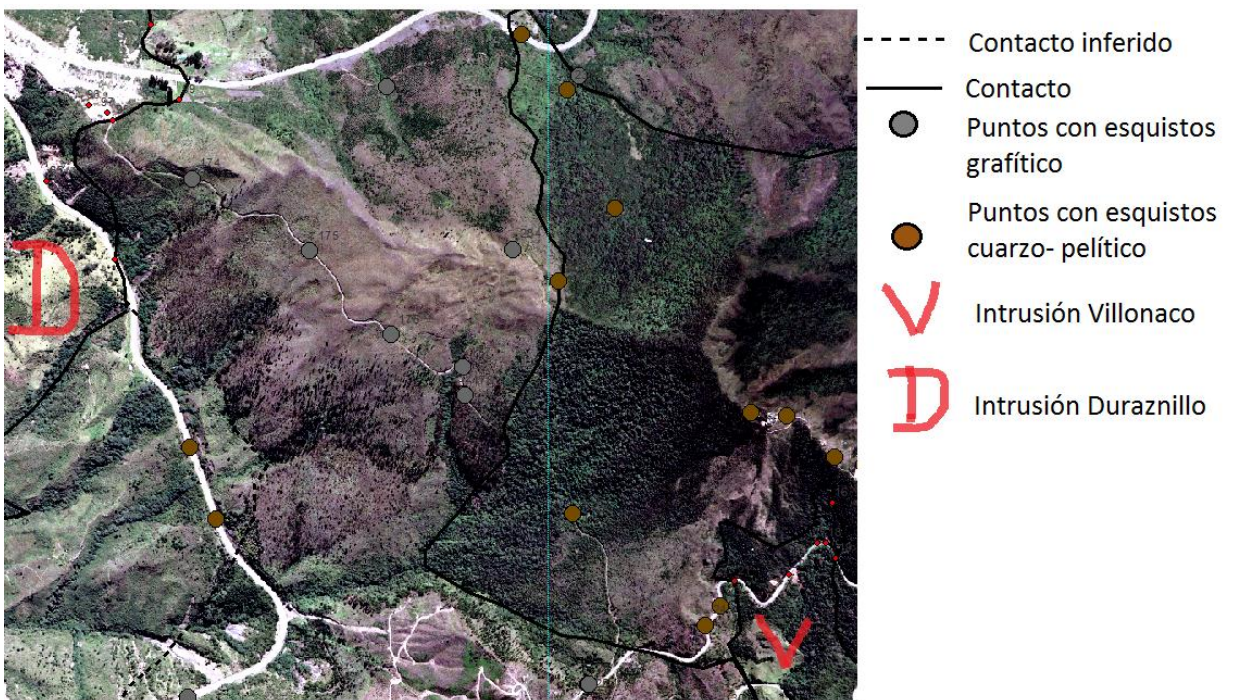


Ilustración 40. Vegetación como evidencia de contacto.  
Fuente: El autor.

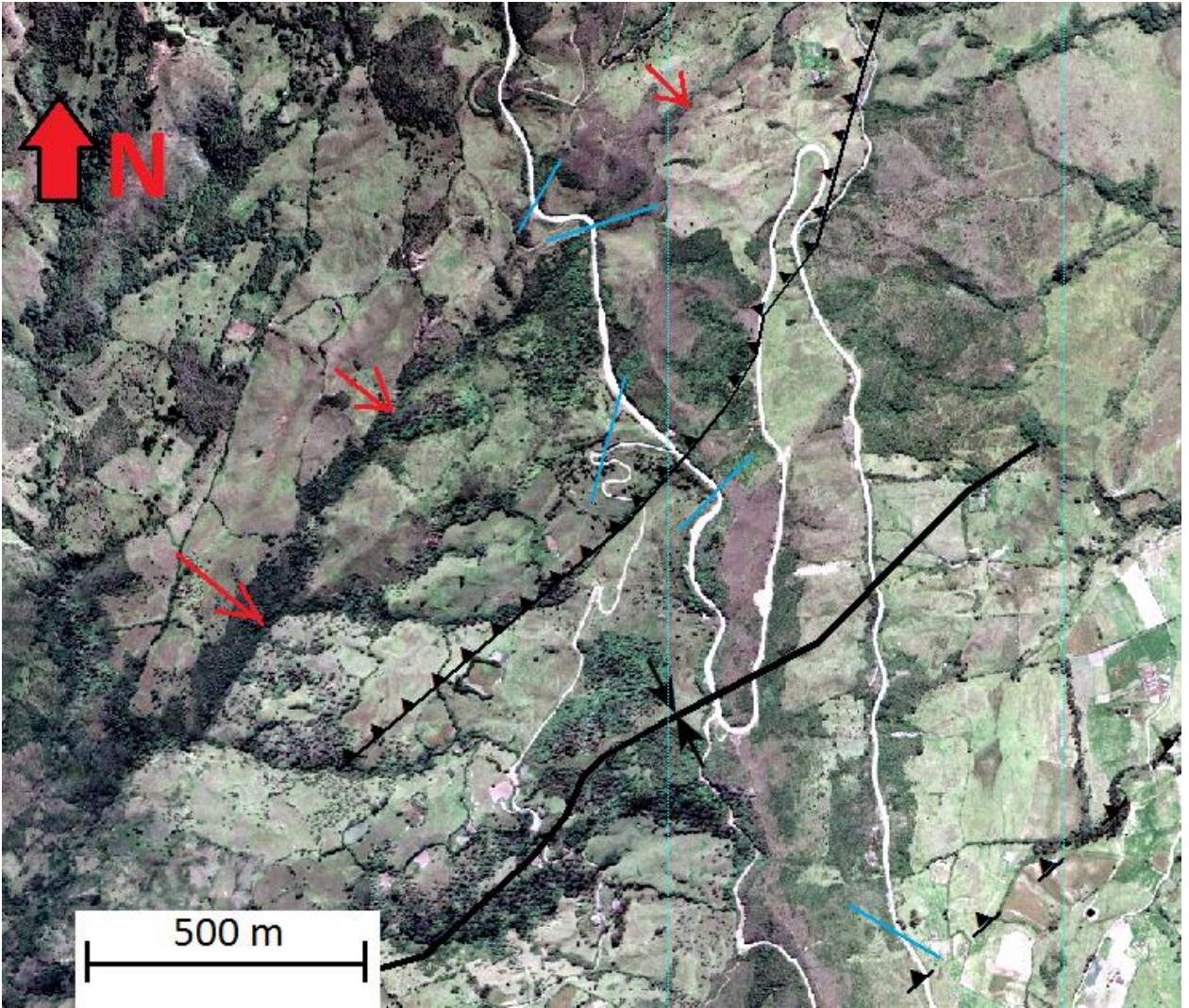


Ilustración 41. Fallas en la zona de estudio.  
Fuente: El autor.

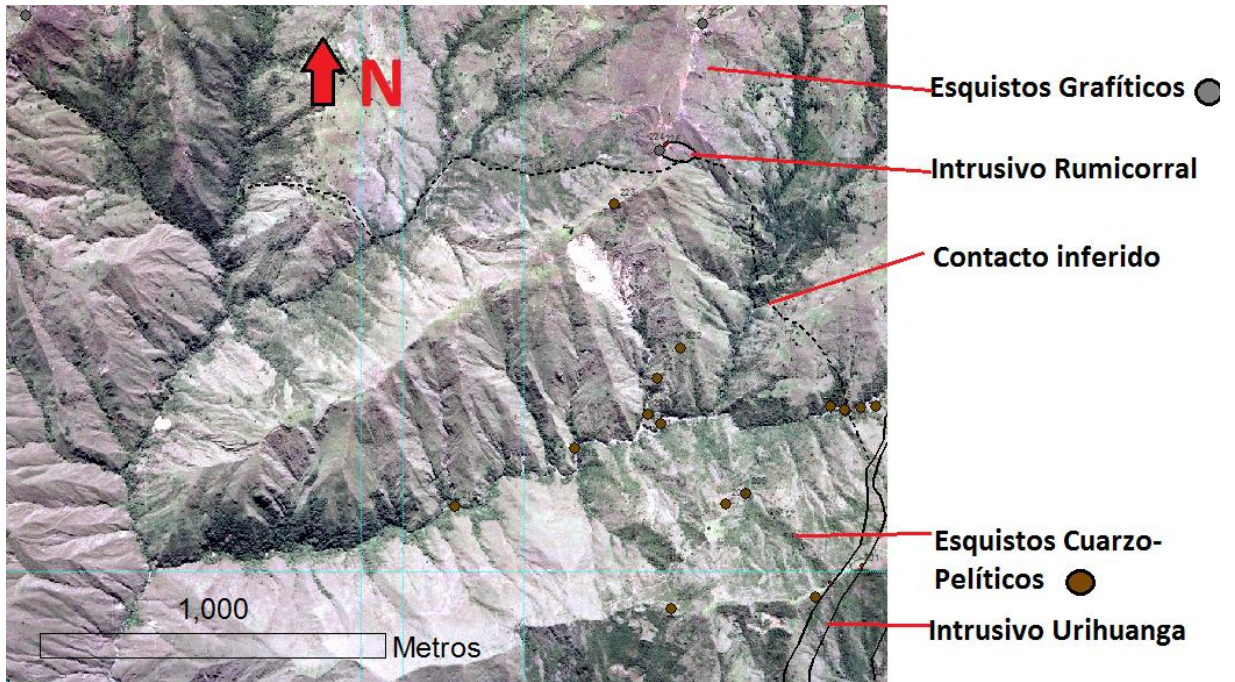


Ilustración 42. Relieve de los esquistos en la esquina sureste del polígono.  
Fuente el autor.

## DISCUSIÓN

La geología en el sector del cerro Villonaco es compleja, no se tiene las edades absolutas de todas las rocas; pero se conoce la edad relativa de cada una de ellas, es decir, cuál es más joven y cuál más antigua. El autor de este trabajo se apoya en el trabajo realizado por Litherland et al. (1994) sobre la Cordillera Real. A continuación se da a conocer una hipótesis de la historia del cerro Villonaco.

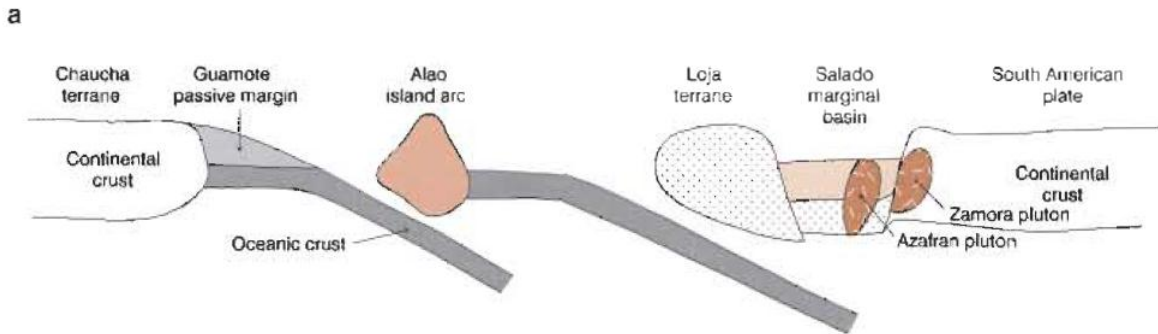


Ilustración 43. Terrenos de la cordillera Real hace 160 Ma.  
Fuente: Litherland et al. (1994).

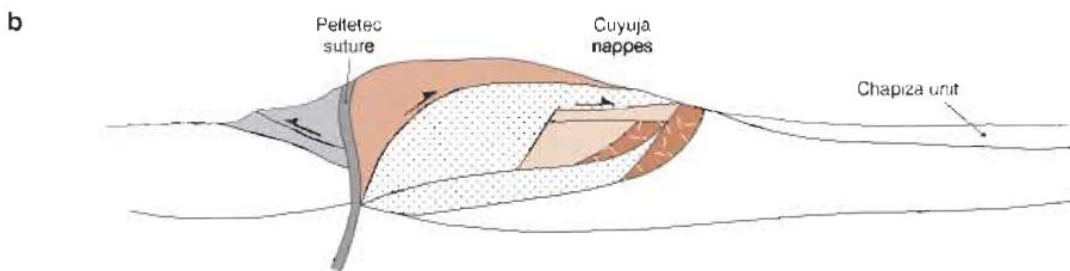


Ilustración 44. Terrenos de la cordillera real después del Evento Peltelec hace 135 Ma.  
Fuente: Litherland et al. (1994).

## ERA PALEOZOICA

Como se puede ver en la Ilustración 43 Litherland et al. (1994) no indican ningún basamento ni tampoco la potencia de la unidad Chigüinda. Sin embargo, ahora se sabe que las samitas de la unidad Chigüinda se depositaron sobre basaltos marinos que muy posiblemente fueron de corteza oceánica, cuya edad se asume sea del paleozoico inferior, y menos probablemente del Precámbrico. Es probable que también se haya formado un arco volcánico ya que los esquistos cuarzo-pelíticos no se encuentran yaciendo sobre todas las metabasitas al oeste del parque eólico. Posterior a la deposición de estas samitas existe una intensa actividad orgánica y la formación de un pantano de grandes extensiones.

Es evidente por las estructuras lenticulares que existió una playa ya que estas estructuras se forman en la zona intermareal. Siguiendo la Lógica de Litherland et al. la playa debió estar hacia el oeste o hacia el sur, ya que los esquistos grafiticos hacia el norte no tienen continuidad y son totalmente reemplazados por cuarcitas y esquistos de cuarzo y mica provenientes de areniscas que se forman en el ambiente de playa, (salvo que hayan sido erosionados los esquistos pelíticos y grafiticos). La sedimentación tuvo un largo periodo de tiempo durante el Paleozoico medio o superior (Devónico o Carbonífero ?).

## **ERA MESOZOICA**

Una vez terminados los procesos exógenos estos sedimentos son enterrados, su potencia fue de varios cientos de metros y algunos pudieron haber sido erosionados. Luego como Litherland (1994) lo indica, el terreno Loja es afectado por la compresión durante el evento Peltelec en el Cretácico Temprano. Los primeros plegamientos serían los que tienen dirección NNE y SSW, podrían estar asociados al evento Peltelec ya que es la mayor etapa de compresión. Este evento tiene una trascendencia muy importante para el posterior emplazamiento de las rocas ígneas ya que generó un intenso fallamiento y fracturación en las rocas, que posteriormente en etapas de distensión permitieron el emplazamiento de intrusiones ígneas. Pudo haber sido durante el evento Peltelec el periodo de plegamiento de la primera familia de pliegues con dirección NNE-SSW.

Debido a que la intrusión Villonaco no posee ninguna foliación, es máfica y con tendencia toleítica, lo más probable es que haya sido una de las primeras intrusiones de roca ígnea en emplazarse, su edad inferida es del Cretácico Inferior y posiblemente antes de la compresión del evento Peltelec. Esta intrusión provocó metamorfismo de contacto de las rocas caja que posiblemente no estuvieron metamorfoseadas ya que una roca metamórfica, al formarse bajo presiones y temperaturas elevadas, no se altera fácilmente con las intrusiones de roca ígnea. Por otro lado, los diques de granodiorita que atraviesan a las rocas metamórficas no forman aureolas de metamorfismo de contacto, principalmente por su tamaño reducido; pero también debido a que la roca posiblemente estuvo metamorfoseada al momento de la intrusión (Bateman; 1982). La gran cantidad de diques emplazados aprovecharon las fracturas provocadas durante el evento Peltelec. Entonces el metamorfismo debió de haber comenzado después del evento Peltelec y duró un gran periodo de tiempo hasta la cristalización total y enfriamiento de todas las intrusiones ígneas.

## ERA CENOZOICA

No se podría saber cuándo paró el metamorfismo; pero posiblemente sea la edad que tiene la intrusión de Duraznillo ( $58 \pm 2$  Ma.) o la edad de su enfriamiento. Vale la pena aclarar que estos procesos son endógenos y que por lo tanto estas rocas debieron permanecer enterradas durante un largo periodo de tiempo. Algunas rocas que no se han metamorfoseado totalmente o que han sufrido metamorfismo de bajo grado debieron de estar menos enterradas que las otras cuyo metamorfismo es de facies de anfibolita y esquistos verdes o de las zonas de biotita y estauroлита. El metamorfismo ocurrido es del tipo regional y por lo tanto estuvo asociado a procesos de orogénesis.

Los diques e intrusiones pequeñas están conectados a una fuente magmática a profundidad. La intrusión de Duraznillo tiene la misma edad que el batolito de San Lucas y es por eso que se ha considerado como asociada a dicho batolito. Sin embargo el punto de emanación de las lavas de la formación Loma Blanca se desconoce y hay diques afaníticos que poseen una composición química similar a la de las formación Loma blanca, es probable que algunos de estos diques formen parte de la formación Loma Blanca. Existen cabalgamientos que atraviesan estos diques afaníticos y no se sabe la edad exacta de dichos diques.

Entre el final del Eoceno y principio del Oligoceno, existe un periodo de vulcanismo en donde se emanan las lavas y piroclastos ácidos de la formación Loma Blanca que posteriormente es erosionada, proceso que muy probablemente esté asociado a la génesis de la formación Trigal que se deposita en el Mioceno sobre los esquistos gráfícos y pelícos.

Posteriormente, en el Plioceno (Paladines y Soto, 2010) ocurre el levantamiento de los Andes. Las fallas geológicas de cabalgamiento pueden estar asociadas a este levantamiento. A finales de este levantamiento y hasta los tiempos modernos han dominado los procesos de erosión, reflejados por encañonamientos en las quebradas, depósitos aluviales angulosos, depósitos coluviales y movimientos de ladera presenciados e incluso durante la fase de campo en el presente trabajo.

## CONCLUSIONES

- a) En el polígono de estudio planteado existen 9 estructuras litológico-formacionales presentes: las metabasitas, los esquistos cuarzo-pelíticos, los esquistos grafiticos, el intrusivo Villonaco, el intrusivo Duraznillo y los diques e intrusiones pequeñas provenientes de una cámara magmática común en profundidad, lavas y piroclastos de la formación loma-blanca, areniscas y sedimentos de la formación trigal, y depósitos aluviales y coluviales modernos.
- b) El cerro Villonaco es un intrusivo de cuarzo-monzodiorita de flogopita-biotita-ortopiroxeno-hornblenda. Es rico en fosfatos, y además tiene un gran porcentaje de minerales opacos como sulfuros primarios de cobre y hierro, ilmenita y magnetita. Es un granito del tipo I que tectónicamente se emplazó en un ambiente de arco de islas volcánicas marinas. Su edad es desconocida; pero es más antiguo que el resto de intrusiones ígneas. Forma un diapiro que intruye a cuarcitas, esquistos de Qtz-Bt-Ms y esquistos grafiticos de la unidad Chigüinda, así como las metabasitas más antiguas.
- c) Al noroeste del cerro Villonaco existe un intrusivo de sienogranito de lepidolita-moscovita-biotita. Es pobre en fosfatos y entre los minerales opacos se puede encontrar ilmenita y magnetita, que juntos no conforman ni siquiera el 1% de la roca. Este granito es del tipo S debido a que se encontró una capa de grafito y cuarcita dentro del intrusivo. Su edad es del Paleoceno. Intruye esquistos grafiticos de St, esquistos grafiticos de Bt-Ms y cuarcitas.
- d) Enterrada a lo largo de toda la zona de estudio existe una roca ígnea de grandes extensiones que produjo diques de granito y granodiorita con textura porfirítica, y otros de composición rio-dacítica con textura afanítica. La mayoría de diques de grano grueso son de granitos o granodioritas de moscovita-biotita con fenocristales de plagioclasa y matriz de cuarzo y feldespato alcalino. Los diques atraviesan a las metabasitas y a los esquistos grafiticos.
- e) Las estructuras geológicas regionalmente importantes son dos familias de pliegues con dirección de eje NNE-SSW y NNW-SSE respectivamente. Una falla de cabalgamiento con dirección NNE-SSW que buza al noreste alineada con los ejes de los pliegues de la misma dirección, relacionada posiblemente con el cinturón de anfibolitas y con el intrusivo Urihuanga.

- f) Se encontraron diques de material ígneo, vetas y arcilla de origen hidrotermal atravesando las rocas metamórficas de la unidad Chigüinda.
- g) Los contactos encontrados fueron: discordancia fundamental entre metabasitas y esquistos grafiticos, discordancia angular entre esquistos cuarzo-pelíticos y esquistos grafiticos.
- h) Las geoformas más sobresalientes son las cuestras, superficies de cuestras de cuarcitas y esquistos de cuarzo acordes a sus datos estructurales y relieves tipo sierras de esquistos y sierras de cuarcitas.
- i) Durante la era Paleozoica en la zona de estudio existió un fondo oceánico basáltico en donde se depositaron sedimentos samíticos, posteriormente sedimentos organogénicos y pelíticos en ambientes de litoral y posiblemente también de transición.
- j) Existió un gran evento de compresión y fracturación muy posiblemente asociado al evento Peltelec.
- k) La intrusión Villonaco se emplazó en un periodo de tiempo intermedio entre el batolito de Zamora y el Batolito de Tangula, provocando metamorfismo de contacto entre los sedimentos existentes. Posiblemente la intrusión tiene la edad de las primeras apariciones del batolito de Tangula.
- l) Los diques y vetas se emplazaron después de la intrusión Villonaco aprovechando fallas y fracturas provocadas por compresiones del evento Peltelec o posteriores al mismo.
- m) Entre el Eoceno tardío y el Oligoceno temprano se depositaron las lavas y piroclastos de la formación Loma Blanca discordantes sobre las rocas metamórficas aprovechando fracturas existentes.
- n) Después del último levantamiento de la Cordillera Real de los Andes en la zona de estudio, empezaron procesos de erosión. La resistencia a la erosión de cuarcitas en el Villonaco impiden que se erosionen estas rocas como sus vecinas adyacentes y por esta razón el cerro Villonaco se muestra sobresaliente en el nudo del sector oeste de la ciudad de Loja como una superficie de cuestra hecha de cuarcitas.

- o) Al oeste y al este del nudo principal entre los cerros Villonaco y Ventanas se crean valles en V, producto de la erosión fluvial, pero es solo en el flanco este en donde se ha logrado una importante deposición aluvial y coluvial debido a que en el flanco oeste las pendientes muy pronunciadas no permiten más que una mínima deposición de terrazas aluviales en tramos planos por donde fluyen las quebradas. Las pendientes distintas se asocian a cambios de litología y diferentes datos estructurales en ambos flancos de la cordillera.

## RECOMENDACIONES

- a) Existen grandes recursos de grafito que podrían explotarse económicamente si existiera una industria que necesite este material.
- b) Las metabasitas están poco caracterizadas, es muy posible que su protolito sea un arco de islas marinas. Se recomienda su caracterización más detallada.
- c) No se recomienda usar los datos de FRX sin el porcentaje de  $\text{Na}_2\text{O}$  para caracterizar rocas ígneas ni minerales en metabasitas ya que la existencia de fases minerales como la jadeíta, albita o anfíboles sódicos no serían tomados en cuenta o se confundirían con otros minerales. A pesar de la concordancia entre los análisis mineralógicos y químicos usando el diagrama AFM de Thompson en la mayoría de las muestras, úsese una técnica auxiliar para diferenciar el  $\text{FeO}$  y el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y tener mejor precisión en los diagramas.
- d) Para conocer la edad de las anfibolitas podrían usarse técnicas de zircón que puedan indicar la edad de fusión de los basaltos y la edad de recristalización del zircón, es decir edades de emplazamiento y de metamorfismo.
- e) Búsquese fósiles en la formación de esquistos gráfiticos en donde las rocas muestren metamorfismo bajo para poder datar la edad de formación de estas rocas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bateman, A. (1982). *Yacimientos minerales de rendimiento económico*. Sexta edición. Barcelona. Ediciones Omega.
- Benítez, S. (2011). *Informe geológico y de riesgos geológicos del Parque Eólico Villonaco- Loja*. Informe técnico de la empresa MULTIGEO a petición de Goldwing-CELEC.
- Best, M. G. (2003). *Igneous and metamorphic Petrology*. 2da. Edición. Turín-Italia. Blackwell Science Ltd.
- Bucher, K. & Frey, M. (1994) en Gómez (2006). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer. [Las 6 primeras secciones del capítulo 4].
- Calatayud, G., García, V. Marín, P. Sierra, N. & Vélez, A. (2010). *Restauración de un ecosistema de páramo en Villonaco (Loja, Ecuador) afectado por una plantación de pino patula (Pinus patula)*. Recuperado el 2 de Julio de 2015, de [http://www.mcalliance.org/WebRoot/mcalliance/Shops/mcalliance/4C41/439A/88BF/FF9/D056/C0A8/D218/D26A/Paramo\\_Villonaco.pdf](http://www.mcalliance.org/WebRoot/mcalliance/Shops/mcalliance/4C41/439A/88BF/FF9/D056/C0A8/D218/D26A/Paramo_Villonaco.pdf) .
- Chappel, B. W. & White, J.R. 2001. Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48, 489-499.
- Chiradia, M., Fontobé, L. & Paladines, A. (2004). Metak Sources un Mineral Deposits and Crustal Rocks of Ecuador (1° N- 4° S): A Lead Isotope Synthesis. *Economic Geology*, 99, 1085-1106.
- *Clasificación modal de rocas plutónicas en el doble triángulo QAPF (Streckeisen, 1976)*. Sitio web del Departamento de Geología de la Universidad de Granada. Recuperado el 10 de agosto de 2015, de <http://www.ugr.es/~petgguim/P3cweb.htm>
- Feininger, T. (1982). *The metamorphic "basement" of Ecuador*. *Geological Society of America Bulletin*, 93, 87-92.
- Gómez, J. (2006). *Metamorfismo- Apuntes de clases*. Sitio web de la Universidad de Zaragoza. Recuperado el 14 de marzo de 2015 de <https://www.scribd.com/doc/130091135/Metamorfismo>
- Harrison. S.M. (1990). Radiometric ages (Rb-Sr, K-Ar and Sm-Nd) for rocks from the Cordillera Real, Ecuador: Phase II. *British Geological Survey Technical Report*, 90, 12-29.
- Hollocher, K. *Whole Rock Chemical Discriminant Diagrams*. Sitio web del, Departamento de Geología de la Universidad Union College, Nueva York. Recuperado el 4 de abril del 2015, de [http://minerva.union.edu/hollochk/c\\_petrology/discrim/discrim.htm](http://minerva.union.edu/hollochk/c_petrology/discrim/discrim.htm)

- Huang, W.T. (2010). *Petrología*. Ciudad de México. Traducido por Rafael García Díaz. Noriega Editores. (año de la publicación original 1962).
- Hungerbühler, D., Steinmann M., Winkler, W., Seward, D. Egüez, A., Peterson, D., Helg, & U. Hammer C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57, 75–124.
- Keary, P. (2001). *Dictionary of Geology*. (2da. Edición).Londres. Pinguin Group.
- Kennerly. J.B. (1973). "Geology of Loja province, *Southern Ecuador*". Loja-Ecuador. Ediciones UTPL. Loja-Ecuador.
- Kiss, K & Bräuning, A. (2008). *The mountain Rainforest: Scientific Discoveries in a Highly Diverse Ecosystem in southern Ecuador*. Loja- Ecuador. Proyecto de Fundación Alemana de Investigación Científica (Unidad de Investigación FOR 402) y Naturaleza y Cultura Internacional.
- Klein, C. & Hurlbut, C.S. Jr. (1997). *Manual de mineralogía basado en la obra de Danas*. Cuarta edición de castellano. Barcelona. Editorial Reverté.
- Kyaw, L. Z., Lucas D. S., Wayan, W. & Koichiro, W. (2011). Petrogenetic interpretation of granitoid rocks using multicationic parameters in the Sanggau area Kalimantan Island, Indonesia. *Journal of South East Asian Applied Geology*, 3(1), 45-53.
- Le Bas, M. J. & Streckeisen, A. L. (1991) .The IUGS systematics of igneous rocks. *Journal of the Geological Society*, 148, 825-833.
- Le Maitre, R., W. (Ed.). & Comisión de la IUGS. (2002). *Igneous Rocks : Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge. Cambridge University Press.  
Recuperado de  
<https://svpn.utpl.edu.ec/+CSCO+00756767633A2F2F667667722E726F656E656C2E70627A++/lib/bibliotecautpl/detail.action?docID=10069858&p00=igneous+rocks+recommendations+international+union+geological+sciences+subcommission+systematics+igneous+rocks>
- Litherland, M., Aspden, J. Jamielita, R. (1994). *The metamorphic Belts of Ecuador*. Nottingham- Reino Unido. Servicio Geológico Británico. Memorias de Ultramar (11).
- López M. 1988. *Manual de Fotogeología*. Madrid-España. Editora CIEMAT.
- Malgarejo, J. (1997). *Atlas de asociaciones minerales en Lámina Delgada*. Barcelona-España. *Publicaciones de la Universidad de Barcelona*.
- McSween, H. Y., Richardson, S. M. & Ulhe M. E. (2003). *Geochemistry Pathways and Processes*. Imprenta de la Universidad de Nueva York . Libro electrónico

- recuperado el 6 de septiembre de 2015, de <https://www.scribd.com/read/248166748/Geochemistry-Pathways-and-Processes>
- Nelson, S. (2011). Triangular Plots in Metamorphic Petrology. Sitio web de la Universidad Tulane, Nueva Orleans. Recuperado el 7 de agosto del 2015, de [http://www.tulane.edu/~sanelson/eens212/triangular\\_plots\\_metamorphic\\_petrology.htm](http://www.tulane.edu/~sanelson/eens212/triangular_plots_metamorphic_petrology.htm)
  - Noble, S.R., Aspden, J.A. & Jemielita.R.(1997). Northern Andean crustal evolution: New U-Pb geochronological constraints from Ecuador. *Geological Society of America Bulletin*,109 (7),789-798.
  - Palacios, J., Rivero F. & Rosero, D. (2014). *Boletín Climatológico Anual 2013*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Recuperado el 4 de octubre de 2015 de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/clima/#>
  - Paladines, A. & Soto, J. (2010). *Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador*. Loja-Ecuador. Editorial UTPL.
  - Patanostre, V., Robles G. & Soto, J. (1994) "Fabricación de láminas delgadas y secciones pulidas en el laboratorio de petrografía y metalurgia de la escuela de Minas de la UPTL". *Manual Minero # 6 de la Escuela de Minas de la UTPL*.
  - Pearce, J. (1996). Source and Settings of Granitic Rocks. *EPISODES*, 19(4),120-125.
  - Pearce, J.A., Harris, N. B.W. & Tindle, A., G. 1984. "Trace Element Discrimination for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Oxford Journal. Journal of Petrology*, .25 (4), 956–983.
  - Perkins, D. Henke, K. (2002). *Minerales en Lámina Delgada*. Traducción al español por Manuel Pozo Rodríguez. Pearson Education.
  - Petrelli, M. Poli, G. Perugini, D. & Peccerillo, A. (2005), PetroGraph: A new software to visualize, model, and present geochemical data in igneous petrology. *Geochem Geophys Geosyst*, 6 (7). Julio de 2005. Recuperado el 27 de febrero de 2015, de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005GC000932/epdf>
  - Petrelli, M., Poli, G. D., Perugini, D. & Peccerillo, A. (2007). PetroGraph versión 2beta. Recuperado el 1 de abril del 2015, de <http://accounts.unipg.it/~maurip/SOFTWARE.htm>
  - Ragan, D. (2009). *Structural Geology- An introduction to geometrical techniques*. Cuarta Edición. Imprenta de la Universidad de Cambridge. Pag. 179-182.Libro Digital obtenido en <http://blogsdelagente.com/sapypetufuky/structural-geology-an-introduction-to-geometrical-techniques-4th-edition-pdf-free/>

- Raith, M., Raase, P. & Reinhardt, J. (2012). *Guide to thin section microscopy. Optical Properties (pp.60-126)*. Segunda Edición. Recuperado de [http://www.minsocam.org/msa/openaccess\\_publications/](http://www.minsocam.org/msa/openaccess_publications/)
- Reim, W. & Greim-Klee, S. (2003). *Apuntes Geología General: Las rocas ígneas*. Sitio Web del Departamento de Geología de la Universidad de Atacama. Recuperado de <http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap04a.htm> Última modificación: 13-01-2013.
- Reineck, H. & Singh, I. (1986). *Deposital and Sedimentary Environments*. Segunda Edición corregida y actualizada. Editorial Springer Verlag Berlin.
- Reyes, P. (2011). Discusión sobre la evolución jurásico-cretácica de la Cordillera Real y del bloque Amotape. Quito- Ecuador. *Revista Politécnica* 30(1), 30, 1-16.
- Rundle, C.C. (1988). Potassium-argon ages for minerals from the Cordillera Real, Ecuador. *Natural Environment Research Council Isotope Geology Centre Report*, 88, 7-20.
- Smulikowski, W., Desmons, J., Fetts, D. J., Harte, B., Sassi F., P. & Schmid, R. (2003). *Types of metamorphism*. Sitio web del Servicio Geológico Británico. Última actualización el 1 de febrero de 2007. Recuperado el 24 de marzo del 2015, de [http://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper\\_2.pdf](http://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_2.pdf)
- Soto, J. & Guamán, G. 2002. Investigación geofísica para la captación de aguas subterráneas en la hacienda el Villonaco. Tesis de grado de la UTPL. Loja- Ecuador.
- Spikings, R.A., Winkler, W., Seward, D., & Handler, R., 2001. Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 186, 57–73.
- STRECKEISEN, A. (1976). To each plutonic Rock its proper name. *Earth Science Review*, 12, 1-33.
- Tarbuck, E.J., Lutgens, F. K. & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Octava edición. Madrid Editorial Pearson Pentice Hall.
- Tyrrell, G.W. (1963). *Principios de Petrología*. Primera Edición de castellano. Cuarta Impresión. Traducido por Óscar Manuel Becerril. Ciudad de México Compañía Editorial Continental S.A. México D.F. (año de la publicación original 1926).
- Vallejo, D. F., Salazar, A. F. & Toro, L., M. (2011). Petrografía y geoquímica de las rocas intrusivas aflorantes entre los municipios de Mistrató y Belén de Umbría. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología*, 33 (2), 47-57.

- Winchester, J.A. & Floyd, P.A. (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Compañía de Publicaciones Científicas ELSEVIER. Geología Química*, 20, 325-343.

**ANEXOS**

## ANEXO I- TÉCNICA DE HOMOGENIZACION Y CUARTEO DE LA MUESTRA.



Las muestras una vez pulverizadas son colocadas sobre un plástico y se homogenizan moviendo cada esquina en sentido anti-horario (u horario no importa) hacia el centro, una a la vez, de tal manera que se mezcle toda la muestra y se repite este movimiento 30 veces. Luego se da una forma aplanada a la muestra con ayuda de la espátula para luego dividirla en una rejilla como se muestra en la fotografía de abajo (página siguiente). Una vez obtenida esta rejilla se procede a tomar fracciones pequeñas de muestra desde el centro de cada cuadradito formado. Este procedimiento permite que la muestra sea representativa.



## ANEXO II. RESUMEN DEL TRABAJO DE CAMPO.

### A. Tabla de descripción de afloramientos en campo.

Abreviaciones usadas en la tabla:

IV. Intrusivo Villonaco

ID. Intrusivo Duraznillo

IE. Intrusivo Eucaliptos

ICV. Intrusivo Cerro Ventanas

IR. Intrusivo Rumicorral

IU. Intrusivo Urihuanga.

DE Dato estructural, por cuestiones de espacio se ha preferido utilizar la notación de "dirección de buzamiento / inclinación de buzamiento".

Los puntos "0" son puntos donde la información fue provista por el CELEC. En la descripción de esta se interpreta la información geotécnica evaluada por el *logger*. En la descripción de estos puntos P1, P2, etc. significa Plataforma 1, Plataforma 2, etc.

Al indicar lo siguiente "...una veta de 15cm.....un dique de 2,5m....un lente de 2,5cm..." se está refiriendo a la potencia de la estructura, salvo que se indique lo contrario.

El campo Punto indica el *waypoint* que toma el GPS GARMIN E-TREX 30. Desafortunadamente al importar los datos no es posible cambiar el nombre de cada *waypoint*.

La mineralogía es incompleta en la mayoría de los afloramientos, ya que solo se indican los principales minerales vistos en campo bajo lupa de mano de 10 aumentos.

Punto	Formación Geológica	DESCRIPCIÓN	ESTRUCTURA	Muestras
0	IV.	Roca ígnea aflorante y misma roca meteorizada a profundidad (P1).		

0	MB.	Benítez (2011) describe que los basaltos afloran en la plataforma 2, corresponde a este punto, se los correlaciona con las metabasitas (P2).		
0	MB.	Las metabasitas se encuentran intruidas por roca ígnea muy meteorizada (P3).	INTRUSIVO VILLONACO ENTERRADO APROXIMADAMENTE A 14M.	
0	EG.	Esquistos cuarzo pelíticos. Debajo de los 14m existen esquistos grafiticos (P4).	CONTACTO ENTERRADO ENTRE ESQUISTOS GRAFÍTICOS Y PELÍTICOS.	
0	EG.	Esquistos cuarzo pelíticos que entierran bajo los 5 metros a esquistos grafiticos (P5).	CONTACTO ENTERRADO ENTRE ESQUISTOS GRAFÍTICOS Y PELÍTICOS.	
0	EG.	Esquistos grafiticos encontrados a lo largo de toda la perforación (P6).		
0	EG.	A partir de 10m existen esquistos grafiticos (P7).	POSIBLE CONTACTO ENTERRADO.	
0	EG.	Esquistos micáceos (P8).		
0	EG.	Micacitas color gris (P9).		
0	EG.	Esquistos grafiticos a los 16m de profundidad.	CONTACTO ENTERRADO ENTRE ESQUISTOS GRAFÍTICOS Y ESQUISTOS CUARZO PELÍTICOS.	
0	EG.	Esquistos grafiticos a los 12m de profundidad. Afloran en el flanco oeste.	CONTACTO ENTERRADO ENTRE ESQUISTOS GRAFITOSOS Y ESQUISTOS CUARZO PELÍTICOS.	
0	IV.	Roca intrusiva meteorizada. Las metabasitas se encuentran enterradas a una profundidad de 9m (P2-A).		
0	ECP.	Micacitas de color gris claro.		
1	ECP.	Roca meteorizada.		
2	ECP.	Roca meteorizada.		
3	ECP.	Roca meteorizada.		
4	ECP.	Roca meteorizada.		

5	ECP.	Roca meteorizada.		
6	ECP.	Cuarcita de crucero pizarroso. Color gris claro. DE= 130°/31°.	GEOMORFOLOGÍA CON SUPERFICIE DE CUESTA PRONUNCIADA POR LA DUREZA DE LA CUARCITA	M- 1 A
7	ECP.	Cuarcita masiva de color blanco. Color blanco.	GEOMORFOLOGÍA CON SUPERFICIE DE CUESTA PRONUNCIADA POR LA DUREZA DE LA CUARCITA	M- 1 B
8	ECP.	Contacto entre las cuarcitas y el esquisto cuarzo-pelíticos. El suelo pasa de ser compacto a ser blando y arcilloso.		
9	ECP.	Filita micácea de crucero pizarroso. Roca alterada y atravesada por vetas de hasta 10cm de cuarzo paralelas a la foliación. DE= 110° /70°.	VETAS DE CUARZO	
10	ECP.	Roca muy alterada. Aflora en un derrumbe.		
11	ECP.	Roca muy alterada. Aflora en un derrumbe.		
12	ECP.	Roca muy alterada. Aflora en un derrumbe.		
13	ECP.	Cuarcita de crucero pizarroso. Atravesada por vetillas de cuarzo de hasta 1cm.	VETAS DE CUARZO	M- 2
14	ECP.	Esquisto de crucero filático. Además de Qtz-Bt hay un mineral de grano muy fino no reconocible. DE= 118° /50°.		M- 3
15	ECP.	Debajo de las rocas metamórficas se encuentra enterrada una intrusión de caolín con forma de domo. Muestra I-1. DE= 148° /35°.	INTRUSIÓN DE CAOLÍN	M- 4 I- 1
16	IV.	Roca ígnea máfica. Textura fanerítica. Se aprecia la pared (muestra I-2B). En la parte alta tiene estructuras de meteorización esferoidal (muestra I-2A).	INTRUSIÓN ÍGNEA DISCORDANTE METEORIZACIÓN ESFEROIDAL	I- 2 A I- 2B
17	IV.	Roca alterada y cubierta de vegetación. Textura fanerítica.	INTRUSIÓN ÍGNEA DISCORDANTE	
18	IV.	Roca alterada y cubierta de vegetación. Textura fanerítica.	INTRUSIÓN ÍGNEA DISCORDANTE	

19	IV.	Roca alterada. Contacto entre los esquistos cuarzo-pelíticos y el intrusivo del cerro Villonaco, tapado por vegetación.	CONTACTO DE INTRUSIÓN ÍGNEA CON ESQUISTOS CUARZO-PELÍTICOS	
20	IV.	Roca alterada y cubierta de vegetación. Textura fanerítica.	INTRUSIÓN ÍGNEA DISCORDANTE	
21	IV.	Contacto entre el intrusivo y cuarcitas. El contacto se encuentra tapado por la vegetación. Mejor foliación al alejarse del contacto.	CONTACTO INTRUSIÓN ÍGNEA CON CUARCITAS	
23	ECP.	Cuarcita muy pura intercalada con esquisto gráfítico. La cuarcita tiene magnetita y hematita aproximadamente en un 2%. DE= 138°/42°.		M- 5
24	ECP.	Cuarcita muy pura de crucero pizarroso. Aproximadamente el 2% de la roca consiste en magnetita, hematita, fluorita y apatito.		M- 6 A M- 6 B
25	EG.	Esquisto gráfítico con abundante grafito y en menor cantidad sedimentos pelíticos metamorfoseados.		
26	EG.	Esquisto gráfítico con abundante grafito y en menor cantidad sedimentos pelíticos metamorfoseados (Qtz-Bt-Ms).		
27	EG.	Esquisto gráfítico que entierra a un material limo-arcilloso que corresponde a un intrusivo meteorizado.		
28	EG.	Esquisto gráfítico de crucero filático. DE= 285°/43°.		
29	EG.	Esquisto gráfítico de crucero filático. DE= 315°/29°.		
30	EG.	Roca metamórfica muy coherente de textura tipo lineación. Tiene crenulaciones, vetillas de cuarzo poco continuas de 1-2cm.	MICROPLIEGUE CERCANO A INTRUSIÓN ÍGNEA	M- 8
31	EG.	Filitas (DE= 122/81) atravesados por diques de: 1) Granodiorita, 3m (muestra I-3 A DE=166°/70°. 2)Caolín de 0,5m (muestra I-3B) DE=160°/86°.	DIQUES DE COMPOSICIÓN INTERMEDIA	I- 3 A I- 3 B

32	EG.	Micropliegue en las cuarcitas gráficas atravesadas por dos diques básicos color gris claro, recubiertos por un óxido púrpura. El primero de 90cm, DE= 285 ° /78 °. El segundo de 45cm y con DE= 120 ° /87 °.	DIQUES DE COMPOSICIÓN DACÍTICA	I – 5 M – 9
33	IV.	Afloramiento de roca intrusiva meteorizada, con ciertos bloques menos alterados. Textura fanerítica.	INTRUSIÓN ÍGNEA DISCORDANTE	
34	IV.	Es la misma roca intrusiva que en el punto 33 más o menos meteorizada.	INTRUSIÓN ÍGNEA DISCORDANTE	
35	IV.	Corneana (muestra M-10) con crenulaciones paralelas al contacto (DE= 215/89). Contacto de intrusivo-esquistos cuarzo-pelíticos.	INTRUSIÓN ÍGNEA DISCORDANTE	M – 10
36	ECP.	Termina la corneana dando paso a los esquistos de los cuales se formó la corneana.	CORNEANAS	
37	ECP.	Dique afanítico, composición intermedia (muestra M-13), DE= 168 ° /56 °. Es rodeado por una aureola de caolín. Los esquistos tienen un DE= 345 ° /70 °.	INTRUSIÓN ÍGNEA CON FUERTE AUREOLA DE CONTACTO	M- 13
38	ECP.	Esquistos con DE= 89 ° /69 °.		
39	IV.	Roca de ígnea fanerítica muy alterada. Se encontró roca sana enterrada en el talud del afloramiento.	INTRUSIÓN ÍGNEA DISCORDANTE	
40	IV.	Contacto del intrusivo del cerro Villonaco con esquistos de clorita.	INTRUSIÓN ÍGNEA DISCORDANTE METEORIZACIÓN ESFEROIDAL	
41	ECP.	Existe una corneana que va desde el Punto 40 hasta el punto 41. Su potencia es de 18m.	CONTACTO ENTRE INTRUSIÓN ÍGNEA Y ESQUISTOS CUARZO PELÍTICOS	
42	ECP.	Esquisto meteorizado de color blanco y verde, oxidaciones abundantes, atravesado por una veta de cuarzo de 80cm. DE= 285 ° /62 ° (esquisto y veta)	VETA DE CUARZO	M- 14
43	ECP.	Esquistos atravesados por una veta de 10cm de material feldespático con dirección de 275 ° y sub-vertical.	VETAS DE FELDESPATO Y/O PLAGIOCLASA	V- 2

44	EG.	Esquisto gráfítico con cuarzo granular y vetillas de cuarzo y moscovita. Roca muy meteorizada, imposible tomar DE.	VETAS Y VETILLAS DE CUARZO	M- 15
45	EG.	Esquisto gráfítico con Qtz-Ms atravesado por una veta de 40cm, paralela a la foliación. DE= 264 ° /70 °. Vetillas de cuarzo en la roca.	VETAS DE CUARZO	
47	EG.	Esquisto gráfítico (DE= 118/23) y una capa pequeña de cuarcita que permite ver el desplazamiento de 12cm debido a una falla de DE= 129 ° /75 °.	FALLA GEOLÓGICA- POCO SIGNIFICATIVA	
48	EG.	Cuarcita con Ms-Bt-Chl metamorfoseada de una arenisca de grano fino, contiene limonitas. DE= 230 ° /38 °.		M- 16
49	EG.	Punto importante, cuarcitas intercaladas con esquistos gráfíticos formando microplegues poco definidos. DE= 245°/49 ° y 285 ° /45 ° dirigiéndose al oeste	MICROPLIEGUE- DEBIDO AL CAMBIO DE REOLOGIA DE ESQUISTOS DE GRAFITO-CUARCITAS	
50	EG.	Filitas gráfíticas con Ms-Chl (DE= 243 ° /43 °) atravesadas por vetas y lentes de cuarzo en varias direcciones. Afloramiento meteorizado.	VETAS Y LENTES DE CUARZO PEQUEÑOS (12cm) EN VARIAS DIRECCIONES DE BUZAMIENTO	
51	EG.	Filitas gráfíticas con Chl-Ms-Lm atravesadas por vetas de cuarzo de 0,4m, 2,1m y 0,75m con introducción de material de la roca caja en ellas.	VETAS DE CUARZO GRANDES, DE HASTA 2,1m BUZANDO HACIA EL NW Y SW.	
52	EG.	Filitas de Gr-Qtz-Ms-Lm atravesadas por un dique ígneo meteorizado de 53cm y composición intermedia. Roca atravesada por vetillas de cuarzo. DE= 25 ° /48 ° en las filitas.	DIQUE DE ROCA ÍGENAS MICROPLIEGUE HACIA EL SW	
53	EG.	Filitas gráfíticas con Ms-Chl DE= 95 ° /20 °.		
54	EG.	Cuarcitas grises de crucero pizarroso atravesadas por vetas de cuarzo paralelas a la foliación de la roca. DE= 100/28 (muy confiable).	VETAS DE CUARZO (30cm) CON CRISTALES DE PIRITA DE 2 A 3mm Y LIMOMITAS.	M – 17
55	EG.	Esquistos gráfíticos con Qtz-Ms atravesados por un dique de 1,4m, composición félsica y meteorizado con DE= 80/54. Existen cuarcitas dirigiéndose hacia el SE.	DIQUE FÉLSICO DE 1,4m Y VETAS DE CUARZO DE HASTA 10cm.	M – 18

56	EG.	Afloramiento con 3 litologías bien marcadas: Cuarcitas (SW), dique de granito y esquisto de grafito-moscovita-azufre- limonitas con DE= 246 °/78°.	DIQUE FANERÍTICO DE COMPOSICIÓN FÉLSICA, 13,5M, DISCORDANTE (DE= 75/75). VETAS DE CUARZO (40cm)	M – 19 M – 20 I – 7
57	EG.	Cuarcitas intercaladas con esquistos grafiticos de DE= 245°/62° (al oeste), varía hasta 263 °/50 ° (al E). Dos diques félsicos similares y paralelos, uno de 47cm y DE= 24 °/50°.	DIQUES FÉLSICOS CONCORDANTES. FALLAS MINÚSCULAS LOS ATRAVIESAN DEJANDOLOS SEGMENTADOS	
58	EG.	Afloramiento donde los esquistos grafitosos dominan ante las cuarcitas (capas muy pequeñas). Hay una falla que ha desplazado menos de 50cm a la roca.	FALLA GEOLÓGICA LOCAL POCO IMPORTANTE, POSIBLEMENTE ASOCIADA A OTRA MÁS GRANDE DE= 113 °/77 °	
59	EG.	Contacto entre esquistos grafiticos al oeste y cuarcitas al este. DE= 238 °/50 °. El contacto se haya cubierto de vegetación.	CONTACTO ENTRE ESQUISTOS GRAFÍTICOS Y CUARZO-PELÍTICOS	
60	ECP.	Contacto entre cuarcitas hacia el oeste y esquistos grafiticos hacia el este. DE= 248 °/53 °. El contacto se haya cubierto de vegetación.		
61	EG.	Esquistos grafiticos con unas capas más enriquecidas en grafito y micas que otras a lo largo del afloramiento. DE= 180°/26 °		
62	ECP.	Rocas metamórficas sin foliación y textura decusada. Pertenecen a las facies de esquistos verdes. DE= 177 °/34 °		M – 22 B
63	ECP.	Rocas metamórficas sin foliación. DE= 145 °/43 °		M – 22 A
64	ID.	Esquistos grafiticos con DE= 233 °/33 °, algo cambiante este DE debido a la presencia del intrusivo. En este contacto el intrusivo es rico en Biotita negra.	CONTACTO ENTRE EL INTRUSIVO DEL BARRIO DURAZNILLO Y ESQUISTOS GRAFÍTICOS	
65	ID.		CUERPO ÍGNEO DISCORDANTE	I – 8
66	ID.	El intrusivo se halla enterrado en el suelo bajo esquistos grafitosos y cuarcitas muy enriquecidas en moscovitas. Aflora el intrusivo y el esquisto.	CONTACTO DE INTRUSIVO Y ROCA METAMÓRFICA, A PROFUNDIDAD SOLO HAY INTRUSIVO.	

67	ID.	El intrusivo se halla enterrado en el suelo bajo esquistos gráficas y cuarcitas muy enriquecidas en moscovita.	CONTACTO DE INTRUSIVO Y ROCA METAMÓRFICA, A PROFUNDIDAD SOLO HAY INTRUSIVO.	
68	EG.	Esquistos de Gr-Ms-Qtz- Bt. La composición mineral varía en el contenido de cuarzo y micas. Seguramente el intrusivo se haya enterrado.	BLOQUE DE ROCA METAMÓRFICA COLGANTE BAJO LA INTRUSIÓN IGNEA	M – 23 A M – 23 B
69	EG.	Esquistos de Gr-Ms-Qtz- Bt. La composición mineral varía en el contenido de cuarzo y micas. Seguramente el intrusivo se haya enterrado.	BLOQUE DE ROCA METAMÓRFICA COLGANTE BAJO LA INTRUSIÓN IGNEA	
70	EG.	Esquistos de Gr-Ms-Qtz- Bt. La composición mineral varía en el contenido de cuarzo y micas. Seguramente el intrusivo se haya enterrado.	BLOQUE DE ROCA METAMÓRFICA COLGANTE BAJO LA INTRUSIÓN IGNEA	
71	EG.	Esquistos de Gr-Ms-Qtz- Bt. La composición mineral varía en el contenido de cuarzo y micas. Seguramente el intrusivo se haya enterrado.	BLOQUE DE ROCA METAMÓRFICA COLGANTE BAJO LA INTRUSIÓN IGNEA	
72	ID.	El intrusivo aflora hacia el norte y el suroeste enterrado en el suelo. Se encuentra meteorizado.	CONTACTO ENTRE EL INTRUSIVO Y ROCAS METAMÓRFICAS	I – 9 A
73	ID.	Dique granítico que atraviesa al mismo intrusivo, 10cm de potencia y DE= 345° /52°.	DIQUE O VETA CON MICAS QUE ATRAVIESA AL MISMO INTRUSIVO.	
74	ID.	Intrusión ígnea aflorando en el suelo.		
75	ID.	Intrusión ígnea aflorando en el suelo.		
76	ID.	Intrusión ígnea aflorando en el suelo.		
77	ID.	Contacto muy bien definido entre las roca metamórficas y el intrusivo, que forman un plano sub-vertical de DE= 249°/78°.	CONTACTO ENTRE INTRUSIVO Y ROCAS METAMÓRFICAS	I – 9 B
78	ECP.	Filitas con Ms-Chl-Qtz meteorizadas.		
79	ECP.	Filitas.		
80	ECP.	Cuarcitas micáceas color gris, crucero pizarroso.		
81	ECP.	Cuarcitas micáceas color gris, crucero pizarroso.		

82	ECP.	Pizarras cuarzosas con DE= 48 ° /11 °, varía mucho en una o un par de decenas de metros, pero tiene tendencia de roca a buzarse al NE y SE.		
83	ECP.	Filitas de Chl-Ms-Qtz atravesadas por vetillas de cuarzo de hasta 1cm de potencia. DE= 81 ° /43 °, muy confiable.		
84	ECP.	Pizarras con arcillas, clorita y limonita muy alteradas por la meteorización y/o alteradas por material ígneo.		
85	ECP.	Pizarras de arcillas, clorita y limonita.	ROCAS CON DATO ESTRUCTURAL SUB-VERTICAL	
86	ECP.	Pizarras de arcilla, clorita y limonita.	ROCAS CON DATO ESTRUCTURAL SUB-VERTICAL	
87	EG.	Pizarras metamórficas muy alteradas por la meteorización y/o alteradas por material ígneo.		
88	EG.	Esquistos gráfiticos intercalados con cuarcitas con DE= 265°/36°. Un dique ígneo de composición félsica atraviesa los esquistos de grafito de DE= 141 ° /16 °.	DIQUE FÉLSICO, 50cm, METEORIZADO.	
89	ECP.	Filitas muy fracturadas color gris que entierran a un granito blanco (cuarzo- feldespatos- moscovita) de textura afanítico, relativamente grano grueso.	CONTACTO- INTRUSIVO ENTERRADO BAJO ROCAS METAMÓRFICAS	
90	ECP.	Filitas con datos estructurales muy variantes (DE= 25 ° /48 ° y DE= 12 ° /90 °), al SW de este punto se tomó un DE= 253°/24°, que parece ser más confiable.	MICROPLIEGUES	
91	ECP.	Cuarcitas de grano fino y crucero pizarroso. DE= 113 ° /51 ° (muy confiable).		M – 24
92	EG.	Roca principalmente hecha de Gr-Ms-Qtz y endurecida debido a la gran cantidad de vetillas que atraviesa la roca.	VETAS Y VETILLAS DE CUARZO (HASTA 32cm).	
93	EG.	Dique de feldespatos, cuarzo, moscovita y biotita. El dique tiene una potencia de 13,7m, DE= 12 ° /74 °. Atraviesa a los esquistos gráfiticos.	DIQUE DE GRANITO DE 13,7m DE POTENCIA.	

94	ID.	Material ígneo meteorizado. Cuerpos irregulares discordantes que atraviesan la roca metamórfica		
95	ID.	Material ígneo meteorizado. Cuerpos irregulares discordantes que atraviesan la roca metamórfica.		
96	ID.	Roca granítica de textura fanerítica que aflora en el suelo.		
97	ID.	Granito atravesado por vetas hechas principalmente de moscovita. Casi no existe hierro. El granito se muestra muy permeable.	VETA MOSCOVÍTICA QUE ATRAVIESA AL GRANITO	
98	ID.	Granito que ha sufrido alteración física. Muy permeable.	CONTACTO ENTRE INTRUSIVO DURAZNILLO Y ROCAS METAMÓRFICAS.	
99	ID.	Bajo la Urna de la Virgen del Cisne se encuentra enterrado el granito Duraznillo- La Urna. Además aflora detrás de la urna cubierto de vegetación.	CONTACTO ENTRE INTRUSIVO DURAZNILLO Y ROCAS METAMÓRFICAS.	
100	ECP.	Cuarcitas con lentes de filitas (sedimentos pelíticos). DE= 163/34 en las cuarcitas, muy confiable.	ESTRATIFICACIÓN TIPO FLASER METAMORFOSEADA	
101	EG.	Filitas de Ms-Qtz-Gr con cantidad de cuarzo variable y DE variable entre: 189°/47°, 180°/58° y 174°/38°.	VETAS DE CUARZO	
102	EG.	Existen esquistos gráficas con arcillas, muy meteorizados de un metamorfismo de bajo grado. Micas escasas o ausentes.		
104	ECP.	Esta formación de rocas discordantes aflora fuera del mapa; pero parece tener extensión hacia el sur del polígono y merece atención. DE= 18°/35°.		M – 25
105	ECP.	Un rasgo interesante de esta cuarcita es que es masiva, tiene entre el 90 y 95% de su composición en cuarzo. DE= 12°/44°.		
106	ECP.	Esquistos micáceos con dato estructural similar al de las cuarcitas en el Punto 105.	CONTACTO ENTRE CUARCITAS EL TAMBO Y ESQUISTOS DE CUARZO.	

108	ECP.	Roca con capas de cuarcita de grano fino y minerales pesados intercalados con capas gráficas y pelíticas. DE= 120/90, hacia el norte de un dique.	DIQUE DE 19m DE POTENCIA (DE= 196°/74°)	I – 10 M – 26
109	ECP.	Filitas de Qtz- Ms- Bt con cristales de biotita bien desarrollados; pero escasos en la matriz de la roca. DE= 80°/39°.		
110	ECP.	Pizarras de grano muy fino, crucero pizarroso y DE= 130°/55°.	FLANCO ESTE DE UN ANTICLINAL	M – 27
111	ECP.	Cuarcitas y filitas con óxidos, DE= 285 ° /70 ° que se mantiene algo constante hacia el oeste.	FLANCO OESTE DE UN ANTICLINAL	M – 28
112	ECP.	El DE= 245 ° /20 ° debido a una intrusión ígnea enterrada bajo las rocas metamórficas. Aparece de color rojizo, su composición es granítica o granodiorítica.	INTRUSIÓN IGNEA DISCORDANTE Y METEORIZADA. ROCAS METAMÓRFICAS PLEGADAS FORMANDO UN ARCO.	I – 11 M – 29 A M – 29 B
113	ECP.			
114	ICV.	Esquistos de moscovita-biotita-cuarzo de color gris. Atravesado por un dique de granito discordante.	INTRUSIVO CERRO VENTANAS	
115	ECP.	Esquistos de Qtz-Bt-Gr con crucero filítico atravesados por vetillas de cuarzo de hasta 2,5cm. Mucha vegetación, imposible tomar dato estructural.		
116	ECP.	Esquistos de crucero filítico que al acercarse al este adquieren bandeado gnéisico y textura granoblástica. DE= 130 ° /50 °.	VETAS DE CUARZO AHUMADO Y LECHOSO DE HASTA 5cm.	M – 30
117	ECP.	Esquisto meteorizado con DE= 130 ° /50 °. Roca atravesada por vetas de cuarzo.		M- 31
118	ECP.	Contacto entre las rocas de coloración blanca y las de coloración grisácea.	CONTACTO ENTRE ESQUISTOS DE SERICITA Y ESQUISTOS DE CUARZO	
119	ECP.	Esquistos de Bt-MS-Chl-Qtz de foliación esquistosa y de crucero filítico, es muy marcada la foliación. DE=131 ° /63 °.		

120	ECP.	Esquisto de Chl-Ms, crucero filítico con óxidos de Fe y Mn, la roca está alterada y es de color gris verdosa. DE= 276° /68° (Muy confiable).		M – 32
121	ECP.	Esquisto de cuarzo- moscovita- biotita con óxidos de Fe-Mn.		
122	ECP.	Gneises de composición idéntica a los del Punto 116. DE= 115° /50° a 155° /15°.		
123	ECP.	Gneis bandeado.		
124	ECP.	Gneis bandeado de color crema, atravesado por varias vetas de cuarzo (10cm la mayoría). Sobresale de la superficie, roca muy coherente.	BANDEAMIENTO GNÉISICO.	M – 33
125	ECP.	Aflora el gneis de los puntos anteriores; pero se encuentra meteorizado en esta localización.		
126	ECP.	En este punto ya no se ve ningún gneis. En este sitio afloran cuarcitas con moscovita además de esquistos pelíticos con extensión grande.		M – 34 A M – 34 B
127	ECP.	Filitas de Qtz- Ms- Bt. La biotita es escasa y existen limonitas. DE= 137° /59°.		
128	ECP.	Filitas de Qtz- Ms- Bt. DE= 28° /60°. Vetas de cuarzo de hasta 15cm de potencia paralelas a la foliación de la roca.	VETAS DE CUARZO	
129	ECP.	Filitas de Ms-Chl DE= 315° /45°.		
130	ICV.	Rocas metamórficas edafizadas que entierran a un intrusivo de composición ácida, igualmente muy meteorizado.	INTRUSIVO ENTERRADO BAJO LAS ROCAS METAMÓRFICAS	
131	EG.	Esquisto de Ms-Chl-Bt-Qtz. El cuarzo existente proviene de vetillas que atraviesan a la roca y son paralelas a la foliación. DE= 116° /53°.	VETAS CUARZO DE HASTA 40cm. VETILLAS DE CUARZO ABUNDANTES.	
132	EG.	Filitas de Ms-Chl-Gr. Zona de transición entre esquistos de grafito y esquistos micáceos. DE= 189° /28°.	CONTACTO TRANSICIONAL ENTRE ESQUISTOS DE GRAFITO Y ESQUISTOS MICÁCEOS	

133	EG.	Filitas de Chl-Bt meteorizadas, posiblemente tengan moscovita, existen arcillas porque la roca se ha meteorizado.	MICROPLIEGUE	
134	EG.	Dique (DE= 178 ° /68 °) de composición intermedia o básica, 46cm de potencia, muy meteorizado, atraviesa las filitas o metapelitas.	DIQUE	
135	EG.	Dique de 2,9m que atraviesa las filitas pelíticas. El dique se encuentra meteorizado, es de composición intermedia, textura porfirítica.		
136	EG.	Micacitas con DE= 119/65 (muy confiable). Existen vetillas de cuarzo de 2cm paralelas a la foliación de la roca.		M – 35
137	EG.	Micacitas con DE= 145 ° /50 °.		
138	EG.	Esquisto de Ms-Bt-Chl con lentes de meta-samitas de más de un metro de largo, además existe un micropliegue que imposibilita tomar datos estructurales veraces.	MICRIPLIEGUE. ESTRUCTURAS LENTICULARES METAMORFOSEADAS.	
139	EG.	Micacitas con lentes de meta- samitas de hasta 80cm de largo. Limonitas en ciertos planos de fractura 225 ° /58 °.	ESTRUCTURAS LENTICULARES METAMORFISADAS.	M – 36
140	EG.	Micacitas con DE= 305 ° /68 °.		
141	EG.	Micacitas que entierran un intrusivo de textura porfirítica con fenocristales de feldespato o plagioclasa blanca en una matriz fina color gris.		
142	EG.	Contacto, la vegetación no permite verlo pero al norte en los afloramientos subsiguientes de los taludes de carretera solo aparece esquisto gráfico.	CONTACTO ENTRE ESQUISTOS MICÁCEOS Y ESQUISTOS GRAFÍTIOS.	
143	EG.	Esquisto gráfico con Bt-Chl de color gris oscuro con limonitas. DE= 345 ° /26 °.		
144	EG.	Esquistos y filitas gráficas, atravesadas por un intrusivo que difícil de apreciar bien en el afloramiento, es muy pequeño.		

145	ECP.	Rocas metamórficas de textura decusada, atravesadas por un sill afanítico, 38 cm de potencia, DE= 329° /31°. Existe poco grafito en la roca.	SILL	I-12
146	EG.	Este es un sitio de transición entre los esquistos grafiticos y anfibolitas (más antiguas). La textura de las anfibolitas es decusada y el DE= 316° /19°.	DIQUE (DE= 218/61) SEPARADO POR UN CABALGAMIENTO DE DE= 306° /25°.	I – 13 A I – 13 B I – 14
147	EG.	Esquistos de grafito- epidota, con DE= 10° /50° muy confiable.		
148	MB.	Anfibolita de textura decusada, cristales aciculares de hornblenda. La estructura de la roca es córnea. Clastos de roca intrusiva.		M – 37
149	MB.	Anfibolitas con varios minerales, solo se identificó el anfíbol y cuarzo en campo. Clastos de roca intrusiva.		
150	EG.	Contacto visible entre los esquistos grafiticos y las anfibolitas, DE= 285° /44° en el contacto. Las anfibolitas se encuentran enterradas.	CONTACTO ENTRE METABASITAS Y ESQUISTOS GRAFITOSOS. DISCORDANCIA FUNDAMENTAL.	M-65
151	MB.	Anfibolitas que afloran en la superficie con DE= 281° /35°.		
152	ECP.	Esquistos con biotita de crucero pizarroso. Coloración entre café y verdoso dependiendo de la biotita o clorita que tenga la roca. DE= 150° /31°.		
153	EG.	Esquistos grafiticos (DE= 289/40) atravesados por un dique de 1,5m y de DE= 239° /77° y vetas de cuarzo.	DIQUE. VETAS DE CUARZO	I-16
154	IE.	Roca intrusiva discordante que atraviesa los esquistos grafiticos en este sector. Es un granito de color lila, varía su composición con la cota.	INTRUSIÓN IGNEA DISCORDANTE- CONTACTO-TECHO DEL INTRUSIVO	I-17
155	IE.	Techo del intrusivo.	INTRUSIÓN IGNEA DISCORDANTE-CONTACTO	
156	IE.	Pared del intrusivo	INTRUSIÓN IGNEA DISCORDANTE-CONTACTO	

157	IE.	Pared del intrusivo. DE= 111 ° /71 °, no muy bien definido, el intrusivo puede no ser tabular y tener un contacto más bien arqueado.	INTRUSIÓN IGNEA DISCORDANTE-CONTACTO	
158	IE.	Pared del intrusivo. Contacto con esquistos grafitosos. DE= 220 ° /43 °.	INTRUSIÓN IGNEA DISCORDANTE- CONTACTO	
159	EG.	Filitas grafiticas con Ms-Qtz-Lm, DE= 275 ° /50 °.		
160	EG.	Filitas grafiticas con Ms-Qtz- Lm. Hay una veta de 12cm que pierde su continuidad tras un relleno de material ígneo. DE= 190 ° /66 °.	FALLA GEOLÓGICA RELLENA DE MATERIAL ÍGNEO POST FALLAMIENTO	
161	EG.	(Error de 5m en este punto). Filitas grafiticas atravesadas por un dique de 72 cm, composición ácida, textura afanítica y DE=206 ° /48 °.	DIQUE.	
162	MB.	Esquistos verdes con franjas grises, granulares, con apariencia cornea. DE= 275 ° /68 °.	VETAS DE CUARZO	M- 38 A
163	MB.	Este intrusivo aflora en la superficie del talud pero se encuentra enterrado por las metabasitas o esquistos verdes.	METEOIRZACIÓN ESFEROIDAL	
164	MB.			M-38B
165	LB.	Lavas ácidas (DE=189 ° /85 °) de 2,5m de potencia que yacen discordantemente sobre filitas pelíticas (ver mineralogía, DE= 295 ° /46 °)	LAVAS CON ESTRUCTURAS COLUMNARES	I-18A, I- 18B
166	LB.	Aglomerados volcánicos ácidos de color blanco sobre filitas de grafito-biotita y posiblemente flogopita.	CONTACTO DE ESQUISTOS GRAFÍTICOS CON LA FORMACIÓN VOLCÁNICA	I-18C
167	ECP.	Esquistos coherentes de estructura masiva y crucero pizarroso, DE= 100 ° /68 °. Hacia el norte este dato cambia a DE= 195 ° /46 °.		M – 39 A
168	MB.	Anfibolita masiva de color gris y gris verdoso con un DE= 313°/46°. Posiblemente pertenece a la facies de anfibolita de epidota.		M – 39 B

169	IE.	Intrusión de composición intermedia y textura de grano grueso que aflora alado de las anfibolitas o esquistos verdes. Ambas rocas se hallan meteorizadas.	CONTACTO ANFIBOLITAS-INTRUSIVO EUCALIPTOS con METEORIZACIÓN EN CAPAS ESFEROIDALES.	
170	IE.	Intrusión ígnea meteorizada.		
171	IE.	Intrusión ígnea con meteorización esferoidal. El contacto de la roca intrusiva con otras rocas se halla cubierto de vegetación.		I-19
172	Tr.	Areniscas tobáceas de clastos volcánicos yacen horizontal y discordantemente sobre los esquistos grafíticos, los cuales se encuentran casi sumergidos por el agua.	DISCORDANCIA FUNDAMENTAL ENTRE LA FORMACIÓN TRIGAL Y LOS ESQUISTOS GRAFÍTICOS	
173	Tr.	Esquistos grafíticos con DE= 167/45 enterrados hacia el SE por las areniscas tobáceas y arcillolitas. Ambas rocas están muy meteorizadas.	CONTACTO ESQUISTOS GRAFITOSOS Y CUENCA DE LOJA	
174	EG.	La roca se encuentra hecha en un 85% de grafito y posee estaurolita. Roca muy fracturada.		
175	EG.	Pizarras cuarzosas y esquistos grafíticos con Ms, una transición entre unos y otros pero pertenecen a la misma formación. DE= 188°/20°.		
176	EG.	Dique de 60cm, composición félsica, color blanco, composición ácida y totalmente meteorizado (DE= 204° /33°) que atraviesa a los esquistos grafíticos.	DIQUE ÁCIDO (FELDESPATO-CUARZO-MOSCOVITA). VETAS CON SULFUROS EN CANTIDADES INSIGNIFICANTES	
177	EG.	Esquistos grafíticos con Qtz-Ms y DE= 176° /23° (muy confiable) que son atravesadas por una intrusión ígnea muy meteorizada, de composición ácida (granito).	INTRUSIÓN IGNEA EN EL SUELO DEL CAMINO	
178	EG.	Esquistos grafíticos que cambian su DE= 163° /44° (Sur) a DE= 231° /43° (norte). No hay fallas ni pliegues, al parecer la cercanía al intrusivo es la responsable de este cambio de buzamiento.	VETAS DE CUARZO.	

179	ECP.	Bajo los esquistos de Gr-Ms-Bt se encuentra un intrusivo de composición ácida que aflora irregularmente en la entrada del barrio Tierras Coloradas.	INTRUSIÓN ÍGNEA ÁCIDA ENTERRADA.	
180	ECP.	Rocas metamórficas enterrando un intrusivo ácido.	INTRUSIÓN ÍGNEA ÁCIDA ENTERRADA.	
181	ECP.	Esquistos muy similares a los del Punto 115. En este afloramiento se encuentran muy meteorizados; pero su dato estructural es confiable DE= 295° /23°.		
182	ECP.	La roca es un esquisto de Bt-Qtz-Ms. Tiene un mineral amarillo que podría ser silimanita. DE= 131° /20° y cambia a DE= 336° /19° y DE= 118° /77° (muy confiable).	MICROPLIEGUE	
183	ECP.	Esquistos de Bt-Ms- Qtz (DE= 314° /29°, muy confiable) atravesados por un dique de 3,4m con DE= 29° /69°.	DIQUE. VETILLAS DE CUARZO	I-20
184	ECP.	Mismos esquistos que en el Punto 183 atravesados por un dique de 2,6m de potencia y DE= 330°/49° composición ácida.	DIQUE	
185	EG.	Micacitas con un DE=334° /55° y pasan localmente a tener esquistos grafiticos.		
186	EG.	Esquistos de grafito que son atravesados por un dique de 1,2m, composición ácida y DE= 334° /71°.		
187	EG.	Esquisto de Bt-Qtz-Ms-Gr. DE= 331° /31°.		M-40
188	EG.	Esquisto grafitico atravesado por vetillas de cuarzo de hasta 16cm.		
189	ECP.	Esquisto muy coherente. DE= 340° /22°.		M-41
191	Tr.	Esquistos grafiticos debajo de areniscas de grano grueso a medio, clastos volcánicos y matriz de ceniza volcánica intercalada con lutitas blancas. DE= 40°/33° en las lutitas.	DISCORDANCIA FUNDAMENTAL FORMACIÓN TRIGAL SOBRE LOS ESQUISTOS GRAFITICOS	

192	EG.	Filitas gráficas con limonitas y cuarzo (DE= 237 ° /61 °) atravesadas y enterrando un intrusivo discordante, ambas rocas muy meteorizadas.	INTRUSIVO ÁCIDO METEORIZADO Y DISCORDANTE. PRESENCIA DE MOSCOVITA.	
193	ECP.	Esquistos Qtz-Bt-Ms-Chl con DE= 134 ° /92 °.		
194	ECP.	Cuarcitas impuras con DE= 163 ° /69 ° enterradas bajo esquistos pelíticos y gráficas.		
195	ECP.	Esquistos de Bt-Ms-Qtz de crucero pizarroso, atravesados por vetillas de cuarzo, posiblemente provenientes de fluidos magmáticos. DE= 122 ° /55 ° muy confiable.	VETILLAS Y VETAS DE CUARZO DE HASTA 5cm.	
196	ECP.	Misma litología que en el Punto 195, posiblemente entre la biotita también exista flogopita. DE= 290°/81°, muy confiable.		
197	ECP.	Cuarcita con Ms-Bt, crucero filítico, el protolito fue una arenisca (textura granular del cuarzo). DE= 149 ° /45 °, muy confiable.	VETAS DE CUARZO DE HASTA 6cm, PARALELAS A LA FOLIACIÓN.	M-42
198	ECP.	Filitas de Chl-Ms-Qtz, la Chl + Ms forman 90% de la roca que es de color verde y aflora en el sendero de la montaña. DE= 345 ° /40 °.		
199	MB.	Rocas masivas de color blanco y negro que le dan una coloración grisácea a la roca.		
200	MB.	Son las mismas rocas del Punto 199. Tienen una textura decusada y masiva, resultaron ser anfibolitas.		M-43
201	IU.	Esta roca aflora desde este punto el Punto 202. Consiste en un dique ígneo enterrada bajo el pasto en el filo de la cordillera.	INTRUSIÓN IGNEA DISCORDANTE COMPUESTA PRINCIPALMENTE DE CUARZO.CONTACTO	
202	IU.	El intrusivo ahora en el suelo del sendero, se nota el suelo blanco debido a la gran cantidad de cuarzo de la intrusión.	INTRUSIÓN IGNEA DISCORDANTE COMPUESTA PRINCIPALMENTE DE CUARZO.CONTACTO	I-21
203	ECP.	Filitas de Ms-Qtz-Bt con limonitas.		
204	ECP.	Rocas metamórficas pelíticas, similares a las del Punto 203.		

205	ECP.	Esquistos de Ms-Grt-Qtz-Ms-Gr textura foliada con mega cristales de granate, afloran en el sendero de la montaña y se hallan meteorizados.		
206	ECP.	Precisión de 6m. Esquisto de Qtz- Bt- Ms con textura granular, no fue posible tomar un dato estructural.		
207	EG.	Intrusivo de granito enterrado bajo los esquistos cuarzo-pelíticos. La roca se encuentra relativamente sana pero atravesada de raíces.	INTRUSIÓN ÍGNEA ENTERRADA	
208	EG.	Esquistos de Qtz-Gr-Bt-Ms de estructura córnea y textura foliada endurecidos por la cantidad de cuarzo que pudo venir de fluidos magmáticos. DE= 240 ° /34 °.		
209	IU.	Pórfido de cuarzo que se encuentra enterrado bajo terrazas aluviales, el intrusivo se pierde hacia el este,		
210	IU.	Contacto con DE= 123 ° /62 ° entre el pórfido de cuarzo y los esquistos de textura córnea hechos de grafito-cuarzo y micas (DE=211 ° /41 °).	CONTACTO ENTRE INTRUSIVO URIHUANGA Y ESQUISTOS GRAFITOSOS	
211	ECP.	Esquistos de proveniente de una cuarcita impura metamorfoseada. DE= 196 ° /44 °.		M-44
212	ECP.	Esquistos similares a los del Punto 211; pero con menos cuarzo y más micas. DE= 215 ° /42 °.		
213	ECP.	Esquistos similares a los del Punto 212. DE= 177 ° /40 °.		
214	ECP.	Esquistos similares a los del Punto 212. DE= 214 ° /37 °.		
215	ECP.	Esquistos similares a los del Punto 212. DE= 232 ° /53 °.		
216	ECP.	Esquistos de micas y cuarzo atravesados por un dique de composición ácida,, 70cm de potencia, textura afanítica y DE= 3 ° /71 °		

217	ECP.	En este punto de la quebrada existe una veta de cuarzo de 2,3m con inclusiones de la roca caja que es un esquistos de micas.	VETA DE CUARZO DE 2,5m. DIRECCIÓN SIMILAR A LA DE LA QUEBRADA.	
218	MB.	En este sitio hay un cambio de la dirección de la quebrada en función de las dos litologías: esquistos de cuarzo y anfibolitas.	CONTANTO ENTRE METABASITAS Y ESQUISTOS CUARZO-PELÍTICOS	M-45A, M-45B
219	ECP.	En este punto vuelven a aflorar los esquistos del contacto anterior en vez de las anfibolitas, son de textura granular. DE= 52° /83°.		
220	ECP.	Filitas de Bt-Qtz-Ms sobre los senderos.		
221	ECP.	Filitas de Bt-Qtz-Ms-Gr sobre los senderos.		
222	ECP.	Filitas de Bt-Qtz-Ms-GR sobre los senderos.		
223	ECP.	Filitas de Bt-Qtz-Ms-Gr sobre los senderos. El grafito es escaso y esporádico. DE= 220° /55°.		
224	IR.	Roca intrusiva que aflora hacia el suroeste, pero en este punto ha intruido a los esquistos de grafito. Los minerales de la intrusión vistos son caolín, arcillas y micas.	INTRUSIÓN IGNEA DISCORDANTE ATRAVIESA Y FRACTURA LOS ESQUISTOS GRAFÍTICOS	
225	IR.	Roca intrusiva de textura afanítica y composición ácida, se encuentra muy meteorizado.		
226	EG.	Esquistos de Gr-Ms-Lm se están muy fracturados y se encuentran atravesados por un intrusivo de composición ácida, textura afanítica igualmente meteorizado.		
227	EG.	Cuarcitas con Ms de crucero pizarroso y textura granular, enterradas bajo esquistos grafíticos. Forman una superficie de cuesta. DE= 190° /67° (muy confiable).	CONTACTO CONCORDANTE ENTRE CUARCITAS Y ESQUISTOS GRAFÍTICOS	
228	EG.	Filitas grafíticas con moscovita y óxidos de hierro. DE= 337° /37°.		
231	ECP.	Precisión de 4m. Cuarcitas impuras con DE= 41° /44°.		
232	EG.	Filitas grafíticas con DE= 195° /46° muy confiable.		

233	ECP.	Contacto entre esquistos de cuarzo y esquistos gráficas.	CONTACTO ENTRE ESQUISTOS GRAFÍTCOS Y ESQUISTOS CUARZO PELÍTCOS	M-46
234	EG.	Filitas gráficas con gran cantidad de cuarzo.		
235	ECP.	Precisión de 11m debido a la vegetación espesa. Filitas de Qtz-Ms, no hay presencia de grafito.		
236	EG.	Esta roca muestra capas ricas en moscovita y otras más ricas en grafito (90-80% de la roca).		
237	ECP.	Cuarcitas masivas (M- 47 A) que yacen discordantemente sobre esquistos de cuarzo de crucero pizarroso (M- 47 B). DE= 125 ° /30 ° en los esquistos de cuarzo.	CONTACTO ENTRE CUARCITAS Y ESQUISTOS DE CUARZO	M – 47 A M – 47 B
238	EG.	Filitas gráficas enterradas por un depósito coluvial.		
239	EG.	Filitas gráficas. Imposible de tomar datos estructurales debido a las raíces de los árboles. Depósito coluvial.		
240	EG.	Filitas gráficas. DE= 111 ° /43 °.		
241	EG.	Filitas gráficas. DE= 195 ° /39 °.		
242	EG.	Filitas gráficas con Ms-Lm muy alteradas y con abundantes óxidos de hierro.		
243	EG.	Filitas gráficas con moscovita. Hay presencia de cuarcitas, lo cual quiere decir que puede ser una capa de cuarcitas entre esquistos o un contacto.		
244	EG.	Filitas gráficas, datos estructurales entre DE= 65 ° /34 ° y DE= 61 ° /31 °.		
245	EG.	Filitas gráficas con presencia de cuarcitas. DE= 186 ° /38 °.		
246	ECP.	En este punto encontramos cuarcitas casi puras en el suelo. La topografía cambia localmente.		
247	ECP.	Esquistos de Ms-Chl-Bt en quebrada que baja desde el cerro Villonaco. Esquistos con DE= 43 ° /52 °.		

248	ECP.	Cuarcitas de crucero pizarroso, poca cantidad de micas. Son caídas de la parte más alta del cerro Villonaco.		
249	ECP.	Filitas de Qtz-Chl-Ms que afloran en el suelo del sendero.		
250	ECP.	Esquistos moscovíticos de color gris, 65% de moscovita, DE= 132 ° /55 ° (muy confiable)		M-49
251	ECP.	Cuarcitas masivas sobre esquistos de crucero pizarroso, discordantes pero pertenecen a facies de la misma formación pre-metamórfica.	CONTACTO DE CUARCITAS MASIVAS Y ESQUISTOS DE CUARZO	M – 50 A M – 50 B
252	ECP.	Pizarras de Chl-Qtz amarillas con crenulaciones del tamaño de una muestra de mano. DE= 118 ° /77 °.		
253	ECP.	Mismas pizarras que en el Punto 152. DE= 337 ° /53 °.		
254	ECP.	Mismas pizarras que en el Punto 152.		
255	ECP.	Mismas pizarras que en el Punto 152.		
256	ECP.	Pizarras de Chl-Lm-Qtz. DE= 125 ° /44 °.		
257	EG.	Filitas de grafito en el suelo.		
258	ECP.	Filitas de Chl-Qtz-Ms de color gris verdoso que afloran en el suelo. Su dato estructural es DE= 302 ° /53 °.		
259	ECP.	Gneis meteorizado con biotita-caolinita- arcillas-limonitas, es de color rojizo, y es similar a la litología del barrio Tierras Coloradas que también se encuentra meteorizada.		
261	ECP.	Micacita de grano fino. Se encuentra muy meteorizada.		M-51
262	ECP.	Esquistos Qtz-Bt-Ms de color crema y blanco, totalmente meteorizados.		M-52
263	ECP.	Esquistos de Qtz-Ms-Bt. DE=128 ° /75 °. Tiene limonita.		

264	ECP.	Esquistos de Qtz-Bt con DE= 115 ° /75 °. Textura masiva. Puede haber flogopita o margarita entre las micas biotíticas.		M-53
265	ECP.	Cuarcitas impuras de color gris que afloran en el suelo de un terreno llano cubierto por pasto.		
266	ECP.	En este punto aflora un intrusivo félsico (cuarzo-ortosa) que sale del suelo y se encuentra inalterado y enterrado y rodeado por cuarcita.	INTRUSIVO ENTERRADO.	
267	ECP.	Esquistos Qtz-Bt-Ms-Mag de textura masiva y cuarzosos enterrados bajo esquistos de textura foliada (más micas) que tienen un DE= 300 ° /66 ° en el contacto.		
268	ECP.	Esquistos de Bt-Ms-Qtz muy meteorizado y pulverizado, podríamos decir que se trata de una milonita o de esquistos fracturados DE= 281°/87°.		
269	ECP.	Falla geológica inversa. DE= 191 ° /84 ° que cambia a DE= 194 ° /52 ° en profundidad. Los esquistos y vetas de cuarzo se encuentran muy triturados.	FALLA GEOLÓGICA INVERSA	
270	ECP.	Esquistos biotíticos, la composición de la roca es cambiante; pero la biotita es un mineral índice.		M-55
271	ECP.	Estas rocas son saprolitos de esquistos o gneises metamórficos. La coloración varía desde blanca y rosada, a naranja, roja y morada.		P- 271 (A,B,C)
272	EG.	Pizarras de Gr-Chl intercaladas con capas de meta-samitas. DE= 309 ° /22 °.		
273	EG.	Presencia de un dique de 1,1m enterrado en el suelo y rodeado de filitas.		
274	ECP.	Esquistos de Qtz-Ms-Bt de textura granular y foliada DE= 164 ° /15 °.		
275	ECP.	Mismos esquistos cuarzosos del Punto 274; pero con más biotita por su color más oscuro. DE= 113/34. Existen vetas de cuarzo en varias direcciones.	VETAS DE CUARZO DE 9-11cm. DISCORDANTES CON LA FOLIACIÓN.	

276	ECP.	Esquistos de Qtz-Ms-Bt con lentes de cuarzo de 4mm de potencia, que parecen ser parte del protolito metamorfoseado, es decir una pelita rica en arenas. DE= 115° /65°.	ESTRUCTURAS LENTICULARES METAMORFISADAS A ESCALA DE MUESTRA DE MANO	M-57
277	ECP.	Esquisto de Bt-Ms-Qtz con crucero filítico, libre de grafito que aflora sobre los senderos de este sector.		
278	ECP.	Esquistos muy meteorizados, de composición pelítica y no grafitica. La roca es un saprolito de esquisto pelítico.		
279	EG.	Filita grafitica con arcillas, muy meteorizada con abundantes óxidos de hierro. DE= 190° /40°.		
280	EG.	Filitas grafiticas con Ms-Chl-Bt muy meteorizadas. DE= 35° /40°.		
281	EG.	Filitas grafiticas similares a las del Punto 180; pero con menos óxidos de hierro. DE= 115° /57°.		
282	EG.	Filitas de grafito intercaladas con capas de meta-samitas, una de ellas de 20cm de donde se tomó el DE= 73° /45° (muy confiable).		
283	EG.	Filitas grafiticas con Ms-Lm atravesadas por vetas de cuarzo y una falla inversa de DE= 59° /75°. El DE= 119° /47° en el bloque hundido y DE= 145° /61° en el levantado.	FALLA GEOLÓGICA INVERSA VETAS DE CUARZO	
284	EG.	Filitas grafiticas con Chl-Ms con capas ricas en clorita que se intercalan a las ricas en grafito. Datos estructurales variantes entre DE= 224° /35° a DE= 200° /32° (hacia el norte).		
285	EG.	Precisión de 4m. Filitas meteorizadas de clorita y arcilla. Atravesadas por vetillas de cuarzo de 3mm.	VETILLAS DE CUARZO	
286	EG.	Filitas grafiticas con pequeñísimas cantidades de azufre nativo. DE= 92° /57°.		
287	EG.	Filitas de grafito y micas. DE= 214/42		

288	EG.	Esquistos de grafito con intercalaciones de cuarcitas. DE= 155/55.		
289	EG.	Filitas gráficas con intercalaciones de cuarcitas. DE= 168/70		
290	ECP.	Esquistos de Qtz-Bt-Mag muy coherentes. Estructura granular, textura masiva.		M-58 <sup>a</sup>
291	EG.	Filitas gráficas con Ms- Arcillas-Chl, el crucero se pizarroso, y el DE= 70 ° /48 °, muy confiable. La roca se haya muy meteorizada.	VETAS DE CUARZO DE HASTA 3,5cm	
292	ECP.	Esquistos de Qtz-Bt-Mag muy coherentes. Estructura granular, textura masiva. Imposible tomar dato estructural.		M-58B
293	ECP.	Esquistos con crenulaciones. DE= 336 ° /38 °.		M-59
294	Tr.	Areniscas de grano grueso en una matriz de granos finos, todos los clastos volcánicos, bien redondeados. Presencia de limonitas. DE= 95 ° /70 °.		
295	Tr.	En este sitio hay una trinchera perpendicular a la carretera, al suroeste afloran areniscas de clastos volcánicos y al noreste arcillolitas masivas.		
296	ECP.	Pizarras de arcilla con Chl-Gr-Lm-Ms de estructura hojosa, crucero pizarroso. DE= 145 ° /47 ° (muy confiable). Frente a estas a la otra orilla de la quebrada hay conglomerados.		
297	ECP.	Pizarras gráficas con Ms-Chl y arcillas, son de bajo grado de metamorfismo. DE= 322 ° /55 °, muy confiable.		
298	ECP.	Estos esquistos de Bt-Qtz-Ms y otros minerales. La roca se encuentra muy meteorizada y aflorando en el suelo. DE= 143°/53°.		
299	ECP.	Esquistos meteorizados con DE= 142 ° /57 °.		

300	ECP.	Esquistos Chl- Bt-Qtz masivos y granulares, no es posible tomar datos estructurales de esta roca, a pesar de estar sana.		
301	ECP.	Esquisto de Chl-Bt-Qtz-Ms, de crucero filítico, color verde y textura foliada.		M-60
302	ECP.	Mismos esquistos que en el punto 301.		
303	ECP.	Esquistos de crucero filítico, grano fino, DE= 140 ° /60 °. Son atravesados por vetas de cuarzo de cuarzo de 50cm, discordantes a la foliación.	VETAS DE CUARZO DISCORDANTES DE HASTA 50cm. (DE= 75 ° /70 ° EN LA VETA MÁS GRANDE).	M-61A, M61-B
304	ECP.	Esquisto con lentes de cuarzo lechoso, textura masiva. DE= 117 ° /80 ° (al norte) a DE= 110 ° /32 ° (al sur).	ABUNDANTES LENTES DE CUARZO.	M-62
305	ECP.	Esquistos de cuarzo con DE= 315 ° /85 °.		
306	ECP.	Esquistos de cuarzo de textura masiva y cuarcitas de grano muy fino. El color de las rocas es gris azulado. DE= 300 ° /86 °.		
307	ECP.	Precisión de 5m. Mismas cuarcitas que en el Punto 306.		
308	ECP.	Esquistos de crucero filítico, El DE= 145 ° /89 °.		M-63
309	EG.	Esquistos de crucero filítico atravesados por vetas de cuarzo de hasta 16cm, DE= 114 ° /54 °.		
310	ECP.	Esquistos de crucero filítico de Qtz-Bt-Hbl, alto grado de metamorfismo debido al dique (DE= 211 ° /79 °) de 45cm que atraviesa estas rocas.		
311	IE.	Punto tomado a 7m y 235 grados del contacto. Quebrada que separa las cuarcitas con moscovita (DE= 305/55) al noroeste del intrusivo al sureste.	CONTACTO DEL INTRUSIVO EUCALIPTOS CON ESQUISTOS CUARZO PELÍTICOS	I-23
369	EG.	Esquistos gráficas de Chl-Bt atravesados por lentes de cuarzo y chert metamorfoseado. Existen crenulaciones, no es posible tomar dato estructural.	CRENULACIONES	

370	MB.	Afloramiento con 3 litologías de metabasitas muy parecidas. Todas ellas son metabasitas.		M – 66 M – 67 M – 68
371	Tr.	Depósitos aluviales modernos, posiblemente asociados a las quebradas del flanco oeste del cerro Villonaco.		
372	MB.	Desaparecen los depósitos aluviales y afloran esquistos verdes	CONTACTO CUENCA SEDIMENTARIA Y ESQUISTOS CUARZO- PELÍTICOS	M – 38 B
373		Depósitos aluviales muy angulosos, posiblemente en parte coluviales. Clastos de varios tamaños (2-12cm) con disposición caótica y capas de limo.		
374		Conglomerados con clastos angulosos metamórficos, matriz limo-arcillosa intercalados con capas pequeñas de limolita y arenisca.		
375	ECP.	Saprolito de esquisto con ciertas remanencias de sus minerales. Se ven clastos de cuarzo lechoso y ahumado, remanencias de vetas de cuarzo.		
376	ECP.	Saprolito de esquisto de Qtz-Bt-MS con ciertas remanencias de sus minerales. Se ven clastos de cuarzo lechoso y ahumado, remanencias de vetas de cuarzo.	VETAS DE CUARZO.	
377	EG.	Esquistos de Qtz-BT con esquistos de grafito DE= 12° /53°. Afloramiento cubierto de detritus.	MICROPLIEGUE.	
378	ECP.	Saprolito de esquistos pelíticos, material tipo caolinítico y otras arcillas. DE= 98° /53°.		
379		Terraza aluvial, clastos esquistos cuarzo-pelíticos. Clastos de varios tamaños con imbricación en ciertas capas. Matriz de arena de cuarzo y micas.		
380	ECP.	Esquisto de crucero filítico. Afloramiento cubierto de vegetación en una quebrada, la misma roca aflora a ambos lados de la quebrada.		

381	ECP.			
382	Tr.	Areniscas clasto-soportadas, grano volcánico de tamaño fino-medio, matriz limosa; entierran secuencias de arcillolitas, areniscas y turba. DE= 252°/17°.		
383	Tr.	Lodos en el suelo que indican la presencia de arcillolitas.		
384	ECP.	Esquistos pelíticos de clorita con esquistos grafiticos.		
385	EG.	Existen esquistos de grafito bajo una alcantarilla pluvial en la vía de la entrada de la subestación Villonaco.		
386	EG.	Esquistos de micas muy meteorizados sobre-yacen y entierran a los esquistos grafiticos. DE= 76°/22°.		
387	EG.	Esquistos grafiticos con Lm-Ms, hay una capa de cuarcitas de aproximadamente 11m de potencia. DE= 241°/36° (muy confiable).		
388	EG.			
389	EG.	Esquistos grafiticos. DE= 95°/20°.		
390	MB.	Anfibolitas masivas con crucero pizarroso. DE= 355°/49°.		M-69
391	ECP.	Esquistos de Qtz-Bt-Ms-Chl atravesados por un dique félsico, 80cm, textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y cuarzo. La roca se encuentra meteorizada.	DIQUE FÉLSICO	
392	EG.	Esquistos de Qtz-Gr-Cal-Py atravesados por vetas de cuarzo que se encuentran dobladas y un dique de composición intermedia, color verde y DE= 285°/82°.	DIQUE DE COMPOSICIÓN INTERMEDIA. VETAS DE CUARZO PLEGADAS POTENCIAL DE ALMACENAR FÓSILES	
393	ECP.	Esquistos atravesados por abundantes vetas de cuarzo lechoso.	VETAS DE CUARZO LECHOSO.	M-71
394	ECP.			

395	IV.	Intrusivo de diorita con Px- Hbl, textura fanerítica que está en contacto con una corneana de cuarzo, moscovita. Es de grano muy fino (no se aprecian los demás minerales).	INTRUSIVO VILLONACO.	
396	MB.	Anfibolitas de textura decusada, poca cantidad de cuarzo, cercanía a un contacto con los esquistos cuarzo-pelíticos. DE= 116°/40°.		M-72
397	ID.	Granito de Ms-Bt. Aparecen luego esquistos de grafito- cuarzo- margarita- biotita.	CONTACTO ENTRE ESQUISTOS DE CUARZO CON EL INTRUSIVO DURAZNILLO-LA URNA.	M – 73 A M – 73 B
398	EG.	Esquistos grafiticos atravesados por un dique de textura porfídica con fenocristales de biotita en una matriz cuarzo-feldespática.	DIQUE CON DIRECCIÓN DE N140 °	
399	EG.	3 litologías de meta-sedimentos, de más antiguo al más joven: cuarcitas con Ms, meta-arcosas de Qtz-Kfs-Bt-Ms y esquistos grafiticos con Bt-Ms-Qtz. DE= 168 ° /10 °.		
400	EG.	Esquistos de Gr-Ms-Qtz, no hay presencia de biotita, solo óxidos de hierro. Afloran en todos estos terrenos a lo largo de los senderos.		
401	EG.	Esquistos grafiticos con Ms-Chl. Poseen limonitas.		
402	EG.	Debajo de los esquistos grafiticos con Ms, aflora una roca intrusiva de textura fanerítica, muy meteorizada hecha de feldespato meteorizado, cuarzo y biotita.	INTRUSIVO ENTERRADO	
403	EG.	Esquistos de Qtz-Bt-Gr-Cal, que provienen de samitas bituminosas.		M – 74 I – 25
404	EG.	Existen rocas metamórficas brechificadas. Posiblemente existieron procesos de metasomatismo en la roca.	BRECHAS DE CUARZO Y LIMONITA	
405	EG.	Esquistos de Gr-Qtz-Ms-Chl, atravesados por vetillas de cuarzo. DE= 110 ° /46 °, muy confiable.	VETILLAS DE CUARZO	

406	EG.	Esquistos gráficas con Ms-Chl intercalados con cuarcitas que sobre-yacen a estos.		
407	EG.	Esquistos gráficas con Qtz-Ms-Chl de cruceo filítico. DE= 212°/37°.		
408	EG.	Esquistos gráficas atravesados por una veta de material caolinítico con dirección de N 215°. Se ve esto sobre la vía de tierra, en el suelo.	VETA DE CAOLÍN	
409	EG.	Dique de caolín de dirección N 220°. Este es más grande que el anterior pero más irregular.		
410	EG.	Mismo dique de caolín con una potencia de 95cm y misma dirección.		
411	EG.	En este sitio las rocas dejan de ser esquistos. Son pizarras meteorizadas, el grafito no está bien formado y es escaso (facie de preñita- pumpelita).		
412	EG.	Pizarras gráficas intercaladas con cuarcitas. DE= 150° / 27°.		
413	ID.	Regolito arenoso de granito de Bt con textura fanerítica y meteorizado. Se encuentra atravesado por una veta de cuarzo de 24cm, DE= 131°/40°.	LA VETA DE CUARCITA CON UNA CAPA DE GRAFITO MUY FINA EN SU PARTE SUPERIOR	
414	EG.	Esquistos gráficas con limonita, micas y feldespato, en ciertas partes se ha brechificado. El granito se encuentra enterrado y ha fracturado a los esquistos.	CONTACTO ENTRE ESQUISTOS GRAFÍTICOS E INTRUSIVO DURAZNILLO	
415	EG.	Contacto brechificado de esquistos gráficas con Qtz-Bt y granito que se encuentra enterrado meteorizado y edafizado. DE= 115°/70° de la roca sana.	CONTACTO ENTRE ESQUISTOS GRAFÍTICOS E INTRUSIVO DURAZNILLO	
416	EG.	Esquistos gráficas con Qtz-Ms y óxidos de Fe. DE= 216°/30° (muy confiable).		
417	EG.	Granito blanco de textura afanítica hecho de Qtz-Ms-Kfs.	INTRUSIVO ENTERRADO	

418	ID.	Contacto de granito meteorizado con una secuencia de meta-sedimentos: cuarcitas y esquistos grafíticos (DE= 163° /29°).	CONTACTO ENTRE INTRUSIVO DURAZNILLO CON ESQUISTOS GRAFÍTICOS. DE= 164° /67° EN LA PARED DEL INTRUSIVO	
419	ID.	Granito blanco de textura fanerítica meteorizado. Unos metros antes fueron encontrados fenocristales de moscovita y cuarzo en el granito.		
420	ID.	Granito blanco meteorizado. Existe un encañonamiento, en la trinchera de al frente (al NW) se ve el granito enterrado bajo los esquistos grafíticos.		
421	ID.	Contacto entre el intrusivo que aflora hacia el sur y el SW		
422	ID.	Granito blanco que aflora en el suelo, poca meteorización.		
423	ID.	La quebrada sirve como contacto, hacia el sur aflora el granito y hacia el norte afloran esquistos grafíticos	CONTACTO ENTRE INTRUSIVO DURAZNILLO Y ESQUISTOS GRAFÍTICOS	
424	EG.	Bloque colgante de esquistos grafíticos que afloran hacia el sur mientras que el granito aflora hacia el norte.	ESQUISTOS GRAFÍTICOS SOBRE EL INTRUSIVO	
425	ID.	Granito de Ms que aflora en el suelo del terreno.		
426	ID.	Granito de Ms que aflora en el suelo del terreno.		
427	ID.	La misma quebrada igual que en Punto 423 sirve como contacto, hacia el este aflora el granito y hacia el oeste afloran esquistos grafíticos.	CONTACTO ENTRE INTRUSIVO DURAZNILLO Y ESQUISTOS GRAFÍTICOS	
428	ID.	Granito que aflora en el suelo del terreno.		
429	EG.	Cuarcitas y esquistos grafíticos en menores cantidades. Afloran en el suelo del terreno, imposible tomar dato estructural.		
430	EG.	Cuarcitas impuras con Gr-Bt, masivas y de grano fino que afloran en una quebrada con DE= 115° /77° (muy confiable).		

431	ID.	Contacto entre esquistos gráficas hacia el sur y granito de Ms-Bt hacia el norte de la misma quebrada de P-430.	Contacto entre INTRUSIVO DURAZNILLO-LAURNA y ESQUISTOS GRAFITOSOS	
432	ID.	Granito de textura fanerítica que aflora hacia el sur y el metamórfico hacia el norte de la quebrada con DE= 240°/59°.		
433	ID.	Granito de Ms-Bt a ambos lados de la quebrada, encima de estos hay esquistos de grafito-cuarzo-micas.		
435	ID.	Contacto entre granito de Ms-BT (textura porfirítica con fenocristales de biotita) con las cuarcitas y esquistos gráficas enriquecidos con micas de gran tamaño en el sector del contacto. DE= 233°/55° en los esquistos.	CONTACTO INTRUSIVO DURAZNILLO CON ESQUISTOS GRAFITÍCOS	
436	ID.	Granito blanco que aflora en la superficie del terreno.		
437	ID.	Granito blanco que aflora en la superficie del terreno.		
438	EG.	Filitas gráficas con Ms y óxidos de Fe, crucero pizarroso con DE= 336°/44° (muy confiable). Los óxidos de hierro pueden ser oxidaciones de cloritas.		
439	EG.	Cuarcitas con Ms-Gr que afloran junto a esquistos gráficas moscovita y limonitas. DE= 90/76.	LENTE DE CUARZO PLEGADOS EN LA ROCA Y ENCAÑONAMIENTO EN LA QUEBRADA	

## B. Tabla de ubicación de los puntos con GPS.

Estos puntos fueron tomados con un GPS GARMIN e-trex 30 de buena precisión, su altímetro barométrico se enceró con el hito ubicado en el parque central de la ciudad de Loja, así que la altitud de los puntos es muy confiable.

Las coordenadas están acorde al sistema de referencia WGS-1984, zona 17S. La precisión que se usó fue de 3m. En los sitios cercanos a las quebradas se tiene un máximo error de hasta 8m porque la cobertura vegetal no permite tener una buena señal de GPS. En caso de que el error sea muy grande en la tabla anterior se indica el error.

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
<b>0</b>	693070	9558376	N/D	<b>18</b>	692376	9558663	2762.451904	<b>50</b>	690133	9557675	2431.5275 9
<b>0</b>	693129	9558216	N/D	<b>19</b>	692399	9558630	2763.948975	<b>51</b>	689562	9557783	2374.5185 6
<b>0</b>	693221	9558071	N/D	<b>20</b>	692296	9558594	2749.628418	<b>52</b>	689253	9557251	2306.0153 8
<b>0</b>	693214	9557876	N/D	<b>21</b>	692176	9558580	2735.697021	<b>53</b>	689115	9557390	2260.9482 4
<b>0</b>	693324	9557739	N/D	<b>23</b>	692143	9558524	2723.859375	<b>54</b>	688537	9558011	2198.9685 1
<b>0</b>	693330	9557538	N/D	<b>24</b>	692111	9558482	2664.375977	<b>55</b>	689312	9558020	2233.1760 3
<b>0</b>	693436	9557316	N/D	<b>25</b>	691852	9558351	2682.567383	<b>56</b>	689504	9558014	2244.0473 6
<b>0</b>	693475	9557145	N/D	<b>26</b>	691853	9558352	2682.453857	<b>57</b>	689643	9558052	2254.3464 4
<b>0</b>	693478	9556928	N/D	<b>27</b>	691813	9558195	2664.855225	<b>58</b>	689697	9558040	2257.7861 3
<b>0</b>	693521	9556704	N/D	<b>28</b>	691869	9558228	2670.496094	<b>59</b>	690151	9558165	2289.8813 5

<b>0</b>	693554	9556463	N/D	<b>29</b>	692039	9558276	2644.323486	<b>60</b>	690675	9558206	2326.9619 1
<b>0</b>	693072	9558221	N/D	<b>30</b>	692161	9558297	2633.207031	<b>61</b>	690968	9558322	2344.7141 1
<b>0</b>	693499	9556623	N/D	<b>31</b>	693211	9557718	2634.355713	<b>62</b>	691031	9558716	2363.9755 9
<b>1</b>	692683	9558792	2882.0959 5	<b>32</b>	693104	9557754	2643.439209	<b>63</b>	690974	9558875	2375.2231 5
<b>2</b>	692713	9558758	2878.7382 8	<b>33</b>	692954	9558332	2646.923828	<b>64</b>	690807	9559289	2407.6377
<b>3</b>	692599	9558789	2879.3256 8	<b>34</b>	692897	9558340	2649.347656	<b>65</b>	690657	9559462	2418.2954 1
<b>4</b>	692492	9558785	2865.0029 3	<b>35</b>	692882	9558335	2654.284424	<b>66</b>	688443	9560886	2225.0588 4
<b>5</b>	692461	9558835	2856.8881 8	<b>36</b>	692827	9558332	2658.414551	<b>67</b>	688379	9560882	2213.7736 8
<b>6</b>	692210	9558951	2909.3964 8	<b>37</b>	692730	9558309	2659.024414	<b>68</b>	688314	9560872	2206.5712 9
<b>7</b>	692290	9558944	2934.2678 2	<b>38</b>	692611	9558365	2656.481934	<b>69</b>	688292	9560859	2201.3691 4
<b>8</b>	692395	9558853	2874.3518 1	<b>39</b>	692387	9558231	2630.834961	<b>70</b>	688269	9560869	2197.2277 8
<b>9</b>	692504	9558836	2864.3386 2	<b>40</b>	692236	9558271	2620.06543	<b>71</b>	688230	9560863	2184.9875 5
<b>10</b>	692610	9558931	2845.5481	<b>41</b>	692227	9558257	2620.120117	<b>72</b>	688173	9560857	2175.4074 7
<b>11</b>	692755	9558883	2828.8823 2	<b>42</b>	692212	9558208	2609.247314	<b>73</b>	688142	9560772	2156.9426 3
<b>12</b>	692768	9558855	2826.4282 2	<b>43</b>	692209	9558186	2606.159912	<b>74</b>	688051	9560808	2136.9306 6
<b>13</b>	692836	9558697	2807.6132 8	<b>44</b>	692100	9558190	2596.624756	<b>75</b>	688111	9560769	2138.7771

<b>14</b>	692749	9558543	2794.4267 6	<b>45</b>	691744	9557891	2561.520996	<b>76</b>	688142	9560757	2134.5188
<b>15</b>	692633	9558618	2775.5456 5	<b>47</b>	691155	9557572	2498.919434	<b>77</b>	688159	9560752	2141.7273
<b>16</b>	692390	9558752	2796.2614 8	<b>48</b>	690741	9557659	2439.134277	<b>78</b>	688375	9560722	2171.3308 1
<b>17</b>	692358	9558664	2761.0610 4	<b>49</b>	690492	9557601	2459.273926	<b>79</b>	688545	9560726	2183.8042

<b>Punto</b>	X	Y	Z	<b>Punto</b>	X	Y	Z	<b>Punto</b>	X	Y	Z
<b>80</b>	688646	9560785	2236.2790 5	<b>112</b>	693978	9554818	2544.152588	<b>142</b>	693498	9557473	2585.8176 3
<b>81</b>	688648	9560809	2245.3356 9	<b>113</b>	693844	9555070	2559.323242	<b>143</b>	693657	9557800	2527.9897 5
<b>82</b>	688647	9560855	2265.2905 3	<b>114</b>	693961	9555275	2545.40625	<b>144</b>	693700	9557859	2516.8916
<b>83</b>	688750	9560821	2290.3798 8	<b>115</b>	694002	9555333	2560.159912	<b>145</b>	693672	9557933	2513.4189 5
<b>84</b>	689031	9560917	2295.8376 5	<b>116</b>	693867	9555637	2557.781738	<b>146</b>	693694	9557956	2514.3156 7
<b>85</b>	689125	9560773	2300.4018 6	<b>117</b>	694800	9554960	2784.531982	<b>147</b>	693697	9558044	2514.8632 8
<b>86</b>	689182	9560726	2308.052	<b>118</b>	694770	9554961	2785.221191	<b>148</b>	693650	9558090	2513.4921 9
<b>87</b>	689237	9560396	2344.2856 5	<b>119</b>	694699	9554966	2781.826416	<b>149</b>	693655	9558131	2506.9221 2
<b>88</b>	689185	9560217	2349.8588 9	<b>120</b>	694280	9555192	2721.915527	<b>150</b>	693682	9558165	2509.4758 3
<b>89</b>	689745	9560246	2392.2275 4	<b>121</b>	694223	9555329	2697.160645	<b>151</b>	693701	9558205	2495.5317 4
<b>90</b>	690106	9560121	2441.9890 1	<b>122</b>	693940	9555581	2617.11377	<b>152</b>	693709	9558234	2492.0556 6

<b>91</b>	690347	9560085	2395.8559 6	<b>123</b>	693854	9555832	2562.609375	<b>153</b>	693738	9558310	2483.2050 8
<b>92</b>	690204	9560079	2435.8584	<b>124</b>	693893	9555813	2553.63623	<b>154</b>	693756	9558339	2482.0786 1
<b>93</b>	690242	9560038	2443.7812 5	<b>125</b>	693717	9556028	2569.018066	<b>155</b>	693725	9558357	2503.5795 9
<b>94</b>	690285	9559943	2459.9951 2	<b>126</b>	693646	9556080	2571.217285	<b>156</b>	693699	9558339	2517.2441 4
<b>95</b>	690363	9559889	2467.5776 4	<b>127</b>	693642	9556125	2572.685303	<b>157</b>	693715	9558333	2506.6450 2
<b>96</b>	690750	9559630	2530.1616 2	<b>128</b>	693613	9556249	2586.545654	<b>158</b>	693770	9558365	2476.4318 9
<b>97</b>	690791	9559613	2536.4687 5	<b>129</b>	693599	9556335	2593.177979	<b>159</b>	693838	9558467	2447.3088 4
<b>98</b>	690803	9559596	2539.3332 5	<b>130</b>	693483	9556416	2598.086914	<b>160</b>	693813	9558424	2454.6455 1
<b>99</b>	690950	9559642	2468.5495 6	<b>131</b>	693493	9556595	2615.799316	<b>161</b>	693813	9558507	2452.1193 9
<b>100</b>	691706	9559787	2495.1240 2	<b>132</b>	693230	9557528	2641.371582	<b>162</b>	693768	9558546	2444.0051 3
<b>101</b>	691918	9560189	2525.6481 9	<b>133</b>	693412	9557265	2638.363525	<b>163</b>	694025	9558599	2405.4929 2
<b>102</b>	692088	9561057	2517.0581 1	<b>134</b>	693425	9557255	2639.754883	<b>164</b>	694138	9558620	2384.6286 6
<b>104</b>	694117	9554585	2523.3310 6	<b>135</b>	693437	9557238	2639.769043	<b>165</b>	693960	9558816	2412.1650 4
<b>105</b>	694150	9554609	2512.6577 2	<b>136</b>	693404	9557163	2633.809814	<b>166</b>	694003	9558823	2375.7771
<b>106</b>	694140	9554618	2510.7028 8	<b>137</b>	693444	9556984	2639.671143	<b>167</b>	694051	9558882	2374.698
<b>108</b>	694167	9554746	2511.6352 5	<b>138</b>	693465	9556813	2640.053223	<b>168</b>	694162	9558980	2377.5822 8

<b>109</b>	694113	9554846	2528.6752 9	<b>139</b>	693516	9557073	2621.573242	<b>169</b>	694245	9559056	2349.3452 2
<b>110</b>	694124	9554905	2546.3413 1	<b>140</b>	693541	9557182	2613.933594	<b>170</b>	694254	9559073	2347.6884 8
<b>111</b>	694095	9554894	2547.4587 4	<b>141</b>	693542	9557298	2594.468018	<b>171</b>	694314	9559147	2336.4682 6

<b>Punto</b>	X	Y	Z	<b>Punto</b>	X	Y	Z	<b>Punto</b>	X	Y	Z
<b>172</b>	694347	9559169	2343.8969 7	<b>203</b>	691347	9555251	2249.754883	<b>235</b>	691912	9559402	2661.3056 6
<b>173</b>	694441	9559191	2325.1679 7	<b>204</b>	690929	9555216	2206.833008	<b>236</b>	691832	9559695	2552.2153 3
<b>174</b>	690977	9559468	2566	<b>205</b>	691089	9555520	2096.19043	<b>237</b>	691805	9559663	2547.8652 3
<b>175</b>	691238	9559309	2608	<b>206</b>	691146	9555551	2054.375244	<b>238</b>	691408	9559670	2538.7260 7
<b>176</b>	691417	9559124	2631	<b>207</b>	691588	9555846	1968.75647	<b>239</b>	692134	9560977	2556.4213 9
<b>177</b>	691576	9559052	2640	<b>208</b>	691726	9555963	1976.28064	<b>240</b>	692166	9561096	2569.1718 8
<b>178</b>	691579	9558989	2641	<b>209</b>	691687	9555942	1962.15625	<b>241</b>	692334	9561047	2617.2307 1
<b>179</b>	695107	9556431	2329.9345 7	<b>210</b>	691631	9555877	1956.546631	<b>242</b>	692410	9560800	2648.8496 1
<b>180</b>	695185	9556430	2358.4162 6	<b>211</b>	691522	9555801	1969.407837	<b>243</b>	692566	9560509	2720.9099 1
<b>181</b>	694251	9555997	2429.1494 1	<b>212</b>	691478	9555798	1945.518677	<b>244</b>	692591	9560406	2747.8371 6
<b>182</b>	694129	9556053	2445.7353 5	<b>213</b>	691434	9555788	1944.563477	<b>245</b>	692643	9560018	2804.6438
<b>183</b>	693757	9556434	2475.3774 4	<b>214</b>	691433	9555791	1943.277466	<b>246</b>	692557	9559798	2766.6423 3

<b>184</b>	693744	9556467	2479.2075 2	<b>215</b>	691391	9555803	1942.090698	<b>247</b>	692684	9559480	2605.8098 1
<b>185</b>	693737	9556490	2481.7546 4	<b>216</b>	690898	9555751	1889.178589	<b>248</b>	692634	9559316	2648.7155 8
<b>186</b>	693736	9556505	2482.2983 4	<b>217</b>	690650	9555682	1844.265137	<b>249</b>	692708	9559237	2624.8068 9
<b>187</b>	693708	9556836	2496.9694 8	<b>218</b>	690664	9555645	1854.645508	<b>250</b>	692907	9559255	2657.1960 5
<b>188</b>	693695	9557103	2515.2778 3	<b>219</b>	690304	9555513	1814.122681	<b>251</b>	692969	9559122	2643.7605
<b>189</b>	693683	9557433	2535.0595 7	<b>220</b>	690863	9555778	1894.628662	<b>252</b>	693425	9559141	2603.2233 9
<b>191</b>	694886	9558833	2345.1691 9	<b>221</b>	690888	9555883	1957.601807	<b>253</b>	693694	9559085	2505.4206 5
<b>192</b>	693233	9557315	2608.1511 2	<b>222</b>	690956	9555972	1990.069946	<b>254</b>	693898	9559184	2445.9865 7
<b>193</b>	693292	9557168	2563.6071 8	<b>223</b>	690765	9556389	2255.648438	<b>255</b>	694064	9559300	2400.6042 5
<b>194</b>	693120	9556818	2497.5971 7	<b>224</b>	690914	9556560	2304.739258	<b>256</b>	694071	9559309	2393.3476 6
<b>195</b>	693102	9556629	2464.2048 3	<b>225</b>	690921	9556569	2307.503662	<b>257</b>	694199	9559326	2351.4633 8
<b>196</b>	693146	9556570	2458.8520 5	<b>226</b>	690895	9556543	2303.435547	<b>258</b>	694274	9559644	2302.2922 4
<b>197</b>	693220	9556400	2435.8640 1	<b>227</b>	691020	9556910	2360.670654	<b>259</b>	695339	9556052	2439.3808 6
<b>198</b>	692132	9555581	2320.4328 6	<b>228</b>	691024	9557485	2452.854004	<b>261</b>	694987	9555827	2458.1687
<b>199</b>	691772	9555447	2283.9760 7	<b>231</b>	691817	9558728	2503.324951	<b>262</b>	695050	9555955	2441.6357 4
<b>200</b>	691592	9555371	2265.5129 4	<b>232</b>	691578	9558993	2631.45459	<b>263</b>	695081	9555959	2424.9121 1

<b>201</b>	691483	9555340	2257.8801 3	<b>233</b>	691787	9559241	2721.530029	<b>264</b>	694902	9556028	2390.0856 9
<b>202</b>	691393	9555289	2254.3513 2	<b>234</b>	691685	9559312	2727.827148	<b>265</b>	694817	9555729	2436.4821 8

<b>Punto</b>	X	Y	Z	<b>Punto</b>	X	Y	Z	<b>Punto</b>	X	Y	Z
<b>266</b>	694769	9555733	2432.5107 4	<b>296</b>	693394	9560571	2414.203613	<b>383</b>	694742	9557893	7519.7859 6
<b>267</b>	694585	9555626	2427.8198 2	<b>297</b>	693456	9560587	2448.706543	<b>384</b>	694794	9558690	7758.2099 5
<b>268</b>	694588	9555538	2490.8122 6	<b>298</b>	693732	9560470	2442.771973	<b>385</b>	694098	9558290	7852.8576 9
<b>269</b>	694585	9555531	2486.7055 7	<b>299</b>	694112	9560338	2418.028564	<b>386</b>	693037	9557972	8699.2887 6
<b>270</b>	694512	9555570	2491.6181 6	<b>300</b>	694047	9559757	2362.226807	<b>387</b>	691223	9557628	8262.7392 1
<b>271</b>	694682	9556171	2442.2575 7	<b>301</b>	694080	9559667	2370.022705	<b>388</b>	690798	9557671	8118.2605
<b>272</b>	688983	9556812	2172.2468 3	<b>302</b>	694001	9559551	2397.044922	<b>389</b>	690430	9557553	8021.9306 9
<b>273</b>	689059	9556934	2235.8872 1	<b>303</b>	693376	9559350	2432.401611	<b>390</b>	692237	9556319	6913.7829 6
<b>274</b>	692200	9557123	2238.4746 1	<b>304</b>	693556	9559349	2441.73291	<b>391</b>	692082	9556258	6700.7434 3
<b>275</b>	692226	9557331	2255.9223 6	<b>305</b>	693666	9559296	2412.3125	<b>392</b>	691767	9555974	6470.3505 3
<b>276</b>	692233	9557628	2359.3637 7	<b>306</b>	693748	9559285	2375.775635	<b>393</b>	691877	9556063	6534.8928 1
<b>277</b>	692056	9557144	2312.5771 5	<b>307</b>	693865	9559292	2363.754639	<b>394</b>	692062	9556781	7380.4824 3
<b>278</b>	691843	9556914	2343.6154 8	<b>308</b>	693983	9559354	2349.070557	<b>395</b>	692688	9557783	8139.2431 4

<b>279</b>	691706	9557157	2376.8064	<b>309</b>	694050	9559442	2329.684082	<b>396</b>	693060	9557704	8539.3974 7
<b>280</b>	691469	9557284	2411.5070 8	<b>310</b>	694113	9559518	2322.074707	<b>397</b>	690888	9559808	7687.1512 5
<b>281</b>	691220	9557330	2435.3918 5	<b>311</b>	694126	9559544	2287.853271	<b>398</b>	690993	9559874	7782.8218 6
<b>282</b>	691615	9557486	2496.5910 6	<b>369</b>	693683	9557829	8034.192181	<b>399</b>	691041	9560050	7607.6213 2
<b>283</b>	693017	9561008	2438.1618 7	<b>370</b>	693709	9558217	8198.084393	<b>400</b>	691057	9560334	7472.0616
<b>284</b>	693392	9560959	2439.0686	<b>371</b>	693852	9558590	7959.287949	<b>401</b>	691206	9560474	7297.3969 2
<b>285</b>	693534	9560991	2425.5537 1	<b>372</b>	694112	9558607	7821.956443	<b>402</b>	691080	9560558	7242.4300 4
<b>286</b>	693869	9561403	2413.1726 1	<b>373</b>	694773	9556329	7741.077654	<b>403</b>	690543	9560649	6607.5338 5
<b>287</b>	694341	9560863	2448.6618 7	<b>374</b>	694655	9556442	7738.047522	<b>404</b>	690699	9560781	6869.9609 9
<b>288</b>	694475	9561081	2324.1784 7	<b>375</b>	694731	9556649	7686.060308	<b>405</b>	691266	9560576	7507.9153 5
<b>289</b>	694601	9560857	2297.8527 8	<b>376</b>	694728	9556796	7672.227273	<b>406</b>	691365	9560578	7596.5693 1
<b>290</b>	694550	9560453	2282.0854 5	<b>377</b>	694954	9557152	7523.915849	<b>407</b>	691667	9560428	7850.0414 3
<b>291</b>	694560	9560496	2303.4140 6	<b>378</b>	694723	9557145	7572.013474	<b>408</b>	691792	9560485	8033.2005 6
<b>292</b>	694575	9560140	2260.8576 7	<b>379</b>	694517	9557307	7589.417306	<b>409</b>	691781	9560519	8038.4646 4
<b>293</b>	694567	9559941	2273.9824 2	<b>380</b>	694839	9557357	7493.966971	<b>410</b>	691802	9560518	8081.7691 7
<b>294</b>	694631	9559821	2247.1381 8	<b>381</b>	695014	9557425	7473.148536	<b>411</b>	691939	9560512	8204.7141 6

<b>295</b>	695101	9559604	2245.1545 4	<b>382</b>	695186	9557796	7494.188845	<b>412</b>	691925	9560446	8226.8670 3
------------	--------	---------	----------------	------------	--------	---------	-------------	------------	--------	---------	----------------

<b>Punto</b>	X	Y	Z
<b>413</b>	690396	9559805	2330.5008
<b>414</b>	690373	9559819	2434.1328
<b>415</b>	690280	9559855	2414.6256
<b>416</b>	690120	9559906	2403.348
<b>417</b>	690141	9559804	2367.9912
<b>418</b>	690305	9559613	2323.7952
<b>419</b>	690347	9559461	2326.2336
<b>420</b>	690431	9559331	2313.1272
<b>421</b>	690485	9559284	2294.8392
<b>422</b>	690429	9559209	2273.1984
<b>423</b>	690419	9559254	2265.8832
<b>424</b>	690308	9559122	2219.5536
<b>425</b>	690197	9558963	2120.4936
<b>426</b>	690150	9558982	2089.0992
<b>427</b>	690110	9558982	2072.0304
<b>428</b>	690119	9558852	2051.304

<b>429</b>	690021	9558808	2015.9472
<b>430</b>	689529	9558746	1908.3528
<b>431</b>	689601	9558755	1919.9352
<b>432</b>	689796	9558740	1954.0728
<b>433</b>	690347	9559461	1981.8096
<b>435</b>	690181	9558659	2036.9784
<b>436</b>	690211	9558758	2015.9472
<b>437</b>	690319	9558956	2128.7232
<b>438</b>	0	0	2026.6152
<b>439</b>	0	0	1832.4576

### ANEXO III. MINERALOGÍA.

#### A. Mineralogía de muestras metamórficas bajo lupa estereoscopio.

A continuación, se indica la interpretación de las muestras y cómo se obtuvo la mineralogía si fue con muestra de mano (MM), muestra triturada (MT) o con análisis químico usando el diagrama AFM (AFM). No todas las muestras fueron sometidas a FRX porque su mineralogía era sencilla y no fue necesaria esta técnica. Además vale la pena aclarar que solo se indican los minerales mayoritarios en la roca.

Muestra: M- 1 A
Textura/Foliación: Granular fina/ Crucero
Mineralogía: Cuarzo- Estaurolita en la parte más gruesa, la moscovita es de grano muy fino (MM-MT).
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Moscovita- Andalcita-Estaurolita-Clorita (AFM)
Nombre de la Roca: Cuarcita con Ms-And-St
Observaciones: Mineral negro en la parte gruesa de la roca, hábito cristalino con cristales muy bien formados. El mineral podría confundirse entre un piroxeno o la estaurolita sin macla.

Muestra: M- 1 B
Textura/Foliación: Masiva/ ninguna
Mineralogía: Cuarzo (MM)
Nombre de la Roca: Cuarcita
Observaciones: Cuarcita muy pura

Muestra: M- 2
Textura/Foliación: Granular/ Crucero Pizarroso
Mineralogía: Cuarzo (aproximadamente 90% de la roca)- Estaurolita- Casiterita- Topacio (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): No es posible aplicar el diagrama AFM, exceso de $K_2O$ en la roca. El análisis de FRX muestra 76,8% de $SiO_2$ , 15,6% de $Al_2O_3$ y 5,88% de $K_2O$ y sumados dan el 98,28% de la roca. El contenido de óxidos de Mg, Mn y Fe es de 0,81% entre los tres. $SnO_2$ de 0,38% y 0,17% de $CaO$ .
Nombre de la Roca: Cuarcita con Kfs-Ms-St.
Observaciones: El exceso de alúmina y potasa nos quiere decir que parte del material blanco en la roca debe de ser feldespato de potasio. Los minerales oscuros de la roca son estaurolitas. La presencia de óxido de $SnO_2$ indica que hay casiterita y la escasa cantidad de $CaO$ indica que el material amarillo de la roca es topacio, ya que el $P_2O_5$ está ausente para ser apatito y no hay calcita.

Muestra: M-3
Textura/Foliación: Foliación/ Crucero Filítico
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Apatito (MM-MT)

Mineralogía Inferida (FRX): Estauroлита- Andalucita- Granate (AFM) Calcita (inferido)
Nombre de la Roca: Esquistos de Qtz-Bt
Observaciones: En caso de existir moscovita/paragonita es de grano muy fino y en pequeñas cantidades. La mineralogía con AFM no coincide con la de MT.

Muestra: M- 4
Textura/Foliación: Foliada/Crucero Pizarroso
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita- Apatito (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Estauroлита- Clorita-Andalucita (AFM) Calcita (inferido)
Nombre de la Roca: Esquistos de Qtz-Bt-Ms
Observaciones: No concuerda el diagrama AFM con la mineralogía de MT.

Muestra: M- 5 A
Textura/Foliación: Granular y con capas presentando foliación/ Crucero
Mineralogía: Cuarzo- Grafito (MM)
Nombre de la Roca: Cuarcita con capas de Gr
Observaciones: Hay capas de grafito en la cuarcita.

Muestra: M- 5 B
Textura/Foliación: Granular masiva/ sin foliación
Mineralogía: Cuarzo- Magnetita- Hematita- Apatito (MM- MT)
Nombre de la Roca: Cuarcita
Observaciones: Crucero pizarroso solo apreciable en escala de afloramiento. Aproximadamente el 98% de la roca es cuarzo y el resto son minerales accesorios.

Muestra: M- 6
Textura/Foliación: Granular masiva/ sin foliación.
Mineralogía: Cuarzo- Magnetita-Hematita-Fluorita-Apatito (MM-MT)
Nombre de la Roca: Cuarcita
Observaciones: Cuarcita muy pura. Dos variedades cristales de cuarzo en la misma roca. Aproximadamente 98% de la roca es cuarzo y el resto son minerales accesorios.

Muestra: M- 7
Textura/Foliación: Foliada/ Crucero Filítico
Mineralogía: Grafito- Cuarzo- Micas- Limonita (MM)
Nombre de la Roca: Esquisto Grafítico
Observaciones: El cuarzo está en vetas. Las limonitas vienen de los filosilicatos de hierro.

Muestra: M-8
Textura/Foliación: Granular fina/ Crenulada
Mineralogía: Microplegues y vetillas de cuarzo. Minerales básicos.
Mineralogía Inferida (FRX): 55,4% de SiO <sub>2</sub> , 16,8% de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 9,18% de CaO y 10,45% de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO. Indican esos porcentajes que se trata de una roca básica metamorfoseada.

Nombre de la Roca: Corneana de composición básica con grafito.
Observaciones: AL parecer la roca tenía grafito- tridimita- moscovita; pero la composición química con FRX mostró lo contrario, el porcentaje de SiO <sub>2</sub> es muy bajo para permitir la existencia de cantidades considerables de cuarzo libre.

Muestra: M- 9
Textura/Foliación: Granular fina/ Crenulada
Mineralogía: Cuarzo- Grafito-Moscovita-Azufre Nativo (MM-MN)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo-Moscovita-Andalucita-Estaurolita- Granate (AFM).
Nombre de la Roca: Cuarzita con Gr-Ms-And-St-Grt y S nativo.
Observaciones: La roca es de grano es extremadamente fino. Mineralogía con AFM confiable.

Muestra: M- 10
Textura/Foliación: Granular fina/ Apariencia cornuda
Mineralogía: Cuarzo- Feldespato de Potasio- Ortopiroxeno- Biotita (MM- MN)
Mineralogía Inferida (FRX): Según el diagrama AFM nos indica que la roca tiene Cuarzo- Feldespato de potasio- Silimanita- Cordierita y Granate pero se va a confiar en la mineralogía de la lupa estereoscopio debido a que esta roca contiene Cao en un 3,65% el cual puede crear plagioclasas cálcicas que restarían aluminio al diagrama y por lo tanto la muestra caería en los campos más bajos del diagrama AFM.
Nombre de la Roca: Corneana de Qtz- Kfs- Opx y Bt
Observaciones: El calcio puede provenir del grabro que intruye a las rocas metamórficas.

Muestra: M- 11
Textura/Foliación: Foliada/ Filítico
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita y otras micas de Mg o Ca. Limonitas de hierro (MM).
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt-Ms
Observaciones: Ninguna.

Muestra: M- 12
Textura/Foliación: Granular/ Esquistosidad
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita- Magnetita- Apatito- Limonitas (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Moscovita- Estaurolita- Granate- Biotita (AFM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt-Ms
Observaciones: El CaO en la roca es de 1,41% y existe P2O5; podría haber calcita.

Muestra: M- 14
----------------

Textura/Foliación: Fina/ Esquistosidad
Mineralogía: Clorita-Cuarzo- Moscovita-Limonitas (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Moscovita- Clorita- Andalucita (AFM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Chl- Ms-And-Qtz
Observaciones: El análisis químico coincide muy bien con el análisis bajo la lupa binocular.

Muestra: M-15
Textura/ Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico (MM-MT)
Mineralogía: Grafito-Cuarzo-Moscovita-Zircón-Magnetita
Nombre de la Roca: Esquisto Gráfico con Qtz-Ms
Observaciones:

Muestra: M- 16 A
Textura/Foliación: Granular/Crucero Filítico (MM-MT)
Mineralogía: Cuarzo-Moscovita-Biotita-Clorita-Limonitas
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Ms-Bt-Chl
Observaciones:

Muestra: M-17
Textura/Foliación: Granular fina/ Crucero Pizarroso
Mineralogía: Cuarzo-Ms-And-Ab-Bt (MM-MT)
Nombre de la Roca: Filita de Qtz-Ms-And-Ab
Observaciones: La roca tiene capas meta-psamíticas y otras meta-pelíticas. El grano de la roca es muy fino y no se puede distinguir muy bien si el material más fino es andalucita, cuarzo o albita.

Muestra: M-18
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad
Mineralogía: Grafito- Cuarzo- Moscovita- Hematita- Magnetita
Nombre de la Roca: Esquisto Gráfico con Qtz-Ms-Hem-Mag
Observaciones: La Hematita es botroidal

Muestra: M-19
Textura/Foliación: Granular/ Sin Foliación (MM-MT)
Mineralogía: Cuarzo-Estaurolita-Biotita
Nombre de la Roca: Cuarcita con Hbl-Bt
Observaciones:

Muestra: M-20
Textura/Foliación: Granoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Grafito-Moscovita- Azufre Nativo- Limonitas
Mineralogía Inferida (FRX):

Nombre de la Roca: Filita Gráfica con Ms
Observaciones:

Muestra: M- 21
Textura/Foliación: Granoblástica/ Esquistosidad
Mineralogía: Grafito-Moscovita-Estaurolita- Clorita- Andalucita- Cuarzo- Arcillas (Lámina Delgada)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo-Moscovita-Estaurolita-Andalucita-Granate
Nombre de la Roca: Esquisto Gráfico con Ms-St-And-Qtz-Chl
Observaciones: Las arcillas son minerales secundarios producidos por la alteración de la estaurolita. La roca no tiene granates como lo muestra el diagrama AFM, o los tiene en grano muy fino. El magnesio tiene errores grandes en la lectura del magnesio (cerca del 4%).

Muestra: M- 22 A
Textura/Foliación: Decusada/Sin foliación
Mineralogía: Clorita- Cuarzo-Tremolita- Mineral blanco muy fino- Estaurolita- Calcita- Biotita (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo-Moscovita-Clorita- Andalucita (AFM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Chl-And-Tr-Cal
Observaciones: La mineralogía de esta roca es bastante compleja y gran parte de los minerales son de grano fino a excepción de la clorita y tremolita que forman cristales prismáticos, la biotita, la estaurolita y posiblemente el granate existen en proporciones bajas como minerales accesorios. La roca es el producto del metamorfismo de una marga magnésica. Además el CaO constituye el 4,41% de la roca en comparación con los esquistos y cuarcitas adyacentes con tan solo 0.08% de CaO.

Muestra: M-22 B
Textura/Foliación: Granular Masiva/ Sin foliación
Mineralogía: Cuarzo- Andalucita- Moscovita-Biotita-Estaurolita- Pirita- Hematites (Lámina Delgada)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo-Moscovita- Andalucita- Estaurolita-Granate (AFM)
Nombre de la Roca: Cuarcita con And-Ms-Bt-St
Observaciones: La Bt forma el 4% de la roca y de igual manera la Py+Hem forman el 4% de la roca. La estaurolita el 2% y no se encuentra maclada.

Muestra: M- 23 A
Textura/Foliación: Porfiroblástica/ Esquistosidad
Mineralogía: Moscovita-Cuarzo-Grafito-Clorita (MM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Ms-Qtz-Gr-Chl
Observaciones: Porfiroblastos de moscovita.

Muestra: M- 23 A
Textura/Foliación: Granular/ Esquistosidad
Mineralogía: : Cuarzo-Moscovita-Grafito-Limonita(MM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz- Ms- Gr
Observaciones: Porfiroblastos de moscovita.

Muestra: M- 24
Textura/Foliación: Granular/Crucero Pizarroso
Mineralogía: Cuarzo-Moscovita-Biotita (MM- MT)
Nombre de la Roca: Cuarcita con Ms-Bt
Observaciones:

Muestra: M- 25
Textura/Foliación: Granular masiva/Sin foliación
Mineralogía: Cuarzo- Magnetita- Moscovita- Biotita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Cuarcita con Mag- Ms-Bt
Observaciones: La cuarcita es muy pura; aproximadamente el 90% de la roca es cuarzo. La moscovita es de grano muy fino y escaso.

Muestra: M- 26
Textura/Foliación: Granular y lepidoblástica/ Esquistosidad (MM)
Mineralogía: Cuarzo en las bandas silíceas y Grafito-Biotita-Moscovita en las bandas meta-pelíticas (MM).
Nombre de la Roca: Esquisto de Gr-Bt-Ms con intercalaciones de cuarcita.
Observaciones: Esta roca es el resultado de metamorfismo de samitas intercaladas con pelitas.

Muestra: M- 27
Textura/Foliación: Granular gruesa / Crucero Pizarroso
Mineralogía: Cuarzo- Moscovita- Biotita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Ms-Bt
Observaciones:

Muestra: M- 28
Textura/Foliación: Granular gruesa/ Crucero Pizarroso (MM)
Mineralogía: Moscovita-Biotita-Cuarzo- Pírolusita dendrítica
Nombre de la Roca: Esquisto de Ms-Bt-Qtz
Observaciones:

Muestra: M-29 A
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico (MM-MT)

Mineralogía: Moscovita- Biotita- Cuarzo
Nombre de la Roca: Esquisto de Ms-Bt-Qtz
Observaciones:

Muestra: M- 29 B
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad
Mineralogía: Calcita- Cuarzo- Clorita- Biotita- Flogopita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Cal-Qtz-Chl
Observaciones: Esta roca es el resultado del metamorfismo de una marga. Posiblemente haya tremolita.

Muestra: M- 30 A
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Cuarzo-Biotita (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Feldespato de K- Silimanita- Cordierita- Granate (AFM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt-Sil-Kfs-Chl
Observaciones: Se tomó en cuenta el diagrama por la presencia de Clorita y la ausencia de Estaurolita en función de las láminas delgadas de la muestra M-33. La roca es de grano muy fino; pero con minerales de metamorfismo elevado.

Muestra: M-30 B
Textura/Foliación: Grano-Lepidoblástica/ Bandeado gnéisico
Mineralogía: Silimanita- Cuarzo- Biotita (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Feldespato de K- Silimanita- Cordierita- Granate (AFM)
Nombre de la Roca: Gneis de Sil-Qtz-Bt-Kfs
Observaciones: Se tomó en cuenta el diagrama por la presencia de Clorita y la ausencia de Estaurolita en función de las láminas delgadas de la muestra M-33. La roca es de grano muy fino; pero con minerales de metamorfismo elevado.

Muestra: M- 31
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad
Mineralogía: Sericita- Biotita- Flogopita (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Moscovita- Clorita- Andalucita (AFM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Ser-Chl- Bt
Observaciones: La sericita es de composición similar a la moscovita; pero de grano muy fino. El grano de la roca es extremadamente fino; pero la existencia de micas magnésicas indica que el metamorfismo no es de grado bajo.

Muestra: M-32
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Cuarzo- Moscovita- Biotita- Óxidos de Fe y Mn (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquito de Qtz-Bt-Ms
Observaciones:

Muestra: M- 33
Textura/Foliación: Grano-Lepidoblástica/ Bandeado gnéisico
Mineralogía: Cuarzo- Feldespato de Potasio- Biotita- Moscovita-Granate-Albita (Lámina Delgada)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Feldespato- Andalucita- Cordierita- Granate (AFM)
Nombre de la Roca: Gneis de Qtz-Kfs-Bt-Sil- Ms-Grt
Observaciones: Esta roca no ha desarrollado la cordierita o esta es de grano muy fino como para verse en la lámina delgada. Dos láminas delgadas, la una con Ms-And y la otra con Kfs-Sil. La roca posiblemente no desarrolló por completo la formación de cordierita.

Muestra: M- 34 A
Textura/Foliación: Granular masiva/ Sin foliación
Mineralogía: Cuarzo- Moscovita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Cuarcita con Ms
Observaciones:

Muestra: M-34B
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad
Mineralogía: Biotita- Cuarzo (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Bt-Qtz
Observaciones:

Muestra: M- 35
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Moscovita- Biotita- Clorita
Nombre de la Roca: Esquisto de Ms-Bt-Chl
Observaciones: La Ms forma la mayor parte de la roca e forma cristales de varios centímetros de largo doblados a manera de crenulaciones alargadas. La Bt y Chl son de grano sumamente fino.

Muestra: M- 36
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Clorita- Otros filosilicatos-Moscovita- Bt- Grafito (Lámina Delgada)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Moscovita- Clorita- Andalucita (AFM)
Nombre de la Roca: Filita de Qtz- Chl- Ms- And

Observaciones: Se confía en el diagrama AFM por coincidir con los resultados de la lámina delgada que por ser de grano muy fino la roca no se pudo discriminar bien los minerales en ella.

Muestra: M-37

Textura/Foliación: Decusada/ Crenulada

Mineralogía: Epidota- Plagioclasa- Calcita- Ilmenita- Magnetita- Flogopita- Circón- Apatito

Nombre de la Roca: Anfibolita con Pl-Opx-Cal

Observaciones:

Muestra: M- 38 A

Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosa

Mineralogía: Hornblenda- Cuarzo- Moscovita- Biotita (MM-MT)

Nombre de la Roca: Esquisto de Hbl-Qtz-Ms-Bt

Observaciones:

Muestra: M- 38 B

Textura/Foliación: Nematoblástica/ Crucero Filítico (MM-MT)

Mineralogía: Actinolita- Epidota-Cuarzo-Hornblenda-Calcita

Nombre de la Roca: Esquisto Verde con Act-Ep-Qtz

Observaciones:

Muestra: M- 39 A

Textura/Foliación: Decusada/ Sin foliación

Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Calcita (MM-MT)

Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt

Observaciones:

Muestra: M- 39 B

Textura/Foliación: Nematoblástica/ Esquistosidad

Mineralogía: Tremolita-Actinolita-Cuarzo- Epidota- Calcita (MM- MT)

Nombre de la Roca: Esquisto de Tr-Act-Qtz-Ep

Observaciones:

Muestra: M- 40

Textura/Foliación: Granular fina/ Crucero Filítico

Mineralogía: Biotita- Cuarzo-Moscovita (MM- MT)

Nombre de la Roca: Esquisto de Bt-Qtz-Ms

Observaciones:

Muestra: M- 41

Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad

Mineralogía: Biotita- Cuarzo- Moscovita (MM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Bt-Qtz-Ms
Observaciones:

Muestra: M- 42
Textura/Foliación: Granular/ Crucero Filítico (MM)
Mineralogía: Cuarzo- Moscovita- Biotita
Nombre de la Roca: Filita de Qtz- Ms- Bt
Observaciones:

Muestra: M- 43
Textura/Foliación: Decusada/ Sin Foliación
Mineralogía: Hornblenda- Plagioclasa- Epidota- Actinolita- Clinozoisita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Anfibolita de Hbl- Pl- Ep
Observaciones: No se discriminó si la mayoría de la roca era actinolita o epidota.

Muestra: M- 44
Textura/Foliación: Granular/ Crucero Filítico
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita- Magnetita- Topacio (MM- MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt
Observaciones: Los minerales Ms-Mag-Toz están son accesorios.

Muestra: M- 45 B
Textura/Foliación: Decusada/ Sin foliación
Mineralogía: Hornblenda- Plagioclasa- Cuarzo- Anfíbol- Magnetita-Ilmenita
Nombre de la Roca: Anfibolita de Hbl- Pl- Qtz-Am- Mag- Ilm
Observaciones: El anfíbol puede ser actinolita

Muestra: M- 46
Textura/Foliación: Granular/ Sin foliación
Mineralogía: Cuarzo- Biotita (MM- MT)
Nombre de la Roca: Cuarcita con Bt
Observaciones:

Muestra: M- 47 A
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Moscovita- Biotita- Cuarzo (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Moscovita- Clorita- Andalucita (AFM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz- Ms- Bt- And

Observaciones: La clorita o es muy escasa o no existe, ya que en la muestra triturada y en la muestra de mano son muy claras las biotitas negras y doradas (posiblemente magnésicas).

Muestra: M- 47 B
Textura/Foliación: Granular Masiva/ Sin Foliación
Mineralogía: Cuarzo- Moscovita- Biotita- Andalcita (MM- MT)
Nombre de la Roca: Cuarcita con Ms-Bt-And
Observaciones: La andalcita se confunde con el cuarzo lechoso; pero no hay vetas que atraviesen la roca.

Muestra: M- 48
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Moscovita- Clorita-Biotita (MM)
Mineralogía Inferida (FRX):
Nombre de la Roca: Filita de Ms-Chl
Observaciones: Solo el 1% de la roca es biotita. En caso de haber cuarzo es de grano muy fino.

Muestra: M- 49
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Moscovita- Biotita- Flogopita- Cuarzo (MM- MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Ms-Bt-Phl
Observaciones: Al menos 65% de la roca es Ms. Existen dos micas negras: la una es la biotita de color negro y la otra es bien biotita magnésica o bien flogopita (su color es dorado).

Muestra: M- 50 A
Textura/Foliación: Granular/ Sin foliación
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Moscovita- Andalcita- Clorita (AFM)
Nombre de la Roca: Cuarcita con Ms- And-Bt (AFM)
Observaciones: No fue vista la clorita en esta muestra; pero puede existir en grano muy fino. La muestra en textura y mineralogía es muy similar a la de la muestra M- 47 A.

Muestra: M- 50 B
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Biotita- Clorita- Cuarzo- Moscovita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Bt- Chl-Qtz-Ms
Observaciones: La muestra en textura y mineralogía es muy similar a la muestra M-47 B.

Muestra: M- 51
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Moscovita- Flogopita- Biotita (MM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Ms
Observaciones: La granulometría de la roca es muy fina para determinar otros minerales que no sean las micas; en incluso estas son de grano fino; posiblemente existe clorita en la roca. Además la roca está meteorizada.

Muestra: M- 52
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad
Mineralogía: Cuarzo- Andalucita- Biotita-Moscovita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz- And- Bt-Ms
Observaciones: El mineral blanco forma cristales prismáticos; está bastante alterado; es muy probable que sea andalucita alterada.

Muestra: M- 53
Textura/Foliación: Granular masiva/ Sin foliación
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita- Flogopita- Andalucita- Albita (MM- MT).
Mineralogía Inferida (FRX):
Nombre de la Roca: Cuarcita con Bt-Ms
Observaciones: La Phl-And-Ab son minerales accesorios.

Muestra: M- 54 A
Textura/Foliación: Granular masiva/ Sin foliación
Mineralogía: Cuarzo- Biotita (MM- MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz- Bt
Observaciones: El resto de minerales pueden ser Ms o Chl; pero no accesorios en la roca; el cuarzo y la Biotita están en una relación 1:1

Muestra: M- 54 B
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita- Magnetita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt-Ms
Observaciones: La Ms es de grano grueso y la Bt es de grano fino, están en proporciones similares.

Muestra: M- 56
Textura/Foliación: Decusada/ Crenulada

Mineralogía: Cuarzo- Moscovita- Biotita (MM- MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Ms-Bt
Observaciones:

Muestra: M- 57
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad
Mineralogía: Cuarzo- Moscovita- Biotita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz- Ms- Bt
Observaciones: El cuarzo es granular; pero además también aparece en lentes de hasta 4mm de potencia.

Muestra: M- 58 A
Textura/Foliación: Granular fina/ Sin Foliación
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Magnetita (MM- MT)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Ms- And- Clorita (AFM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz- Bt- And
Observaciones: La clorita y la biotita son minerales que no concuerdan en el análisis de lupa estereoscopio con el análisis del diagrama AFM.

Muestra: M- 58 B
Textura/Foliación: Granular fina/ Sin Foliación
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Magnetita
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt
Observaciones: La cantidad de cuarzo en esta roca es mayor que en M- 58 A

Muestra: M- 59
Textura/Foliación: Grano-porfidoblástica/ Crenulada
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita- Grafito (Lámina Delgada)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt-Ms
Observaciones: El grafito solo forma parte del 1% de la roca

Muestra: M- 60
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Clorita- Biotita- Cuarzo- Moscovita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Chl-Bt-Qtz-Ms
Observaciones: El cuarzo y la moscovita son de grano muy fino.

Muestra: M- 61 A
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita- Flogopita (MM-MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt-Ms
Observaciones: La flogopita podría ser biotita magnésica; pero es dorada.

Muestra: M- 61B
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita (MM-MT)
Mineralogía Inferida (FRX):
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz- Bt- Ms
Observaciones:

Muestra: M- 62
Textura/Foliación: Granular/ Sin esquistosidad
Mineralogía: Biotita- Cuarzo- Óxidos de Fe y Ti
Nombre de la Roca: Esquisto de Bt-Qtz
Observaciones:

Muestra: M- 63
Textura/Foliación: Grano-lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita- Calcita (Lámina Delgada)
Mineralogía Inferida (FRX): Cuarzo- Moscovita- Andalucita- Clorita (AFM)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz- Bt- Ms- And
Observaciones: Puede ser que entre la fracción granular fina de la roca esté la Andalucita que se infiere el diagrama AFM, ya que en lámina delgada esta se asemeja mucho al cuarzo.

Muestra: M- 64
Textura/Foliación: Decusada/ Esquistosidad
Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Moscovita- Flogopita (MM- MT)
Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt-Ms
Observaciones: La flogopita aparece como mica dorada, podría ser biotita magnésica.

Muestra: M- 65 A
Textura/Foliación: Decusada/ Sin foliación
Mineralogía: Hornblenda- Plagioclasa- Cuarzo- Actinolita- Biotita- Magnetita (MM- MT)
Mineralogía Inferida (FRX):
Nombre de la Roca: Anfibolita de Pl-Qtz

Observaciones: La mayoría de minerales son de grano grueso. La biotita y la magnetita son solo minerales accesorios.

Muestra: M- 65 B

Textura/Foliación: Decusada

Mineralogía: Plagioclasa- Hornblenda- Cuarzo- Flogopita- Biotita

Nombre de la Roca: Anfibolita de Hbl- Pl-Qtz

Observaciones:

Muestra: M- 66

Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad

Mineralogía: Biotita- Cuarzo-Actinolita- Moscovita (MM- MT)

Mineralogía Inferida (FRX): El porcentaje de SiO<sub>2</sub> de la roca es de tan solo 46,34% y la composición química de esta se asemeja a todas las metabasitas.

Nombre de la Roca: Esquisto verde de Actinolita

Observaciones: La roca no puede tener mucho cuarzo libre, la mineralogía bajo lupa estereoscopia es ambigua porque el grano de la roca es fino y no se puede apreciar bien los cristales

Muestra: M- 67

Textura/Foliación: Decusada/ Esquistosidad

Mineralogía: Plagioclasa- Biotita- Hornblenda- Grafito- Clorita- Epidota- Flogopita (MM-MT)

Nombre de la Roca: Metabasita con impurezas pelíticas y gráficas.

Observaciones: La mineralogía de esta roca es compleja, la mineralogía puede resultar ambigua.

Muestra: M- 68

Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad

Mineralogía: Grafito- Moscovita- Cuarzo- Biotita- Magnetita (MM- MT)

Nombre de la Roca: Esquisto Gráfico con Ms-Qtz-Bt

Observaciones: Existe un mineral rojo que podría ser estauroлита o granate. No formaba buenos cristales y es de grano muy fino.

Muestra: M- 69

Textura/Foliación: Nematoblástica/ Sin foliación

Mineralogía: Hornblenda- Calcita- Plagioclasa-Cuarzo- Magnetita- Grafito- Biotita

Nombre de la Roca: Anfibolita de Hbl

Observaciones: La roca no tiene esquistosidad pero los minerales alargados están orientados en una dirección preferencial. La Mag, Gr y Bt son minerales accesorios.

Muestra: M- 70 A

Textura/Foliación: Lepidoblástica/Esquistosidad

Mineralogía: Cuarzo- Grafito- Biotita-Pirita (MM-MT)

Nombre de la Roca: Esquisto gráfico con Bt-Qtz

Observaciones: Lentes de cuarzo de hasta 8mm de potencia.
---

Muestra: M- 70 B
------------------

Textura/Foliación: Lepidoblástica/Esquistosidad
---

Mineralogía: Grafito- Cuarzo- Calcita (MM- MT)
--

Nombre de la Roca: Esquisto grafitico con Qtz-Cal
---

Observaciones: Más grafito que en la muestra M- 70 A
--

Muestra: M- 71
----------------

Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad
--

Mineralogía: Cuarzo-Biotita- Margarita- Moscovita (MM-MT)
---

Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Bt-Phl-Ms
--

Observaciones: La margarita podría ser otro tipo de mica, para confirmar esto usando DRX.
---

Muestra: M- 72
----------------

Textura/Foliación: Decusada/ Sin foliación (MM-MT)
--

Mineralogía: Hornblenda- Plagioclasa- Cuarzo
--

Nombre de la Roca: Anfibolita de Hbl
--------------------------------------

Observaciones: Los anfíboles dan la textura decusada a la roca, la cantidad de cuarzo es baja.
--

Muestra: M- 73 A
------------------

Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Esquistosidad
--

Mineralogía: Grafito- Cuarzo- Margarita- Biotita
--

Nombre de la Roca: Esquisto grafitico con Qtz-Mrg
---

Observaciones: La margarita podrías ser otra mica, para confirmar esto úsese DRX.
---

Muestra: M- 73 B
------------------

Textura/Foliación: Granular/ Esquistosidad
--

Mineralogía: Cuarzo- Biotita- Estauroлита
---

Nombre de la Roca: Esquistos de Qtz-Gr-Bt
---

Observaciones:
----------------

Muestra: M- 74
----------------

Textura/Foliación: Porfidoblástica/ Esquistosidad
---

Mineralogía: Cuarzo- Grafito- Biotita- Estauroлита- Calcita- Sulfuros
---

Nombre de la Roca: Esquisto de Qtz-Gr-Bt-St
---

Observaciones: Esta roca es el resultado del metamorfismo de una arenisca bituminosa.
---

Muestra: M- 75
Textura/Foliación: Lepidoblástica/ Crucero Filítico
Mineralogía: Clorita- Biotita- Cuarzo- Calcita- Flogopita
Mineralogía Inferida (FRX): 51% de SiO <sub>2</sub>
Nombre de la Roca: Esquisto de Chl- Bt
Observaciones: El mineral blanco posiblemente sea otro en vez de cuarzo ya que la cantidad de SiO <sub>2</sub> en la roca es baja para poder estabilizar mucho cuarzo libre. Esta roca es una metabasita de un protolito posiblemente andesítico.

## B. Descripción de rocas metamórficas en lámina delgada.

### MUESTRA M- 21

Textura de la Roca: La textura de la roca es granoblástica con estaurolita en una matriz de grafito-moscovita-clorita y con lentes de andalucita y vetillas de cuarzo.

Minerales de la Roca

**Grafito:** Es fácilmente reconocible en el afloramiento, en la muestra de mano y en la lámina delgada. Es opaco en LPA y LPNA. Se presenta con hábito hojoso así como las micas. Forma parte del 40% de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Negro	Colores de interferencia: Mineral Opaco
Pleocroísmo: Mineral Opaco	Ángulo de extinción: Mineral Opaco
Relieve: Bajo	Elongación: Mineral Opaco

**Estaurolita:** Este mineral aparece como cristales granoblásticos muy bien formados. En su mayoría, los cristales se encuentran con macla en cruz. Está asociada a la moscovita y el grafito de la matriz, forma parte del 18% de la roca. Se encuentra alterado a minerales de arcilla (hábito granular masivo, colores de interferencia entre el final de primer orden y la mitad de segundo orden) y a cloritas (hábito fibroso, color de interferencia lila y elongación negativa).

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Amarillo intenso de primer orden
Pleocroísmo: Poco notable	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Moscovita:** Tiene hábito hojoso o micáceo. Conformar el 25% de la roca y se encuentra en la matriz.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Amarillos y verdes de tercer orden.

Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Andalucita:** Aparece asociada al cuarzo y ambos forman lentes granulares en matriz de la roca. Es difícil de diferenciar del cuarzo ya que la lámina está un poco gruesa en donde este mineral aparece; pero sus cristales pueden distinguirse cuando están alargados. Forma el 10 % de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Amarillo de primer orden (parte gruesa de la lámina)
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Cero
Relieve: Alto	Elongación: Negativa

**Clorita:** Aparece junto a la moscovita en la matriz lepidoblástica de la roca, se confunde con la misma en nicoles paralelos ya que tiene hábito micáceo; pero se la identifica en nicoles cruzados.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incolora	Colores de interferencia: Grises de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: De 0 a 5 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Cuarzo:** No aparece en la matriz rocosa, salvo que su tamaño de grano sea sumamente fino. Se puede apreciar mejor en la muestra de mano ya que aparece en vetillas paralelas a la foliación de la roca. Posiblemente provenientes de fluidos. Junto con la clorita forman el porcentaje restante de la composición modal de la roca.

### Muestra M- 22 A

Textura de la roca: Esta roca tiene una textura granular con una pequeña dirección preferencial de las micas y andalucitas que se muestran alineadas con la misma dirección en la lámina delgada.

Minerales de la Roca

**Cuarzo:** Se muestra con superficies pulidas de alto relieve y gran parte de sus cristales con superficie basal. El cuarzo y la andalucita le dan la textura granular a la roca. Conforman el 48% de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Gris a blanco
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Cero
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Andalucita:** Se encuentra asociado al cuarzo y a si misma formando cristales subhedrales, algunos de ellos granoblásticos. Los cristales no aparecen con superficies bien pulidas como las del cuarzo; sino más bien carcomidas y con algunas inclusiones pequeñas de otro mineral, posiblemente apatito (color de interferencia de primer orden y cristales prismáticos muy bien formados). Algunos minerales se encuentran maclados con macla sencilla. La andalucita forma el 28% de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blanco y amarillo pálido de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Muy alto	Elongación: Negativa

**Moscovita:** Esta mica al igual que la biotita se encuentran alineadas con forme al ángulo de buzamiento visto en escala de afloramiento. Su hábito es hojoso con exfoliación basal perfecta. La moscovita conforma el 10% de volumen de roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Hasta amarillos de tercer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva.

**Biotita:** Se distingue de la moscovita por su pleocroísmo fuerte. Forma el 4% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón rojizo	Colores de interferencia: De tercer orden; se opacan por el color marrón rojizo de la roca.
Pleocroísmo: Fuerte. Amarillo pálido- marrón rojizo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Medio	Elongación: Positiva; pero no es apreciable.

**Estaurolita:** Este mineral es accesorio para la roca, solo conforma el 4% de su volumen. Se presenta sin macla y con cristales prismáticos euhedrales delgados lo cual dificulta notablemente su distinción. La exfoliación es excelente y está asociado a la moscovita y al cuarzo.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Amarillo	Colores de interferencia: Amarillo encendido y naranja de primer orden.
Pleocroísmo: Notable, de amarillo a blanco hueso	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Moderado.	Elongación: Positiva

**Clorita:** Este mineral se encuentra asociado a la moscovita, es muy escaso (forma el 2% de la roca) y es de hábito micáceo; pero distinguiéndose de la moscovita por sus colores de interferencia bajos. Es algún tipo de mineral del grupo de la clorita.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Amarillo pálido	Colores de interferencia: Hasta gris de primer orden.
Pleocroísmo: Débil: en tonos pálidos de gris-amarillo-blanco.	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva.

**Minerales opacos:** Conforman el 4% del volumen total de la roca; del cual el 2% corresponde a la pirita y el otro 2% corresponde a hematites tabulares. Fueron identificados con luz reflejada.

### Muestra M- 33

Textura de la Roca: Esta roca tiene textura grano-lepidoblástica con bandeado gnéisico. A escala de muestra de mano se ve que la roca tiene la textura tipo ‘*augen*’ con lentes de andalucita, mineral que se reconoció tan solo en una de las dos láminas delgadas. La parte granular está conformada por cuarzo, feldespato de potasio y andalucita, mientras que la parte lepidoblástica la conforman biotita y moscovita. De esta muestra se realizaron dos láminas: la una en los laboratorios preparación petrográfica de la UTPL y la otra en los laboratorios del departamento de Geodinámica de la Universidad de Granada- España. Se va a dar los porcentajes de mineral vistos en la lámina elaborada en la Universidad de Granada.

**Cuarzo:** El cuarzo conforma la parte granular de la roca. Se presenta con cristales euhedrales bien formados y en sección muy cercana a la basal. El cuarzo forma el 37% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Difícil de calcular el ángulo por no tener cristales alargados.
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Feldespato de Potasio:** Se presenta como cristales anhedrales con exfoliación buena a mala. Esto permite diferenciarlo del cuarzo al igual que las superficies sucias de los cristales. Se vieron además diferentes tipos de maclas: Manebach, Carlsbad y de la Periclina en un solo cristal, razón por la cual se presume que existen **Ortosa** en su mayoría y **Microclina** (la ortosa no tiene la macla de la Periclina). Forma parte del 24% de la roca y está asociado al cuarzo en la parte granular de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 7 grados
Relieve: Bajo.	Elongación: Positiva

**Albita:** Se presenta como tabulares y euhedrales asociados al cuarzo y se pueden distinguir del cuarzo y otros feldespatos por la macla según la ley de la albita y por su ángulo de extinción. Conforman el 1% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 11 a 15 grados
Relieve: Moderado	Elongación: Positiva

**Biotita:** Conforman el 17% de la roca y constituye la parte bandeada de la misma. Su hábito es hojoso y del tipo 'borde de libro'. La exfoliación es basal perfecta.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón	Colores de interferencia: Hasta verdes de tercer orden
Pleocroísmo: Fuerte amarillo- marrón	Ángulo de extinción: 0 grados, extinción ojo de pájaro.
Relieve Bajo	Elongación: Positiva

**Moscovita:** Este mineral es engañoso en la roca. Aparece formando masas hojosas moscovíticas junto a masas hojosas de biotita. Tiene hábito micáceo, pero al parecer está muy alterada porque no muestra sus colores de interferencia de tercer orden; si no los colores de interferencia blancos y amarillos de primer orden; sin embargo en otra lámina delgada de la misma muestra se ve con color de interferencia de tercer orden. Conforman el 12% del volumen total de la roca. Se confirma que es moscovita por extinción del tipo ojo de pájaro.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro y amarillento	Colores de interferencia: Blanco y amarillo de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Cero grados. Extinción ojo de pájaro.
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Granate:** Se presenta como granoblastos aislados entre la clorita. Se reconoce porque sus cristales son isométricos y se extinguen en nicols cruzados. Conforman el 4% del volumen total de la roca. Solo fueron vistos dos cristales de granate; al parecer de distintas variedades. El uno es de color gris con poikiloblastos de moscovita y oxidaciones dispuestas de forma acicular y al azar. El otro granate muestra zonación: es gris en los bordes y amarillo en el

centro. Su superficie se encuentra más limpia que en el anterior y está rodeado de cuarzo en vez de clorita.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Gris y amarillo	Colores de interferencia: En extinción- sistema isométrico
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: -
Relieve: Alto	Elongación: No tiene

**Minerales opacos:** Existen minerales en una proporción del 1% que son muy pequeños. Son isométricos algunos, rojos y marrón-rojizos en LPNA y permanecen en extinción en nicols cruzados. Estos minerales son hematites y casiteritas.

### Muestra M- 36

Textura de la Muestra: La roca tiene textura lepidoblástica, está compuesta por varios filosilicatos y tiene pequeños lentes hechos por granos de cuarzo. Los minerales son de textura extremadamente fina y por eso no se pudieron identificar del todo bien. Además los óxidos de hierro opacan los colores de interferencia de los minerales.

Minerales de la Roca.

**Cuarzo:** Su ocurrencia se limita a los lentes, en donde existe como cristales subhedrales, muy compactos entre sí. Los lentes tienen tamaño milimétrico; pero el cuarzo es extremadamente fino y no llega ni a la mitad de 1mm de diámetro.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Hasta blanco de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: No fue posible calcular.
Relieve: Alto	Elongación: Positiva.

**Clorita:** Este mineral aparece en masas de fibrosas y granulares con hábito hojoso. Forma la mayoría de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Amarillo Pálido	Colores de interferencia: Grises de primer orden y colores anómalos típicos de la clorita.
Pleocroísmo: Débil, dos tonalidades de amarillo	Ángulo de extinción: De 0 a 5 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Moscovita:** Aparece con exfoliación basal perfecta en hábito hojoso.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro.	Colores de interferencia: De tercer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados.

Relieve: Bajo

Elongación: Positiva

**Biotita:** Podría tratarse de la variedad Estilpnomelano debido a que el grado de metamorfismo es bajo en esta roca. Es de hábito hojoso, una sola exfoliación muy buena a perfecta.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón claro	Colores de interferencia: De tercer orden
Pleocroísmo: Amarillo – Marrón claro.	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Negativa.

**Opacos:** En luz reflejada se pudo apreciar que el mineral opaco principal en la roca tiene color

### Muestra M- 37

Textura de la roca: La roca tiene textura decusada con anfíboles prismáticos y alargados en una matriz de cuarzo, plagioclasas y carbonatos.

**Epidota:** Se presenta en cristales prismáticos euhedrales. Su exfoliación es perfecta según el lado más largo. En esta muestra aparecen las epidotas sobrepuestas unas a las otras y sobrepuestas a la matriz de la roca. Hay dos variedades de epidota. La menos abundante tiene color de interferencia de amarillo de primer orden y pleocroísmo más débil que la variedad más abundante que se describe en el recuadro. En total, la epidota conforma el 40% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Verde oliva	Colores de interferencia: Colores de segundo orden hasta azul de este mismo orden.
Pleocroísmo: Fuerte, verde oliva-amarillo pálido	Ángulo de extinción: 14 a 26 grados
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Carbonatos:** Conforman el 12% de la roca. Se presentan como agregados granulares en o como cristales anhedrales en la matriz de la roca. La exfoliación es de buena a muy buena en los pocos cristales que se pueden observar. Están asociados a todos los minerales de la matriz. La mayoría de los carbonatos son calcita; pero puede también existir dolomita ya que la roca es rica en Mg.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Verdes, rosados y blandos de órdenes elevados (mayores del tercero)
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados

Relieve: Moderado a bajo

Elongación: Aparentemente negativa, difícil de apreciar

**Flogopita:** El mineral se presenta con el típico hábito micáceo tipo 'borde de libro', asociado al cuarzo y a los carbonatos.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón claro verdoso	Colores de interferencia: Hasta rosado de tercer orden
Pleocroísmo: Notable: marrón claro- amarillo pálido	Ángulo de extinción: 10 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Plagioclasa:** Forman con el cuarzo la matriz fina de la roca, entre ambos conforman el 43% de la roca. Se distinguen de ese por tener macla de Carlsbad y de la periclina. Según su ángulo de extinción, existe labradorita (15°) y bitownita (38°). Son plagioclasas cálcicas ambas (con pequeñas cantidades de sodio); sin embargo esto se justifica porque existe exceso de CaO, lo cual se refleja en la abundancia de carbonatos. Se descarta la posibilidad de que existan feldespatos de potasio porque el porcentaje de K<sub>2</sub>O en la roca es de 0,26%

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Dos variedades de plagioclasas uno de 15 grados y otra de 38 grados.
Relieve: Alto	Elongación: Positiva (ambas variedades).

**Minerales Opacos:** Forman el 13% de la roca. En su mayoría son magnetita e ilmenita (no se identificó rutilo) y pirita en menores cantidades.

**Minerales Accesorios:** Estos minerales están inferidos, resultarían estar en el porcentaje restante de la roca. Aunque no fueron vistos se infiere la existencia de circón y apatito, debido a que el análisis de FRX muestra ZrO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Se le ha asignado el 1% de minerales accesorios a la roca.

### Muestra M- 45 A

Textura de la muestra: La roca tiene textura granular decusada; no presenta foliación a escala microscópica. Las micas dispuestas al azar le dan la textura decusada y el cuarzo así como los escasos feldespatos de potasio forman la parte granular de la roca. La mineralogía de esta roca podría estar incompleta debido a que no se tuvo una buena recuperación de la lámina delgada.

Minerales de la Roca

**Cuarzo:** Se encuentra como cristales euhedrales y anhedrales, la mayoría en secciones cercanas a la basal. Forma parte del 63% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA

Color: Incoloro	Colores de interferencia: Hasta blanco de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: No fue posible calcular.
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Biotita:** Se encuentra con hábito micáceo del tipo “borde de libro”, masas con exfoliación basal perfecta. Conforman el 25% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón	Colores de interferencia: De tercer orden
Pleocroísmo: Fuerte Marrón-Amarillo	Ángulo de extinción: 0 grados, extinción del tipo ojo de pájaro.
Relieve: Moderado	Elongación: Positiva

**Moscovita:** Tiene hábito micáceo y está asociado a la biotita. Forma el 2% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Hasta la mitad de tercer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados, extinción del tipo ojo de pájaro
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Microclina:** Se asocia al cuarzo y se distingue de este por sus maclas simples y en parrilla. Forma parte del 6% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 10- 13 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Andalucita:** Se encuentra en la matriz granular de la roca como cristales anhedrales y subhedrales. Se distingue del feldespato de potasio por su color de interferencia más elevado. Forma solo el 4% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blanco de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Negativa

**Muestra M- 59**

Textura de la roca: La roca tiene textura grano-lepidoblástica con granoblastos de biotita. Además tiene crenulaciones que se las puede ver en lámina delgada; pero aún mejor en muestra de mano.

#### Minerales de la Roca

**Cuarzo:** Conformar la parte granular de la roca. Los cristales son euédricos estando en contacto los unos con los otros. El tamaño de grano varía; pero en general es de grano fino. Conformar el 65% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises y blancos de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: No se tomó ángulo; pero la extinción es ondulante.
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Biotita:** Forma cristales hojosos grandes, a manera de granoblastos. Su exfoliación basal es perfecta y mala en otros bordes. Forma el 25% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón rojizo	Colores de interferencia: Finales de tercer orden.
Pleocroísmo: Fuerte Marrón Rojizo- Naranja- Crema	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Moderado	Elongación: No es apreciable por sus altos colores de interferencia.

**Moscovita:** Forma masas hojosas que dan lugar a crenulaciones suaves y bandas del tipo gnéissicas. Se asocia consigo misma en dichas masas y en mínimas cantidades se la haya entre la matriz granular junto al cuarzo.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Hasta verde claro de tercer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Cercano a 0 grados.
Relieve: Bajo	Elongación: No es apreciable.

**Grafito:** Este mineral se muestra en hábito micáceo y de color negro, ya que el grafito es opaco. Solo forma el 1% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Negro	Colores de interferencia: Opaco
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Opaco
Relieve: Bajo	Elongación: Opaco

### Muestra M- 63

Textura de la roca: La foliación del tipo crucero filítico y la textura es grano- lepidoblástica. El mineral predominante de la roca es el cuarzo que constituye la parte granular de la misma.

#### Minerales de la Roca

**Cuarzo:** Conforman la parte granular y forman el mayor volumen de la roca. Los cristales en su mayoría son pequeños y subhedrales. Forma el 72% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises y blanco de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Cero. Extinción ondulante
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Biotita:** Está asociada a la moscovita y junto a esta le otorgan la foliación a la roca. Su hábito es hojoso y en muestra de mano aparece de color negro y amarillo dorado por lo cual hace parecer que fuera otra mica; pero esto se debe a algún elemento como Ca o Mg que podría estar en su composición. Forma parte del 17% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón claro rojizo.	Colores de interferencia: Hasta rosados y verdes de cuarto orden.
Pleocroísmo: Fuerte. Marrón- Amarillo.	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: No es apreciable.

**Moscovita:** Se asocia a la biotita y tiene hábito hojoso. Conforman el 8% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Hasta verdes claros de tercer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva.

**Calcita:** Este mineral es de bajo relieve y se presenta con cristales anhedrales a subhedrales de bajo relieve.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Blanco crema	Colores de interferencia: Blanco y manchas verdes y rosadas de cuarto orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Cero

Relieve: Bajo	Elongación: Dificil de apreciar.
---------------	----------------------------------

**Grafito:** Este mineral es de bajo relieve y se presenta con hábito hojoso y como pequeñas manchas en la lámina delgada. Forma el 2% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Negro	Colores de interferencia: Opaco
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Opaco
Relieve: Bajo	Elongación: Opaco

### C. Muestras de rocas ígneas.

#### Muestras I- 2 A e I- 2 B

Estas muestras fueron tomadas en el cerro Villonaco, aproximadamente a 300m de las antenas repetidoras de la policía. La roca aflora en un talud natural de roca ígnea que ha sido en su mayor parte meteorizada. Existía una estructura de unas esferas encerradas en medio de la matriz de la roca ígnea y se pensó primero que se trataba de xenolitos; pero como se demuestra con el análisis de las dos láminas delgadas, esta estructura más bien consiste en la meteorización esferoidal. Sin embargo se tomaron las muestras de las partes más sanas de la roca.

La roca al estar meteorizada muestra una coloración amarillo-verdosa; pero al estar sana es de color verde oscuro con cristales de minerales máficos de color negro y sulfuros de cobre solo en ciertas esferas sanas, que por el color violeta y dorado de estos era fácil darse cuenta que se trataba de bornita y calcopirita.

#### Muestra I- 2 A

##### Análisis de la lámina delgada

La roca aparece con textura fanerítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxeno. La roca se ve relativamente sana y con pocas alteraciones. Las plagioclasas se identificaron según su ángulo de extinción.

**Plagioclasas:** Aparecen como fenocristales con exfoliación perfecta en dos direcciones, macla de la periclina o albita y zonación en muchos cristales. Las plagioclasas conforman el 64% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: De gris y blanco crema de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Dependiendo de la variedad* Albita. E = (-11; -19). Conforman el 26% de las plagioclasas. Oligoclasa. E= (de +5 a +12) Conforman el 37% de las plagioclasas. Andesina. E= (+19, +23, +25) Conforman el 21% de las plagioclasas

	Labradorita. E= +28 Conformar el 11% de las plagioclasas. Bitownita. E= +41. Conformar el 5% de las plagioclasas
Relieve: Alto	Elongación: Positiva, excepción de ciertas albitas

**Ortopiroxeno:** Es el mineral máfico más extendido en la roca. Se presenta como fenocristales de subhedrales con exfoliación buena a muy buena. Posee macla simple. Conformar el 12% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Amarillo muy pálido	Colores de interferencia: Hasta naranja de primer orden
Pleocroísmo: Débil. Rosado-amarillo- celeste	Ángulo de extinción: 0 grados.
Relieve: Moderado	Elongación: Positiva

**Hornblenda:** Tiene hábito cristalino y exfoliación muy buena. Se presenta como cristales subhedrales vistos desde su sección basal, razón por la cual podrían confundirse con clinopiroxenos. La mayoría de cristales se encuentran alterados. Este mineral conformar el 5% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Verde pálido a incoloro	Colores de interferencia: Violeta, amarillo y verde de segundo orden
Pleocroísmo: Débil. De verde a incoloro.	Ángulo de extinción: 13 grados
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Feldespato de potasio:** Dentro de la matriz rocosa es escaso; pero en un sector de la lámina delgada, muy reducido, aparece relativamente abundante junto con el cuarzo. Algunos cristales mostraron macla en parrilla; razón por la cual se presumen que se trate de **microclina** en vez de ortosa. Conformar el 5% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Gris de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 18 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Cuarzo:** Es de grano muy fino y en un sector reducido de la lámina asociado al feldespato de potasio. Es de grano muy fino por lo cual es difícil distinguirlo. Forma el 2% del volumen de la roca

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA

Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blanco de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Imposible de medir
Relieve: Alto	Elongación: Imposible de medir

**Flogopita:** Tiene exfoliación basal perfecta y hábito micáceo tipo “borde de libro”. Se encuentra asociada a las plagioclasas. Conformar el 2% del volumen total de la roca aunque también podría ser una biotita magnésica.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón	Colores de interferencia: DE cuarto orden.
Pleocroísmo: Fuerte. De marrón a amarillo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: No es posible apreciar.

**Clorita:** Aparecen como mineral secundario de la roca. Se presenta con hábito hojoso y alterando a los anfíboles y ortopiroxenos.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Amarillo y verde pálido	Colores de interferencia: Colores anómalos de la clorita, entre ellos verde y lila.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 12 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Negativa

**Minerales opacos:** Conforman el 10% del volumen de la roca. Entre ellos se pueden ver magnetitas ya que tienen forma cúbica y muy bien formada. Como no se encontró rutilo y la roca es relativamente rica en titanio debe existir ilmenita. Además se identificó pirita y sulfuros de cobre en la muestra de mano.

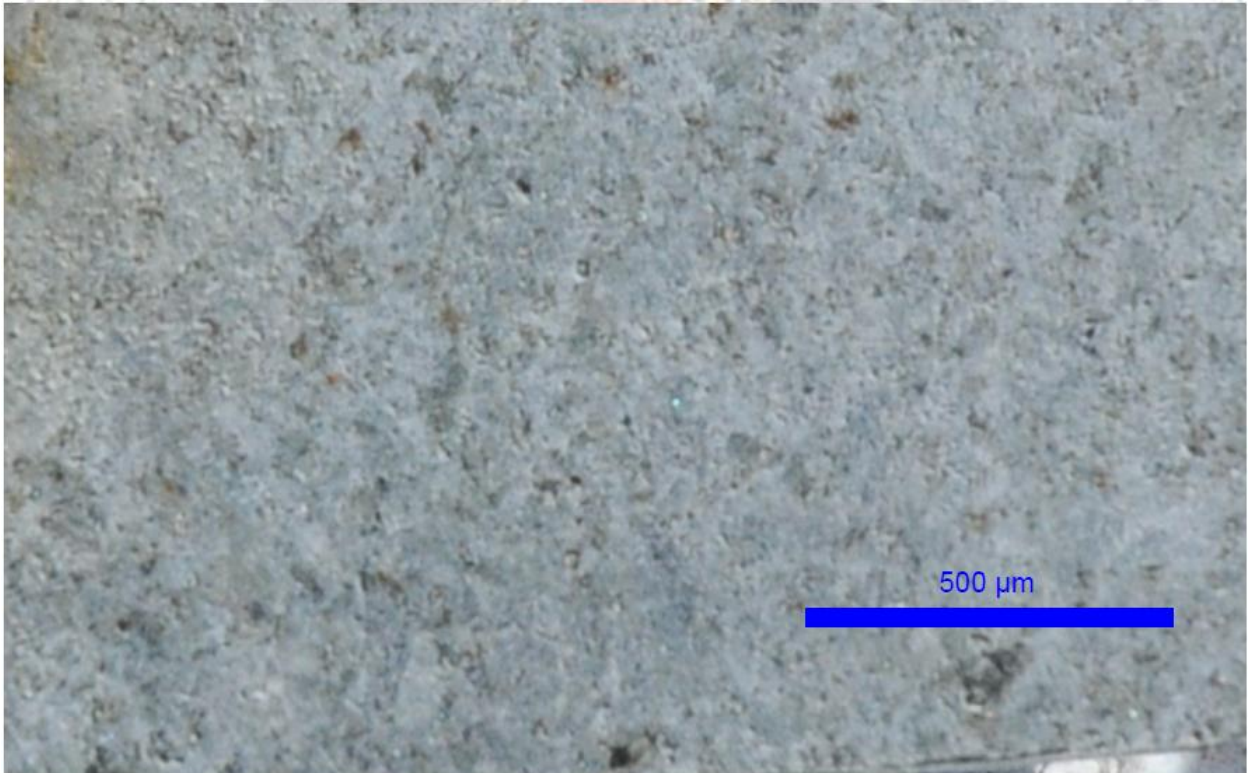
## Muestra I- 2 B

### Descripción del Dr. José Miguel Azañón Hernández de la Universidad de Granada

*“Reconocimiento de ‘visu’: Roca de color verde muy oscuro con un tamaño de grano homogéneo y grueso. No se aprecia deformación ni fábrica planar.*

*Textura: Granoblástica*

*Se trata de un gabro sin deformar constituido básicamente por plagioclasa y piroxeno. Gran parte de los piroxenos están alterados a anfíboles y a micas de carácter sericítico. El porcentaje de minerales opacos, probablemente óxidos y sulfuros, de la muestra es muy alto. Estos minerales también están alterados a hidróxidos.”*



Fotografía de la briqueta de la muestra de la muestra I- 2 B, tomada por el Dr. José M. Azañón.

### Análisis de la lámina delgada

Textura: Esta roca tiene textura fanerítica y se encuentra intensamente alterada.

Minerales de la Roca

**Plagioclasas:** Aparecen como fenocristales bien formados con la macla de la periclina y de Carlsbad. Existen zonaciones frecuentes de la plagioclasa en la muestra. La mayoría de las plagioclasas se encuentran alteradas a cloritas. Las plagioclasas en total conforman el 64% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: De gris y blanco crema de primer orden.
	<p>Ángulo de extinción: Dependiendo de la variedad*</p> <p>Albita. E = (-11; -14). Conformar el 12% de las plagioclasas.</p> <p>Oligoclasa. E = (-7, -6,+7,+10) Conformar el 35% de las plagioclasas.</p> <p>Andesina. E = (de +16 a +22) Conformar el 24% de las plagioclasas</p> <p>Labradorita. E = (+30, +31, +34) Conformar el 24% de las plagioclasas.</p> <p>Bitownita. E = +43. Conformar el 5% de las plagioclasas</p>
Pleocroísmo: Nulo	
Relieve: Alto	Elongación: Positiva, excepción de ciertas albitas

**Clorita:** Se presenta de con dos hábitos en la roca: con hábito micáceo tipo de “borde de libro”, agregados radiales y fibrosos. Se presenta como mineral de alteración de los piroxenos y anfíboles. A pesar de su abundancia relativamente alta en la roca, no se cuantifica su porcentaje de la roca porque es producto de alteración secundaria. Además de la clorita propiamente dicha existe otro mineral de alteración de color marrón en LPNA, con colores de interferencia del final de primer orden y de hábito similar al de la clorita (hojoso) es de grano muy fino y podría ser una variedad de clorita o una arcilla, es imposible identificarla por su grano extremadamente fino.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Verde pálido	Colores de interferencia: Grises de primer orden.
Pleocroísmo: Notable.	Ángulo de extinción: Cero grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Verde pálido	Colores de interferencia: Grises de primer orden.
Pleocroísmo: Notable.	Ángulo de extinción: Cero grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Ortopiroxeno:** Este mineral se presenta como cristales anhedrales con macla simple y exfoliación apreciable. Conformar el 3% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón verdoso pálido	Colores de interferencia: Hasta amarillo de primer orden
Pleocroísmo: Débil, amarillo-marrón verdoso	Ángulo de extinción: No fue posible calcular.
Relieve: Alto	Elongación: No fue posible calcular.

**Hornblenda:** Este mineral es común para toda la roca. Se pueden apreciar sus bordes anhedrales a subhedrales con una exfoliación perfecta paralela a un plano de macla similar a la de la periclina (cosa rara en el anfíbol pero podría ser también una zonación). En toda la roca aparece alterado a clorita y minerales del grupo de la clorita. Conformar el 18% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Verde claro	Colores de interferencia: Verdes, azules y violetas de segundo orden.
Pleocroísmo: Moderado, amarillo-verde claro	Ángulo de extinción: 18- 23 grados, varía igual que el color de interferencia
Relieve: Moderado	Elongación: Positiva

**Biotita:** Este mineral tiene hábito hojoso y conforma tan solo el 1% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón	Colores de interferencia: De cuarto orden.
Pleocroísmo: Fuerte. Marrón-amarillo claro	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Moderado	Elongación: Difícil de apreciar.

**Minerales opacos y accesorios:** En muestra de mano se vieron sulfuros de cobre, del tipo bornita y calcopirita. Además existen magnetitas e ilmenitas puesto que no se encontró rutilo en la roca. Estos minerales conforman el 14% del volumen total de la roca. Los minerales accesorios deben ser principalmente fosfatos ya que si existe  $P_2O_5$  en la roca y zircón ya que existe  $Zr_2O$ .

### Muestra I-6

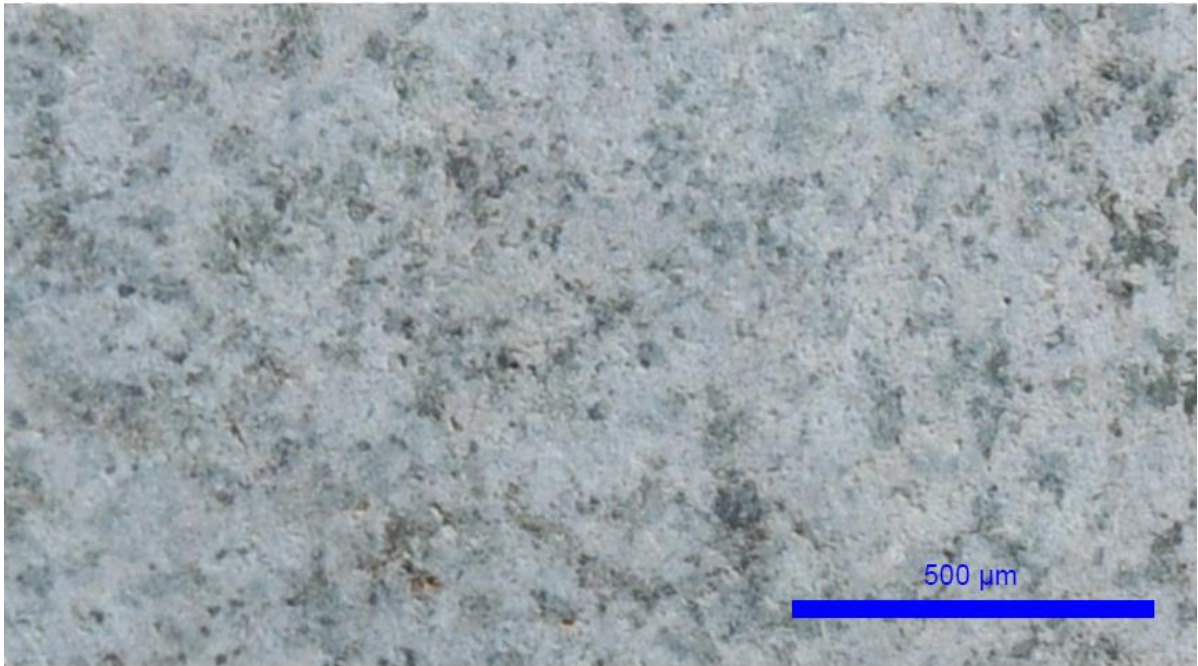
En capo esta muestra aflora en un extenso afloramiento de roca ígnea ubicado en el flanco sureste del cerro Villonaco; que en su mayor parte se encuentra meteorizada. Sin embargo; se encontró un sitio en donde la meteorización de la roca no era muy intensa. El sitio se encuentra a pocos metros del contacto con una corneana.

### Descripción por el Dr. José Miguel Azañón Hernández

*“Reconocimiento ‘in visu’: Roca de color gris verdoso con un tamaño de grano homogéneo grueso. No se aprecia fábrica planar ni deformación.*

*Textura: Granoblástica*

*Se trata de una roca ígnea de carácter intermedio (diorita o cuarzdiorita). El porcentaje de cuarzo permitiría clasificarla por cualquiera de estos dos tipos de rocas ígneas. Presenta anfíboles idiomórficos que tienen un crecimiento totalmente desorientado en la muestra. La mayor parte de la muestra está constituida por plagioclasas y feldespatos.”*



Fotografía de la Briqueta de la muestra I- 6. Tomada por el Dr. José Azañón.

### Análisis de la lámina delgada

Textura: Esta muestra tiene textura fanerítica y se encuentra levemente afectada por alteración secundaria.

**Plagioclasas:** Se distinguen fácilmente por sus cristales euhedrales tabulares y maclados. Se encuentra formando cristales tabulares y maclados según la ley de la periclina, de Carlsbad y polisintéticas combinando estas dos maclas mencionadas. Conforman el 57% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: De gris y blanco crema de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	<p>Ángulo de extinción: Dependiendo de la variedad*</p> <p>Albita. E = -18. Conforman el 15% de las plagioclasas.</p> <p>Oligoclasa. E= (-10; -8;+8;+10) Conforman el 31% de las plagioclasas.</p> <p>Andesina. E= (+14;+17;+20) Conforman el 23% de las plagioclasas</p> <p>Labradorita. E= (+30; +32) Conforman el 23% de las plagioclasas.</p> <p>Bitownita. E= +38. Conforman el 8% de las plagioclasas</p>
Relieve: Alto	Elongación: Positiva, excepción de ciertas albitas

**Feldespatos de potasio:** Este mineral es poco abundante en la roca, se encuentran muy pocos cristales que tienen macla sencilla, posiblemente de Manebach. Hay varios cristales tabulares mostrando exfoliación de muy buena a excelente. Se distinguen levemente de las plagioclasas por su apariencia manchada o sucia en LPNA. Se encuentran asociados a las plagioclasas y a los minerales opacos. Por sus elevados ángulos de extinción podríamos decir que en su

mayoría o totalidad se trata de **Microclina**. En total el feldespato de potasio conforma el 7% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Gris de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 12- 17 grados
Relieve: Moderado	Elongación: Positiva

**Cuarzo:** Este mineral se encuentra formando cristales subhedrales, con superficies limpias. Se encuentra asociado a la plagioclasa, feldespato de potasio y al ortopiroxeno. Conformar el 8% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blanco de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Hornblenda:** Este mineral se encuentra muy alterado. Se presenta con hábito cristalino, con cristales cortos en vez de prismáticos. Tiene dos exfoliaciones una muy buena y la otra buena que forman ángulos de 55°. Los bordes de este mineral se encuentran alterados por un mineral secundario de color de interferencia amarillo (LPA), posiblemente de primer orden. Existe también una variedad de anfíbol muy similar a la hornblenda; pero de elongación negativa y con color de interferencia de verde de segundo orden. El anfíbol se considera entre el 8% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón pálido	Colores de interferencia: Azules y lilas de segundo orden.
Pleocroísmo: Notable. Verde- marrón pálido	Ángulo de extinción: 20-32 grados
Relieve: Moderado	Elongación: Positiva

**Ferrosilita (ortopiroxeno):** Este mineral tiene hábito cristalino y la apariencia “agrietada” típica del ortopiroxeno, con su exfoliación muy buena y cristales subhedrales, algunos de ellos con macla sencilla. Está asociado a las plagioclasas. Conformar el 12% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Gris pálido	Colores de interferencia: Blanco de primer orden
Pleocroísmo: Débil. En tonos pálidos de gris-verde	Ángulo de extinción: Cero grados
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Serpentina:** El mineral de alteración tiene hábito fibroso y hojoso, de grano muy fino y se encuentra alterando a los minerales máficos. Más bien son **serpentin**as junto a **limonitas** dichos minerales de alteración.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Amarillo Verdoso	Colores de interferencia: Amarillo de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Aproximadamente 20 grados, este dato es ambiguo
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Clorita:** Se encuentra en masas hojosas reemplazando especialmente a las hornblendas.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Amarillo Verdoso	Colores de interferencia: Gris y amarillo de primer orden y colores anómalos verdes y violetas
Pleocroísmo: Débil	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Minerales opacos:** Conforman el 7% del volumen total de la roca.

**Minerales accesorios:** Se estiman que forman el 1% por ciento de la roca; existe un mineral marrón con colores de interferencia grises de primer orden; no pudo ser identificado por no presentar buenos cristales. Entre estos minerales; debido al análisis químico debe haber zircón y fosfatos.

### Muestra I- 8

En el campo esta muestra aflora de forma continua en la carretera nueva de Loja- La Toma desde la concesión minera El Durazno hasta la Urna de la Virgen del Cisne. La intrusión se encuentra alterada; especialmente por meteorización mecánica. La roca en el campo tiene una coloración blanca; son raros los feldespatos rosados en la roca. La biotita se encuentra en ciertos lugares cercanos al contacto muy acumulada y con cierta orientación; pero mientras se acerca al centro de la intrusión su abundancia disminuye y se ve más bien orientada al azar. La muestra I- 8 se la tomó a cerca de 100m del contacto con las rocas metamórficas.

### Descripción por el Dr. José Miguel Azañón Hernández de la Universidad de Granada

*“Reconocimiento ‘in visu’: Roca de color blanco con un tamaño de grano grueso relativamente homogéneo. Se aprecia una fábrica planar marcada por un bandeado diferencial entre zonas pelíticas (biotita) y zonas cuarzo-feldespáticas.*

*Textura: Granoblástica*

*Se trata de un granito metamórfico procedente de la transformación de un gneis. Es una roca cuarzofeldespática de alto grado con una abundancia de feldespatos frente al cuarzo. Todos*

los minerales presentan importantes signos de recristalización. Los principales minerales son: cuarzo, feldespatos (plagioclasas y ortosa) y mica de carácter biotítico.”



Fotografía de la Briqueta de la muestra I- 8. Tomada por el Dr. José Azañón.

Esta muestra tiene textura fanerítica.

Minerales de la roca

**Cuarzo:** Este mineral se encuentra como cristales anhedrales y subhedrales asociado al feldespato de potasio y a las micas. Se distingue del feldespato de potasio por ser totalmente incoloro en LPNA y por sus superficies muy bien pulidas. Debido a que la mayoría de cristales se veían en su sección basal no fue posible calcular ángulo de extinción ni elongación. Conforman el 26% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blanco crema de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: No fue posible calcular
Relieve: Alto	Elongación: No fue posible apreciar.

**Feldespato de potasio:** En su mayoría los cristales son subhedrales y se pueden apreciar los planos de exfoliación buena a muy buena del mineral. Se diferencia del cuarzo porque en LPNA muestra superficies más sucias que este último. Conforman el 47% del volumen total de la roca

Algunos cristales se encuentran alterados a arcillas que se ven como chispitas grises cuando el mineral se encuentra en extinción, estos tienen elongación positiva. Mientras que otros cristales se encuentran alterados a sericita (colores de interferencia de tercer orden y hábito micáceo). Existe también microclina ya que se encontró un feldespato con macla en parrilla.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA

Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Dos variedades de feldespatos Ortosa: 7 a 11 grados Microclina: 7-17 grados (menos frecuente).
Relieve: Moderado	Elongación:

**Plagioclasa:** Se encuentra como cristales euhedrales y subhedrales asociados al cuarzo y a los feldespatos de potasio. Se encuentran con zonación y maclas de la periclina, maclas simples y polisintéticas. Las plagioclasas son del tipo Albita y Oligoclasa. Conforman el 15% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blanco de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Varía mucho en dos variedades 7- 16 grados. Corresponden a Albitas y Oligoclasas.
Relieve: Moderado	Elongación: Positiva

**Biotita:** Aparece con el hábito micáceo tipo borde de libro y con exfoliación basal perfecta. Conforman el 8% del volumen total de la roca

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón Rojizo	Colores de interferencia: Verdes y violetas de tercer orden
Pleocroísmo: Fuerte. Marrón rojizo- gris- amarillo	Ángulo de extinción: 6 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Moscovita:** Es menos abundante que la biotita y no es frecuente en la roca. Se asocia a la lepidolita. Entre las dos micas blancas (moscovita y lepidolita) suman el 4% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Verdes y celestes de tercer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados. Extinción en ojo de pájaro.
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Lepidolita:** Está asociada a la moscovita y es más abundante que la misma, es idéntica en todos los aspectos excepto en el pleocroísmo y en ciertos colores de interferencia.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Rosado pálido	Colores de interferencia: Blancos de primer orden y verdes y celestes de tercer orden

## Muestra I- 11

Esta muestra fue tomada en un dique que aflora en el flanco oeste del cerro Ventanas con una dirección preferencial N-S. El dique se encuentra muy meteorizado en el campo y es continuo hacia el sur y el norte en este punto.

### Descripción por el Dr. José Miguel Azañón Hernández de la Universidad de Granada

*Reconocimiento de 'visu' Roca de color gris claro con un tamaño de grano grueso. Se aprecian pórfiroblastos que pueden llegar a 500 micras de diámetro. No se aprecia ninguna fábrica planar.*

*Textura: Granoblástica*

*Se trata de un granito-granodiorita metamórfico procedente de la transformación de un gneis. Es una roca cuarzofeldespática de alto grado. Todos los minerales presentan importantes signos de recristalización. Los principales minerales son: cuarzo, feldespatos (plagioclasas y ortosa) y mica de carácter biotítico.*



*Fotografía de la briqueta de la muestra I- 11 tomada por el Dr. José Azañón.*

### Análisis de la lámina delgada

La muestra tiene textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa en una matriz aplítica de cuarzo y feldespato de potasio. Los fenocristales de plagioclasa conforman el 17% de la roca y la matriz rocosa un 68% de la misma.

#### Minerales de Roca

**Plagioclasa:** Conforman los fenocristales de la roca y se halla también como cristales euhedrales en la matriz rocosa. En general los fenocristales pertenecen a la plagioclasa tipo Oligoclasa y Albita. Mientras que en la matriz podemos encontrar andesinas y oligoclasas. Conforman el 12% de la matriz rocosa y el 25% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blancos y grises pálidos de primer orden
Pleocroísmo: Muy débil	Ángulo de extinción: Según la variedad Oligoclasa- de 3 a 8 grados Andesina – de 25 y 27 grados
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Biotita:** Se presenta como cristales aislados o como masas hojosas de varios cristales. Conformar el 8% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón	Colores de interferencia: Rosados y verdes de cuarto orden.
Pleocroísmo: Fuerte. Marrón- amarillo pálido	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Moscovita:** Se encuentra asociada a la biotita y tiene hábito hojoso pero con exfoliación basal mucho más perfecta. Conformar tan solo el 2% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Verdes y rosados de tercer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados. Extinción en ojo de pájaro.
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Cuarzo:** Forma cristales de bordes euhedrales y a pesar de estar en la matriz rocosa se le puede distinguir del feldespato de potasio. Conformar el 46% de la matriz rocosa y el 32% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises y blancos de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Imposible de medir
Relieve: Alto	Elongación: Imposible de medir

**Feldespato de potasio:** Está asociado al cuarzo y a la biotita en la matriz rocosa fina. Para diferenciarlo de las plagioclasas se utilizó la técnica de la línea de Becke. Conformar el 42% de la matriz rocosa y el 29% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
---	--

LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Gris de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Imposible de medir
Relieve: Moderado	Elongación: No fue posible apreciar

**Titanita:** Se presenta como cristales de buena, cristales totalmente euhedrales. Conforman el 2% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Amarillo o marrón	Colores de interferencia: De cuarto orden
Pleocroísmo: No pleocroico	Ángulo de extinción: Cero
Relieve: Alto	Elongación: Negativa

**Minerales opacos:** Conforman el 2% del volumen de la roca. Consisten en pirita, ilmenita y es muy escasa al magnetita (muestra triturada).

### Muestra I- 17

En el campo esta muestra aflora en el flanco este del cerro Villonaco en la vía de hormigón armado que conecta la Subestación Villonaco con el Parque Eólico Villonaco. La intrusión en la que se tomó la muestra es un dique que tiene continuidad hacia el sur y en este caso está atravesando a los esquistos grafitosos. La roca se encuentra levemente meteorizada.

### Descripción del Dr. José Migue Azañón Hernández de la Universidad de Granada

*“Reconocimiento de ‘visu’: Roca de color gris con un tamaño de grano medio muy homogéneo. No se observan foliaciones ni estructuras planares o lineares que pongan de manifiesto una deformación.*

*Textura: Granoblástica*

*Se trata de un granito metamórfico procedente de la transformación de un gneis. Es una roca cuarzofeldespática de alto grado. Todos los minerales presentan importantes signos de recristalización. Los principales minerales son: cuarzo, feldespatos (plagioclasas y ortosa) y mica de carácter biotítico.”*



Fotografía de la briqueta de la muestra I-17, tomada por el Dr. César Azañón.

### Análisis de la Lámina Delgada

La roca tiene textura porfírica fanerítica con fenocristales de plagioclasa. La matriz de granos finos conforma el 57% del volumen de la roca, no es criptocristalina. Las micas están alineadas en una dirección preferencial. Lo cual indica que hubo una presión mientras ocurría el emplazamiento de la roca.

Minerales de la roca

**Plagioclasa:** Se encuentran como fenocristales maclados con la ley de la periclina y dentro de la matriz de la roca. Conforman el 100% de los fenocristales de la roca y el 7% de los minerales de la matriz. En total conforman el 21% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blanco de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Según la variedad Oligoclasa- de 10 a 13 grados Andesina- de 21 a 20 grados Labradorita- de 30 a 32 grados
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Cuarzo:** Aparece en la matriz rocosa de grano fino como cristales anhedrales, es difícil de distinguirlo de otros minerales de la matriz. Conforman el 75% de la matriz rocosa y el 43% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Gris a blanco de primer
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Feldespatos de potasio:** Conforman el 18% de los minerales de la matriz rocosa. En total, conforman el 10% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blancos y grises de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 3- 6 grados
Relieve: Moderado	Elongación: Positiva

**Biotita:** Se presenta con hábito micáceo y una orientación preferencial en la lámina delgada. Su distribución es uniforme en toda la muestra. Conformar el 12% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón oscuro	Colores de interferencia: De cuarto orden
Pleocroísmo: Fuerte. Marrón oscuro- amarillo pálido	Ángulo de extinción: Cero
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Moscovita:** Se presenta con hábito hojoso del tipo borde de libro y se encuentra asociada a la biotita. Conformar el 2% del volumen total de la roca

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Hasta verde de tercer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: No fue posible medir
Relieve: Bajo	Elongación: No fue posible medir.

**Minerales opacos y accesorios:** Estos minerales conforman el 2% del volumen total de la roca. Entre los opacos se destaca la magnetita y la ilmenita es muy escasa. Además por el contenido de  $P_2O_5$  del 0.11% se infiere que los fosfatos no poco abundantes.

#### Muestra I- 19

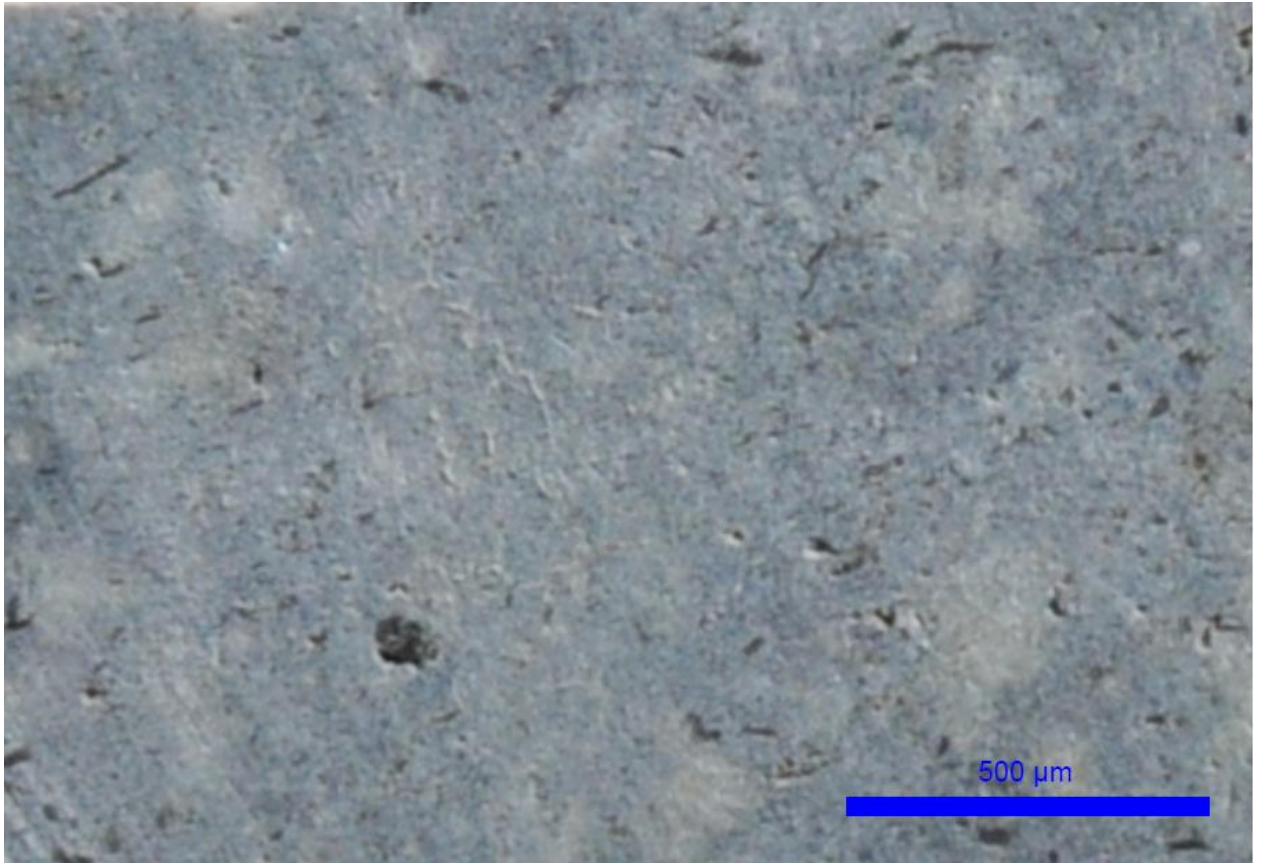
La muestra fue tomada de un bloque anguloso de roca sana que fue caído de un de roca ígnea. La intrusión de donde proviene esta muestra es la continuación del dique de donde se tomó la muestra M-17. Tiene varias decenas de metros de potencia presenta la meteorización esferoidal. No se tomó la muestra del afloramiento de la quebrada porque en su mayoría esta roca se encuentra totalmente meteorizada.

#### Descripción del Dr. José Miguel Azañón Hernández de la Universidad de Granada

*“Reconocimiento de "visu": Roca de color gris oscuro con un tamaño de grano medio-grueso y con una deformación importante que genera una foliación como principal fábrica.*

*Textura: Granoblástica*

*Se trata de una roca ígnea con bajos contenidos de cuarzo y con importantes cantidades de minerales melanocráticos (biotita, anfíboles, opacos, etc). Se debería clasificar como una diorita. Se aprecia importante recristalización de carácter secundaria que da lugar a cordierita. Esta roca deriva del metamorfismo de alto grado de una roca ígnea intermedia.”*



Fotografía de la briqueta de la muestra I- 19, tomada por el Dr. José Azañón.

### Análisis de la lámina delgada

Esta roca tiene textura porfirítica con fenocristales euhedrales de plagioclasa. La matriz es idiomórfica y constituye el 42% del volumen total de la roca.

Minerales de la roca

**Plagioclasa:** Se presenta como fenocristales euhedrales de forma tabular maclados con la ley de la periclina. Conforman el 38% del volumen total de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Blanco y crema de primer orden.
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Según la variedad Oligoclasa- de 3 a 12 grados Andesina- 14 y 27 grados Labradorita- 34 grados
Relieve: Alto	Elongación: Positiva

**Feldespatos de K:** Conforman el 10% de la roca y se confina a la matriz y a unos fenocristales subhedrales muy pequeños (en comparación con los de plagioclasa). Es difícil distinguir del cuarzo; por lo cual puede que su volumen sea ligeramente mayor al ya mencionado. Entre la matriz rocosa existen cristales agrandados de feldespato de potasio que se pueden confundir con la plagioclasa; pero no son lo suficientemente grandes como para ser llamados fenocristales.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: De 5 a 11 grados
Relieve: Moderado	Elongación: Positiva

**Cuarzo:** Su tamaño de grano es sumamente fino, y se forma en cristales anhedrales en la matriz rocosa. Las superficies no aparecen bien pulidas por lo cual es difícil distinguirlo del feldespatos de potasio. Constituye el 29% del volumen total de la roca

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Grises de primer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: Imposible de medir
Relieve: Alto	Elongación: Imposible de medir

**Biotita:** Conformar el único silicato máfico de la roca. Está alineado en una dirección preferencial casi paralela a la lámina delgada. Forma agregados de cristales con la exfoliación del tipo borde de libro. Conformar el 16% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Marrón Rojizo	Colores de interferencia: De cuarto orden
Pleocroísmo: Amarillo Pálido- marrón rojizo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Moscovita:** Se presenta como agregados hojosos del tipo "borde de libro". Se asocia a la biotita y de forma anómala aparece remplazando ciertos cristales de plagioclasa con ángulos de extinción de 10 y 16 grados en ciertos cristales subhedrales. Conformar el 5% del volumen de la roca.

Propiedades del Mineral en lámina delgada	
LPNA	LPA
Color: Incoloro	Colores de interferencia: Hasta verdes de tercer orden
Pleocroísmo: Nulo	Ángulo de extinción: 0 grados
Relieve: Bajo	Elongación: Positiva

**Minerales opacos y accesorios:** Conforman el 2% del volumen total de la roca. En su mayoría son magnetitas e ilmenitas en menores cantidades. La cantidad de fosfatos no es muy importante ya que el  $P_2O_5$  es del 0,11%.

#### D. Abreviaturas de los minerales recomendadas por la IUGS

Este cuadro fue consultado de:

Siivola J. & Schmid R. (2007). Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. 12. *List of Mineral Abbreviations*. Recuperado el 2015/03/24 de [www.bgs.ac.uk/scmr/home.html](http://www.bgs.ac.uk/scmr/home.html)

<b>Ab</b>	Albita	<b>Di</b>	Diópsido	<b>Mrg</b>	Margarita
<b>Act</b>	Actinolita	<b>Dol</b>	Dolomita	<b>Ms</b>	Moscovita
<b>Adr</b>	Andradita	<b>En</b>	Enstatita	<b>Oam</b>	Orto-anfíbol
<b>An</b>	Anortita	<b>Ep</b>	Epidota	<b>OI</b>	Olivino
<b>And</b>	Andalucita	<b>Fs</b>	Ferrosilita	<b>Op</b>	Mineral Opaco
<b>Afs</b>	Feldespató alcalino	<b>Gr</b>	Grafito	<b>Opx</b>	Ortopiroxeno
<b>Alm</b>	Almandino	<b>Grt</b>	Granate	<b>Or</b>	Ortoclasa
<b>Ap</b>	Apatito	<b>Hbl</b>	Hornblenda	<b>Pg</b>	Paragonita
<b>Aug</b>	Augita	<b>Hem</b>	Hematita	<b>Phl</b>	Flogopita
<b>Bt</b>	Biotita	<b>Ill (ill)</b>	Illita	<b>Pl</b>	Plagioclasa
<b>Cal</b>	Calcita	<b>Ilm (ilm)</b>	Ilmenita	<b>Tlc</b>	Talco
<b>Cam</b>	Clino-anfíbol	<b>Kfs</b>	Feldespató de potasio	<b>Ser</b>	Sericita
<b>Chl</b>	Clorita	<b>Kln</b>	Caolinita	<b>Sil</b>	Silimanita
<b>Cld</b>	Cloritoide	<b>Ky</b>	Cianita	<b>Srp</b>	Serpentina
<b>Cpx</b>	Clinopiroxeno	<b>Lm</b>	Limonita	<b>St</b>	Estaurolita
<b>Crd</b>	Cordierita	<b>Lpd</b>	Lepidolita	<b>Tr</b>	Tremolita
<b>Cst</b>	Casiterita	<b>Mag</b>	Magnetita	<b>Zrn</b>	Zircón
<b>Cum</b>	Cumingtonita	<b>Mc</b>	Microclina		
<b>Czo</b>	Clinozoisita	<b>Mca</b>	Mica		

## ANEXO IV. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS.

### A. Muestras Ígneas de las principales intrusiones.

Estas muestras fueron analizadas por dos análisis: uno de fluorescencia de rayos X, en donde los resultados se presentan como óxidos y es aplicable para los componentes mayoritarios de las rocas. El otro es un análisis de ICP-MS que emite como resultados la concentración en ppm de un elemento específico en la roca. Los análisis fueron realizados en los laboratorios ACME - Vancouver- Canadá en abril del 2015.

### CERTIFICATE OF ANALYSIS

	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	Ga
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	0.1	0.5
I2	55.64	17.26	8.24	4.00	7.15	3.44	1.49	1.01	0.19	0.16	0.005	<20	25	1.1	99.72	427	3	49.3	3.4	18.4
I6	53.69	18.41	8.25	3.49	7.58	3.29	1.45	1.04	0.17	0.12	0.003	<20	25	2.2	99.73	436	4	35.7	11.7	19.1
I8	73.29	14.47	1.66	0.68	2.05	3.75	2.07	0.24	0.02	0.02	0.003	<20	4	1.4	99.69	903	3	111.4	3.1	15.9
I11	69.18	15.73	2.53	1.40	2.07	3.49	2.34	0.38	0.09	0.04	0.006	<20	7	2.5	99.79	917	<1	17.3	5.0	19.7
I17	69.53	15.81	2.24	1.16	2.66	4.29	2.47	0.39	0.11	0.03	0.004	<20	5	1.1	99.76	899	8	16.3	2.8	19.9
I19	68.85	16.20	2.39	1.20	2.79	4.40	2.20	0.39	0.11	0.04	0.005	<20	5	1.2	99.74	828	1	38.2	3.1	18.5

### CERTIFICATE OF ANALYSIS

	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200
	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL	0.1	0.1	0.1	1	0.5	0.1	0.2	0.1	8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.3	0.05	0.02	0.05	0.01
I2	3.8	6.4	51.2	2	420.5	0.5	3.8	1.5	220	290.0	134.0	26.1	16.8	34.7	4.32	20.2	4.51	1.31	4.75	0.79
I6	3.2	6.0	48.2	1	487.3	0.4	4.7	1.1	255	213.1	115.0	24.5	16.4	31.7	3.86	16.9	3.89	1.16	4.20	0.68
I8	2.9	3.7	57.9	1	323.0	0.3	4.9	1.6	22	1054.3	101.6	6.5	11.9	18.6	2.19	8.5	1.56	0.55	1.33	0.20
I11	4.0	4.9	86.4	2	287.6	0.5	8.4	2.9	49	139.8	144.8	9.4	22.7	42.7	4.44	17.0	3.01	0.78	2.37	0.36
I17	4.4	4.8	71.2	5	544.1	0.5	9.1	2.8	41	139.7	154.2	7.4	23.0	43.2	4.71	17.7	2.56	0.75	2.16	0.29
I19	4.0	4.2	64.7	3	476.9	0.4	7.4	2.4	44	361.4	136.8	9.0	19.3	36.1	4.12	16.0	3.08	0.80	2.59	0.34

## QUALITY CONTROL REPORT

LAA15000010.1

Method		LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200
Analyte		SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	Ga
Unit		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL		0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	0.1	0.5
Pulp Duplicates																					
I19	Pulp	68.85	16.20	2.39	1.20	2.79	4.40	2.20	0.39	0.11	0.04	0.005	<20	5	1.2	99.74	828	1	38.2	3.1	18.5
REP I19	QC	68.78	16.21	2.39	1.18	2.80	4.46	2.21	0.38	0.10	0.04	0.005	<20	5	1.2	99.74	849	3	35.7	2.8	18.2
Reference Materials																					
STD GS311-1	Standard																				
STD GS910-4	Standard																				
STD SO-18	Standard	58.26	14.08	7.52	3.40	6.34	3.66	2.15	0.69	0.78	0.39	0.548	42	24	1.9	99.73	467	4	24.7	6.4	16.8
STD SO-18	Standard	57.97	14.17	7.68	3.42	6.35	3.64	2.16	0.69	0.80	0.40	0.554	42	24	1.9	99.74	481	2	25.3	6.6	17.4
STD GS311-1 Expected																					
STD GS910-4 Expected																					
STD SO-18 Expected		58.47	14.23	7.67	3.35	6.42	3.71	2.17	0.69	0.83	0.39	0.55	44	25			514		26.2	7.1	17.6
BLK	Blank																				
BLK	Blank	0.02	<0.01	<0.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.002	<20	<1	0.0	0.02	<1	<1	<0.2	<0.1	<0.5

### B. Muestras de diques y otras rocas ígneas.

Estos análisis fueron hechos con el equipo BBRUCKER 1-S TURBO que posee la titulación de Geología y Minas.

El porcentaje de óxidos se expresa en porcentaje (%) y el error también. Para el caso del azufre que no se encuentra como óxido se expresa también la abundancia de este elemento como %. Se realizaron duplicados de las muestras para poder posteriormente extraer un promedio de las mismas. El punto es el separador de decimales.



Muestra	MgO	MgO Err	Al2O3	Err	SiO2	Err	P2O5	Err	S	Err	K2O	Err
M- 10	0	4.7156	19	0.9093	65.2	0.9	0.415	0.1167	1.1	0.04	2.93	0.0422
	2.36	4.6553	19.2	0.9589	62.3	0.935	0.569	0.1268	1.2	0.04	3.01	0.0463
V- 2	0.693	3.7988	25.5	0.9436	66.5	0.95	0.145	0.1004	0	0.02	5.35	0.0573
	1.44	3.7402	25.5	0.9396	66	0.936	0	0.0423	0.1	0.02	5.31	0.0565
I- 1	1.21	4.0875	24.3	0.9646	64.7	0.955	0	0.0463	1.5	0.05	4.9	0.0568
	3.03	4.0823	24.1	0.9782	62.7	0.94	0.256	0.1094	1.6	0.05	4.82	0.057
I- 3 A	0.637	4.0908	21	0.8592	69.4	0.896	0	0.0422	0	0.02	2.79	0.0392
	1.75	4.1239	20.7	0.8742	68.5	0.908	0.268	0.0996	0	0.02	2.75	0.04
I- 3 B	0	3.7084	25.8	0.8938	67.7	0.884	0.123	0.0922	0	0.02	4.44	0.0482
	0	2.2494	25.9	0.905	67.7	0.905	0	0.0405	0	0.02	4.55	0.0501
I- 5	0.711	4.6266	17.8	0.8856	66.6	0.89	0	0.0483	0	0.02	4.83	0.0505
	0	2.8211	17.9	0.8936	67.3	0.904	0	0.0481	0	0.03	4.81	0.0509
I- 7	0	4.225	19.8	0.8631	69.9	0.922	0	0.0467	0	0.02	2.09	0.0359
	0	4.2015	19.8	0.8628	69.4	0.915	0.404	0.1072	0	0.02	2.13	0.0359
I- 8 B	2.55	4.5997	18.2	0.9214	66.2	0.932	0	0.0469	0	0.03	4.62	0.0526
	4.83	4.6919	17.7	0.9448	64.1	0.928	0.199	0.1117	0	0.02	4.63	0.0536
I- 9 A	1.91	3.6613	22.7	0.8919	71.5	0.996	0	0.0407	0	0.02	2.54	0.0411
	0	2.1948	22.5	0.8681	73.5	0.994	0.168	0.0941	0	0.02	2.5	0.0398
I- 9 B	0	3.7607	18.8	0.8315	74.3	1	0	0.042	0	0.02	4.83	0.0528
	0	2.2408	18.9	0.8356	74.3	1.004	0	0.0422	0	0.02	4.68	0.0522
I- 10	1.14	4.1038	18.1	0.8414	71.3	0.946	0.383	0.1055	0	0.02	2.41	0.0383
	1.01	4.1228	18.1	0.8372	71.8	0.942	0	0.0454	0	0.02	2.44	0.0381
I- 12	2.48	4.0994	19.3	0.8757	69.8	0.951	0.286	0.1035	0	0.02	2.67	0.0408
	0.812	4.0572	19.6	0.8509	71.5	0.939	0	0.0428	0	0.02	2.74	0.04
I- 13 A	0	3.8809	19.5	0.8247	73.5	0.947	0.316	0.0978	0	0.02	1.44	0.0308
	0	3.8703	20.3	0.841	73	0.958	0	0.0426	0	0.02	1.42	0.0311
I- 13 B	0	3.7993	20.7	0.8375	72.6	0.943	0	0.0422	0	0.02	1.9	0.0342

	0	3.8264	21.4	0.8525	71.8	0.945	0	0.0422	0	0.02	1.94	0.0349
I- 14	6.57	4.4574	18.2	0.8753	60	0.802	0.375	0.0995	0	0.02	2.24	0.0347
	7.88	4.4572	18.4	0.8851	60.6	0.807	0.511	0.1027	0	0.02	2.26	0.035

Muestra	MgO	MgO Err	Al2O3	Err	SiO2	Err	P2O5	Err	S	Err	K2O	Err
I- 15	4.28	4.8765	15.7	0.9113	60.7	0.874	0.989	0.1281	0	0.02	4.81	0.0528
	4.23	4.8377	16.3	0.9214	60.2	0.874	1.01	0.1302	0	0.02	4.85	0.0533
I- 16	3.38	4.3231	19.7	0.8874	65.8	0.882	0	0.0468	0	0.02	1.79	0.0336
	2.24	4.3098	19.5	0.8675	67.2	0.88	0	0.0453	0	0.02	1.77	0.0328
I- 18 A	0.702	4.1902	18.6	0.8711	68.6	0.928	0	0.0442	0	0.02	7.25	0.0627
	0	4.2197	18.4	0.8674	69.4	0.94	0	0.0437	0	0.02	7.39	0.0636
I- 18 B	0.991	3.9887	20.8	0.8805	69.5	0.94	0.167	0.0992	0	0.02	4.89	0.0526
	0	2.366	21.2	0.877	70.1	0.939	0	0.0434	0	0.02	4.94	0.0524
I- 18 C	1.39	4.2765	21.2	0.9268	66.1	0.925	0	0.045	0	0.02	5.35	0.056
	0.781	4.2788	21	0.909	67	0.915	0	0.0452	0	0.02	5.4	0.0549
I- 20	1.08	4.1267	18.4	0.8345	71.3	0.922	0	0.0442	0	0.02	2.9	0.0401
	0	4.0509	18.4	0.8262	72	0.926	0.294	0.1002	0	0.02	2.94	0.0404
I- 21	0	2.1773	18	0.7904	77	0.99	0.133	0.0892	0	0.02	3.34	0.0432
	0	2.2148	18.3	0.8046	76.7	0.998	0	0.0401	0	0.02	3.41	0.044
I- 22	0	4.1432	21.1	0.8764	66.4	0.886	0.375	0.1025	0	0.02	4.24	0.0479
	2.26	4.2094	21.6	0.9272	63.6	0.901	0.332	0.109	0	0.02	4.31	0.0508
I- 23	0	4.1549	17.7	0.8221	71.5	0.914	0	0.0446	0	0.02	3.17	0.0412
	0	4.1905	18.5	0.8433	70.2	0.922	0.347	0.1036	0	0.02	3.14	0.0421
I- 24	1.65	4.3279	18.8	0.8819	69.5	0.946	0	0.0483	0	0.02	2.19	0.0378
	0.916	4.2158	18.6	0.8571	70.3	0.932	0	0.046	0	0.02	2.25	0.0372

Continúa en la siguiente página por cuestiones de espacio.

Muestra	CaO	Err	TiO2	Err	MnO	Err	Fe2O3	Err	ZrO2	Err
M- 10	3.62	0.0349	0.887	0.0143	0.155	0.004	5.97	0.0209	0	0.01
	3.68	0.0384	0.9	0.0157	0.145	0.005	5.97	0.0229	0	0.01
V- 2	0.109	0.016	0.455	0.0112	0.041	0.003	0.553	0.0068	0	0
	0.114	0.0157	0.447	0.011	0.039	0.003	0.562	0.0068	0	0
I- 1	0.0624	0.0152	0.667	0.0133	0.041	0.003	2.16	0.0133	0	0.01
	0.0733	0.0157	0.643	0.0132	0.048	0.003	2.2	0.0135	0	0.01
I- 3 A	1.95	0.0254	0.537	0.0109	0.075	0.003	3.17	0.014	0	0
	1.95	0.026	0.516	0.011	0.073	0.003	3.11	0.0142	0	0.01
I- 3 B	0.0248	0.0129	0.375	0.0095	0.042	0.003	0.959	0.0079	0.1	0
	0.0243	0.0134	0.385	0.0099	0.043	0.003	0.956	0.0081	0.1	0
I- 5	1.71	0.026	0.947	0.0142	0.208	0.005	6.51	0.0212	0	0.01
	1.72	0.0263	0.942	0.0143	0.207	0.005	6.46	0.0213	0	0.01
I- 7	3.32	0.0322	0.532	0.0113	0.094	0.004	3.54	0.0153	0	0.01
	3.37	0.0323	0.541	0.0114	0.093	0.004	3.53	0.0153	0	0.01
I- 8 B	1.14	0.0239	0.868	0.0144	0.113	0.004	5.76	0.0209	0	0.01
	1.12	0.0242	0.871	0.0147	0.11	0.004	5.81	0.0214	0	0.01
I- 9 A	0.0434	0.0119	0.0531	0.0064	0.041	0.003	0.702	0.0072	0	0
	0.0441	0.0117	0.052	0.0062	0.043	0.003	0.703	0.007	0	0
I- 9 B	0.95	0.0219	0.0523	0.0066	0.056	0.003	0.582	0.0067	0	0
	0.967	0.022	0.0561	0.0067	0.049	0.003	0.563	0.0067	0	0
I- 10	2.7	0.0299	0.43	0.0106	0.081	0.004	2.86	0.0139	0	0
	2.78	0.03	0.45	0.0106	0.083	0.004	2.85	0.0138	0	0
I- 12	1.89	0.0266	0.427	0.0106	0.069	0.003	2.66	0.0136	0	0
	1.86	0.0256	0.423	0.0103	0.071	0.003	2.68	0.0132	0	0
I- 13 A	3.14	0.0307	0.125	0.0074	0.057	0.003	1.35	0.0093	0	0
	3.13	0.0311	0.13	0.0074	0.057	0.003	1.33	0.0094	0	0
I- 13 B	2.79	0.0295	0.135	0.0075	0.077	0.003	1.18	0.0088	0	0

	2.81	0.03	0.132	0.0076	0.072	0.003	1.2	0.009	0	0
I- 14	3.48	0.0309	0.768	0.0123	0.108	0.004	5.14	0.0175	0	0.01
	3.63	0.0318	0.781	0.0124	0.106	0.004	5.17	0.0178	0	0.01

Muestra	CaO	Err	TiO2	Err	MnO	Err	Fe2O3	Err	ZrO2	Err
I- 15	5.18	0.043	1.26	0.0175	0.133	0.005	5.41	0.0211	0.1	0.01
	5.24	0.0434	1.27	0.0176	0.134	0.005	5.43	0.0213	0.1	0.01
I- 16	3.71	0.0333	0.617	0.0118	0.109	0.004	4.15	0.0165	0	0.01
	3.67	0.0325	0.612	0.0116	0.111	0.004	4.17	0.0163	0	0.01
I- 18 A	0.36	0.0194	0.392	0.0106	0.157	0.004	3.27	0.0154	0	0.01
	0.363	0.0196	0.381	0.0106	0.156	0.004	3.3	0.0156	0.1	0.01
I- 18 B	0.571	0.019	0.368	0.0101	0.043	0.003	2.22	0.0124	0.1	0.01
	0.582	0.0191	0.36	0.01	0.045	0.003	2.25	0.0124	0.1	0.01
I- 18 C	0.197	0.017	0.376	0.0106	0.075	0.004	4.63	0.0185	0.1	0.01
	0.191	0.0164	0.361	0.0101	0.074	0.004	4.64	0.0181	0.1	0.01
I- 20	2.56	0.0287	0.419	0.0102	0.081	0.003	2.68	0.0132	0	0
	2.58	0.0288	0.431	0.0104	0.082	0.004	2.69	0.0132	0	0
I- 21	0.345	0.0153	0.0654	0.0064	0.049	0.003	0.582	0.0063	0	0
	0.342	0.0156	0.0653	0.0064	0.046	0.003	0.596	0.0065	0	0
I- 22	3.63	0.0348	0.4	0.0105	0.259	0.005	2.82	0.0141	0	0.01
	3.61	0.0366	0.396	0.0111	0.252	0.005	2.85	0.0149	0	0.01
I- 23	3.13	0.0312	0.547	0.0112	0.089	0.004	3.17	0.0143	0	0.01
	3.17	0.0321	0.537	0.0114	0.09	0.004	3.16	0.0146	0	0.01
I- 24	2.91	0.0315	0.609	0.0123	0.077	0.004	3.6	0.016	0	0.01
	2.88	0.0306	0.608	0.012	0.076	0.004	3.66	0.0157	0	0.01

A continuación se muestran los promedios de las muestras que se utilizaron para todos los análisis químicos. En el campo del óxido de circonio hay algunos resultados que se encuentran en negrita, esto implica que el equipo leyó este elemento en una muestra pero no en

su duplicado; por lo tanto en vez de promediar con cero se anotó el valor de la muestra que sí leyó este óxido.

Muestra	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	ZrO2	S
M- 13	2.48	19.2	63.05	0.3765	1.89	4.255	0.9145	0.156	5.96	<b>0.038</b>	1.145
V- 12	1.0665	25.5	66.25	0.0725	5.33	0.1115	0.451	0.04	0.5575	<b>0.028</b>	0.02615
I- 1	2.12	24.2	63.7	0.128	4.86	0.06785	0.655	0.04465	2.18	0.0306	1.57
I- 3A	1.1935	20.85	68.95	0.134	2.77	1.95	0.5265	0.07415	3.14	0.0313	0.00925
I- 3B	0	25.85	67.7	0.0615	4.495	0.02455	0.38	0.04275	0.9575	0.0592	0
I- 5	0.3555	17.85	66.95	0	4.82	1.715	0.9445	0.2075	6.485	0.0465	0.03415
I- 7	0	19.8	69.65	0.202	2.11	3.345	0.5365	0.0932	3.535	0.025	0.0312
I- 8B	3.69	17.95	65.15	0.0995	4.625	1.13	0.8695	0.1115	5.785	0.0171	0.00895
I- 9A	0.955	22.6	72.5	0.084	2.52	0.04375	0.05255	0.04195	0.7025	0	0
I- 9B	0	18.85	74.3	0	4.755	0.9585	0.0542	0.05255	0.5725	0	0
I- 10	1.075	18.1	71.55	0.1915	2.425	2.74	0.44	0.08175	2.855	0.02445	0
I- 12	1.646	19.45	70.65	0.143	2.705	1.875	0.425	0.06965	2.67	0.0263	0
I- 13A	0	19.9	73.25	0.158	1.43	3.135	0.1275	0.05725	1.34	0.01275	0
I- 13B	0	21.05	72.2	0	1.92	2.8	0.1335	0.07405	1.19	<b>0.0146</b>	0
I- 14	7.225	18.3	60.3	0.443	2.25	3.555	0.7745	0.107	5.155	0.0267	0
I- 15	4.255	16	60.45	0.9995	4.83	5.21	1.265	0.1335	5.42	0.0969	0
I- 16	2.81	19.6	66.5	0	1.78	3.69	0.6145	0.11	4.16	0.0243	0
I- 18A	0.351	18.5	69	0	7.32	0.3615	0.3865	0.1565	3.285	0.04885	0
I- 18B	0.4955	21	69.8	0.0835	4.915	0.5765	0.364	0.04365	2.235	0.05365	0.00045
I- 18C	1.0855	21.1	66.55	0	5.375	0.194	0.3685	0.07465	4.635	0.0515	0
I- 20	0.54	18.4	71.65	0.147	2.92	2.57	0.425	0.08155	2.685	0.02095	0
I- 21	0	18.15	76.85	0.0665	3.375	0.3435	0.06535	0.0473	0.589	<b>0.0084</b>	0
I- 22	1.13	21.35	65	0.3535	4.275	3.62	0.398	0.2555	2.835	0.02285	0.0398
I- 23	0	18.1	70.85	0.1735	3.155	3.15	0.542	0.08935	3.165	0.02505	0

### C. Muestras de las metabasitas

Estas muestras se analizaron con el equipo de FRX de la Titulación de Geología y Minas con duplicados.

Muestra	CaO	Err	TiO2	Err	MnO	Err	Fe2O3	Err	ZrO2	Err	Sb2O3	Err
M- 8	9.12	0.0533	0.862	0.0152	0.302	0.006	10.4	0.0301	0.014	0.0063	0.273	0.1014
	9.23	0.0543	0.869	0.0155	0.31	0.0062	10.5	0.0307	0.0174	0.0065	0.364	0.1038
M- 9	0.419	0.0141	0.237	0.0081	0.0585	0.0029	1.76	0.0102	0.0344	0.0044	0	0.0337
	0.436	0.0142	0.255	0.0083	0.0633	0.003	1.81	0.0104	0.036	0.0045	0	0.0337
M- 29 B	9.45	0.0542	0.585	0.0133	0.212	0.0053	7.84	0.0258	0	0.0044	0.426	0.1035
	9.3	0.056	0.593	0.0138	0.215	0.0055	7.83	0.0269	0	0.0045	0.249	0.1053
M- 37	17.1	0.0721	2.7	0.0267	0.278	0.0066	11.5	0.0346	0.0344	0.0077	0.717	0.1324
	17	0.0757	2.64	0.0279	0.277	0.0069	11.6	0.0366	0.041	0.0082	0.869	0.1396
M- 38 B	10.7	0.0623	0.983	0.0178	0.258	0.0065	13.2	0.0383	0	0.0054	0.47	0.1181
	11	0.0592	1.03	0.017	0.268	0.0062	13.5	0.0363	0	0.0052	0.453	0.1118
M- 39 A	3.38	0.0371	0.866	0.0152	0.173	0.0049	6.13	0.0228	0.0409	0.0062	0.223	0.0758
	3.28	0.0355	0.837	0.0146	0.165	0.0047	5.96	0.0218	0.0386	0.0059	0.23	0.0724
M- 39 B	11.5	0.0613	1.1	0.0178	0.275	0.0064	14.3	0.038	0.013	0.0072	0.48	0.1155
	11.6	0.0621	1.09	0.0179	0.285	0.0065	14.6	0.0391	0	0.0054	0.441	0.1166
M- 43	10.2	0.0544	2.57	0.0239	0.3	0.0062	14.4	0.036	0.0362	0.0072	0.515	0.105
	10.3	0.0567	2.52	0.0247	0.302	0.0066	15	0.0383	0.0386	0.0077	0.601	0.1103
M- 45 B	13.6	0.0688	1.42	0.0211	0.409	0.008	15.8	0.0425	0.0096	0.008	0.631	0.13
	13.7	0.067	1.4	0.0204	0.409	0.0077	15.7	0.0411	0	0.0056	0.599	0.1262
M- 65	10.3	0.058	2.02	0.0226	0.271	0.0063	13.9	0.0372	0.0302	0.0076	0.46	0.1106
	10.1	0.06	1.98	0.0236	0.26	0.0066	13.6	0.0385	0.0297	0.0078	0.405	0.1153
M- 67	8.52	0.0531	1.63	0.0203	0.202	0.0055	11.3	0.0326	0.0216	0.007	0.355	0.1023
	8.34	0.0535	1.56	0.0202	0.196	0.0055	11.1	0.0327	0.0242	0.007	0.281	0.1027
M- 69	13	0.0678	1.42	0.0212	0.318	0.0074	16.5	0.0438	0	0.0059	0.418	0.1271
	13	0.0686	1.42	0.0215	0.313	0.0075	16.5	0.0446	0	0.006	0.497	0.1293
M- 72	9.58	0.059	1.39	0.0202	0.271	0.0067	15.1	0.041	0.0135	0.0078	0.397	0.113

	9.72	0.059	1.4	0.0201	0.274	0.0066	15.2	0.0407	0.0188	0.0077	0.3	0.1122
	9.93	0.0593	2.61	0.0265	0.226	0.0063	15	0.0407	0.0334	0.0082	0.394	0.1143
M- 66	9.74	0.0564	2.53	0.0251	0.211	0.006	14.4	0.0379	0.0282	0.0075	0.318	0.1091

Estos son los promedios que se usaron para los diagramas de este trabajo.

Muestra	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	ZrO2	Sb2O3	S
M- 8	4.615	16.8	55.4	0.321	1.07	9.175	0.8655	0.306	10.45	0.0157	0.3185	0.377
M- 29 B	7.6	15.5	57.6	0	0.668	9.375	0.589	0.2135	7.835	0	0.3375	0.03385
M- 37	3.925	16.85	44.6	1.415	0.261	17.05	2.67	0.2775	11.55	0.0377	0.793	0.172
M- 38 B	8.145	16.4	48.6	0.321	0.2175	10.85	1.0065	0.263	13.35	0	0.4615	0.0122
M- 39 B	6.95	16.7	47.2	0.668	0.224	11.55	1.095	0.28	14.45	0.013	0.4605	0.0086
M- 43	0	19.7	50	1.155	0.34	10.25	2.545	0.301	14.7	0.0374	0.558	0
M- 45 B	3.135	14.3	49.05	0.6965	0.5825	13.65	1.41	0.409	15.75	0.0096	0.615	0.04045
M- 65 A	6.15	17.25	47.8	0.878	0.7755	10.2	2	0.2655	13.75	0.02995	0.4325	0.0158
M- 67	8.025	21.4	46.15	0.7335	1.465	8.43	1.595	0.199	11.2	0.0229	0.318	0
M- 69	7.39	15.45	43.85	0.7165	0.512	13	1.42	0.3155	16.5	0	0.4575	0.02325
M- 72	5.48	17.95	48.3	0.3595	0.5065	9.65	1.395	0.2725	15.15	0.01615	0.3485	0.02385
M- 66	5.98	17.75	46.35	0.9785	0.881	9.835	2.57	0.2185	14.7	0.0308	0.356	0
M- 75	8.205	17.35	51	0	2.325	8.12	1.375	0.228	10.55	0.027	0.343	0



**D. Muestras de esquistos cuarzo-pelíticos.**

Muestra	MgO	Err	Al2O3	Err	SiO2	Err	P2O5	Err	K2O	Err	CaO	Err	TiO2	Err
M- 1	0.925		10.1		83.2		0		1.13		0.06		0.549	
	0.356		10.3		83.5		0		1.4		0.062		0.592	
M- 2	0		15.9		76.5		0		5.89		0.171		0.088	
	0		15.3		77.1		0		5.87		0.172		0.09	
M- 3	0	2.7145	16.9	0.8511	69.5	0.9109	0.405	0.1094	4.12	0.0468	2.25	0.0282	0.817	0.0133
	0	2.7452	17.6	0.8602	69.2	0.912	0	0.0464	4.08	0.047	2.22	0.0282	0.826	0.0134
M- 4	0.918	4.5394	21.1	0.9147	65.5	0.8804	0.38	0.1089	3.96	0.0465	1.17	0.0223	0.942	0.0139
	1.81	4.4799	21.7	0.9354	63.6	0.8762	0.374	0.1103	4.11	0.0481	1.24	0.0233	0.961	0.0143
M- 10	0	4.7156	19	0.9093	65.2	0.8996	0.415	0.1167	2.93	0.0422	3.62	0.0349	0.887	0.0143
	2.36	4.6553	19.2	0.9589	62.3	0.9346	0.569	0.1268	3.01	0.0463	3.68	0.0384	0.9	0.0157
M- 12	0	2.6491	17.9	0.8686	69	0.9322	0.337	0.1074	5.03	0.0529	1.39	0.025	0.76	0.0133
	0.596	4.4414	18.3	0.8835	67.9	0.9286	0.382	0.1099	5.09	0.0536	1.42	0.0254	0.756	0.0134
M- 14	4.86	5.1511	26.5	1.1467	51.5	0.842	0.254	0.1207	5.04	0.0585	0.0337	0.0165	0.877	0.0153
	0.825	5.1273	26.5	1.0773	55.8	0.8436	0	0.0494	5.14	0.0554	0.0482	0.0156	0.847	0.0142
M- 22 A	1.38	4.5105	20.2	0.9028	66.1	0.8962	0	0.0499	1.52	0.0323	4.44	0.0367	0.727	0.013
	2.05	4.414	20.4	0.9121	65.3	0.9017	0	0.0499	1.54	0.0331	4.38	0.0371	0.776	0.0135
M- 22 B	0	3.9768	14.4	0.7741	79.1	1.0297	0.166	0.0994	1.97	0.0355	0.0859	0.0119	0.742	0.0123
	0	4.0018	14.4	0.7744	79.4	1.0328	0	0.0429	1.95	0.0354	0.0829	0.012	0.708	0.0121
M- 39A	2.5	4.761	19.4	0.9617	60.9	0.8949	0.386	0.1163	5.3	0.0569	3.38	0.0371	0.866	0.0152
	2.37	4.6944	19.1	0.9364	62.2	0.8862	0	0.048	5.17	0.0546	3.28	0.0355	0.837	0.0146
M- 31	3.8	4.3051	23.7	0.9836	61.3	0.8941	0	0.0461	4.45	0.0524	1.22	0.0246	0.619	0.0128
	3.43	4.3609	23	0.9716	62.3	0.8996	0.193	0.1063	4.44	0.0522	1.23	0.0246	0.626	0.0128
M- 30 A	0.771	3.8872	14.6	0.778	79.9	1.0596	0	0.0427	1.75	0.0344	0.161	0.0125	0.434	0.0102
	0	2.3068	14.2	0.7647	80.8	1.0665	0.234	0.0981	1.67	0.0338	0.151	0.0124	0.441	0.0102
M- 30 B	3.54	4.5218	20.2	0.9468	63.8	0.9104	0.412	0.1147	4.04	0.0497	1.2	0.024	0.799	0.0139
	2.31	4.5119	19.4	0.92	65.7	0.9157	0.329	0.1107	4.04	0.0489	1.23	0.0237	0.816	0.0137

M- 33	0.993	4.5116	18.9	0.911	67.6	0.944	0.28	0.1108	4.64	0.0526	0.432	0.0185	0.821	0.0139
	0.517	4.5629	18.7	0.9064	68.3	0.9478	0.282	0.111	4.72	0.0528	0.438	0.0186	0.843	0.0141
M- 45 A	3.01		17		67.4		0.127		4.74		1.23		0.729	
	1.67		16.4		69.7		0.254		4.8		1.28		0.749	
Muestra	CaO	Err	TiO2	Err	MnO	Err	Fe2O3	Err	SnO2	Err				
M- 1	0.06		0.549		0.049		3.07		0.129					
	0.062		0.592		0.049		3.1		0.11					
M- 2	0.171		0.088		0.045		0.809		0.37					
	0.172		0.09		0.045		0.815		0.401					
M- 3	2.25	0.0282	0.817	0.0133	0.129	0.0039	5.38	0.0189	0.214	0.0634				
	2.22	0.0282	0.826	0.0134	0.132	0.0039	5.35	0.0191	0.287	0.0641				
M- 4	1.17	0.0223	0.942	0.0139	0.151	0.0041	5.42	0.019	0.197	0.0622				
	1.24	0.0233	0.961	0.0143	0.151	0.0042	5.51	0.0196	0.252	0.0644				
M- 10	3.62	0.0349	0.887	0.0143	0.155	0.0044	5.97	0.0209	0.178	0.0606				
	3.68	0.0384	0.9	0.0157	0.145	0.0047	5.97	0.0229	0.192	0.0665				
M- 12	1.39	0.025	0.76	0.0133	0.131	0.004	4.73	0.0185	0.323	0.0697				
	1.42	0.0254	0.756	0.0134	0.125	0.0041	4.78	0.0187	0.27	0.0702				
M- 14	0.0337	0.0165	0.877	0.0153	0.285	0.0059	9.56	0.0296	0.448	0.0773				
	0.0482	0.0156	0.847	0.0142	0.285	0.0056	9.57	0.0277	0.379	0.0727				
M- 22 A	4.44	0.0367	0.727	0.013	0.09	0.0037	4.63	0.0179	0.131	0.0516				
	4.38	0.0371	0.776	0.0135	0.091	0.0038	4.61	0.0182	0.0909	0.052				
M- 22 B	0.0859	0.0119	0.742	0.0123	0.064	0.0031	2.85	0.0134	0.183	0.05				
	0.0829	0.012	0.708	0.0121	0.061	0.0031	2.8	0.0133	0.196	0.0501				
M- 39A	3.38	0.0371	0.866	0.0152	0.173	0.0049	6.13	0.0228	0.285	0.0759				
	3.28	0.0355	0.837	0.0146	0.165	0.0047	5.96	0.0218	0.281	0.073				
M- 31	1.22	0.0246	0.619	0.0128	0.123	0.0042	4.29	0.0182	0.245	0.0691				
	1.23	0.0246	0.626	0.0128	0.118	0.0041	4.21	0.0179	0.259	0.0691				
M- 30 A	0.161	0.0125	0.434	0.0102	0.074	0.0033	2.03	0.0115	0.136	0.0485				

	0.151	0.0124	0.441	0.0102	0.079	0.0032	1.96	0.0112	0.17	0.0481
M- 30 B	1.2	0.024	0.799	0.0139	0.145	0.0044	5.37	0.0201	0.283	0.067
	1.23	0.0237	0.816	0.0137	0.155	0.0043	5.38	0.0198	0.249	0.0654
M- 33	0.432	0.0185	0.821	0.0139	0.16	0.0045	5.48	0.0202	0.3	0.0693
	0.438	0.0186	0.843	0.0141	0.162	0.0045	5.49	0.0202	0.225	0.0689
M- 45 A	1.23		0.729		0.111		4.96		0.322	
	1.28		0.749		0.116		5.03		0.311	

Muestra	MgO	Err	Al2O3	Err	SiO2	Err	P2O5	Err	K2O	Err	CaO	Err	TiO2	Err
M- 47 B	2.01	3.9834	10.5	0.7245	81.8	1.0773	0.241	0.0992	1.66	0.0335	0.0652	0.0113	0.543	0.0109
	1.06	4.0319	10.9	0.7286	82.4	1.0794	0	0.0417	1.72	0.0337	0.0632	0.0112	0.544	0.0108
M- 50 A	1.02	4.062	18	0.8234	73	0.9383	0.281	0.0999	1.9	0.034	1.54	0.0229	0.452	0.0103
	1.39	4.1285	17.8	0.8224	73.1	0.9319	0	0.0427	1.94	0.0338	1.57	0.0227	0.472	0.0102
M- 58 A	0.127	4.0588	17.1	0.8201	73.9	0.9671	0	0.043	3.98	0.0471	0.889	0.0205	0.475	0.0108
	2.03	4.011	17.4	0.8375	71.8	0.9606	0	0.0428	3.96	0.0477	0.887	0.0209	0.458	0.0108
M- 63	0.134	4.3176	15.5	0.825	74.5	1.0027	0.358	0.108	2.82	0.042	1.69	0.0256	0.56	0.0118
	2.38	4.294	16.1	0.8552	71.5	0.9879	0.339	0.1097	2.92	0.0432	1.69	0.0261	0.578	0.0121

Muestra	MnO	Err	Fe2O3	Err	SnO2	Err
M- 47 B	0.0543	0.0029	2.77	0.0132	0.149	0.0477
	0.0552	0.0029	2.83	0.0134	0.177	0.0479
M- 50 A	0.106	0.0035	3.3	0.0142	0.187	0.05
	0.109	0.0035	3.34	0.0142	0.152	0.049
M- 58 A	0.0636	0.0032	2.94	0.0139	0.244	0.0625
	0.0657	0.0033	2.87	0.014	0.256	0.0633
M- 63	0.128	0.004	3.89	0.0165	0.197	0.0585
	0.13	0.0041	3.94	0.017	0.209	0.0598

Luego se obtuvo los promedios que se muestran en la tabla a continuación. Esta tabla tiene los promedios de los duplicados de cada muestra y de los valores que se usaron en este trabajo.

Muestra	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub>
M- 1A	0.6405	10.2	83.35	0	1.265	0.061	0.5705	0.049	3.085	0.1195
M- 2	0	15.6	76.8	0	5.88	0.1715	0.089	0.045	0.812	0.3855
M- 3	0	17.25	69.35	0.2025	4.1	2.235	0.8215	0.1305	5.365	0.2505
M- 4	1.364	21.4	64.55	0.377	4.035	1.205	0.9515	0.151	5.465	0.2245
M- 10	1.18	19.1	63.75	0.492	2.97	3.65	0.8935	0.15	5.97	0.185
M- 12	0.298	18.1	68.45	0.3595	5.06	1.405	0.758	0.128	4.755	0.2965
M- 14	2.8425	26.5	53.65	0.127	5.09	0.04095	0.862	0.285	9.565	0.4135
M- 22 A	1.715	20.3	65.7	0	1.53	4.41	0.7515	0.0906	4.62	0.11095
M- 22B	0	14.4	79.25	0.083	1.96	0.0844	0.725	0.0628	2.825	0.1895
M-39 A	2.435	19.25	61.55	0.193	5.235	3.33	0.8515	0.169	6.045	0.283
M- 31	3.615	23.35	61.8	0.0965	4.445	1.225	0.6225	0.1205	4.25	0.252
M- 30 A	0.3855	14.4	80.35	0.117	1.71	0.156	0.4375	0.07655	1.995	0.153
M- 30 B	2.925	19.8	64.75	0.3705	4.04	1.215	0.8075	0.15	5.375	0.266
M- 33	0.755	18.8	67.95	0.281	4.68	0.435	0.832	0.161	5.485	0.2625
M- 39A	2.435	19.25	61.55	0.193	5.235	3.33	0.8515	0.169	6.045	0.283
M- 45A	2.34	16.7	68.55	0.127	4.77	1.255	0.739	0.1135	4.995	0.3165
M- 47 B	1.535	10.7	82.1	0.1205	1.69	0.0642	0.5435	0.05475	2.8	0.163
M- 50 A	1.205	17.9	73.05	0.1405	1.92	1.555	0.462	0.1075	3.32	0.1695
M- 58 A	1.0785	17.25	72.85	0	3.97	0.888	0.4665	0.06465	2.905	0.25
M- 63	1.257	15.8	73	0.3485	2.87	1.69	0.569	0.129	3.915	0.203

## ANEXO V. DESPLAZAMIENTO DE LA FALLA DE CABALGAMIENTO

En la primera gráfica de este anexo, considérese un sistema cartesiano de coordenadas. Se sabe que

$$OB = 6,6m$$

$$\Theta T = 90^\circ - 23^\circ = 57^\circ.$$

OB como un vector desplazamiento se representa como  $OB = (6,6m; 67^\circ)$

Por lo tanto:

$$X_B = \cos \Theta T \times OB$$

$$X_B = \cos 67^\circ \times 6,6m$$

$$X_B = 2,579m$$

$$Y_B = \text{sen } \Theta T \times OB$$

$$Y_B = \text{sen } 67^\circ \times 6,6m$$

$$Y_B = 6,075m$$

Para calcular la ecuación de una recta tenemos un punto B (2,579; 6,075) m.

Para calcular la ecuación de la recta d1 tenemos la información del punto B y de la pendiente que es la tangente del ángulo  $\alpha = 142^\circ$ , que por ser mayor de  $90^\circ$  se usa el suplemento, es decir  $38^\circ$ ; pero con valor negativo.

$$Y_1 - Y_2 = m(X_1 - X_2)$$

$$Y - 6,075 = -\tan 38^\circ (X - 2,579)$$

$$Y - 6,075 = -\tan 38^\circ X + 2,579(\tan 38^\circ)$$

$$Y + \tan 38^\circ X - 6,075 - 2,579(\tan 38^\circ) = 0$$

$$\mathbf{Y + 0,781X - 8,09 = 0 (d1)}$$

Para calcular la ecuación de la recta f que representa la falla geológica tenemos las siguientes implicaciones: El ángulo  $\Theta F$  es la pendiente m de la recta f. Usando la fórmula de la recta que pasa por el origen y la pendiente tenemos:

$$Y = mX$$

$$Y = \tan 54^\circ$$

$$Y = 1,376X$$

$$\mathbf{Y - 1,376X = 0 (f)}$$

Ahora aplicamos un sistema de ecuaciones de primer grado para obtener la posición del punto A, con las ecuaciones de las rectas d1 y f.

$$d1: Y + 0,781X - 8,09 = 0$$

$$f: Y - 1,376X = 0$$

Multiplicando por (-1) y sumando las dos ecuaciones tenemos que el valor de  $X = 3,751$ .

Luego reemplazando este valor en la ecuación f y despejando el valor de Y tenemos que  $Y = 5,161$ .

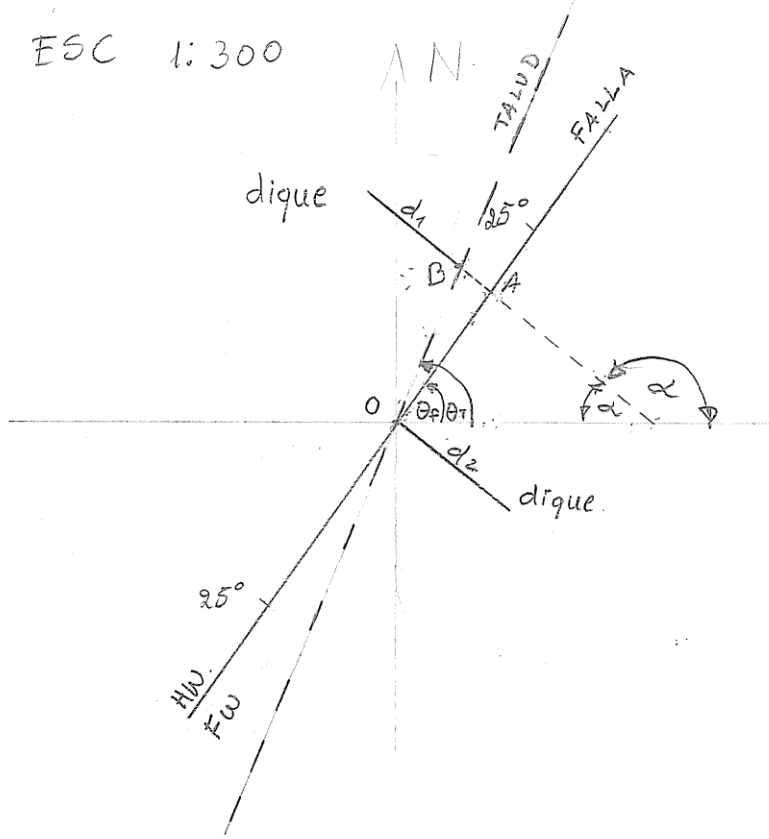
Por lo tanto el punto A tiene coordenadas A (3,751; 5,161) m.

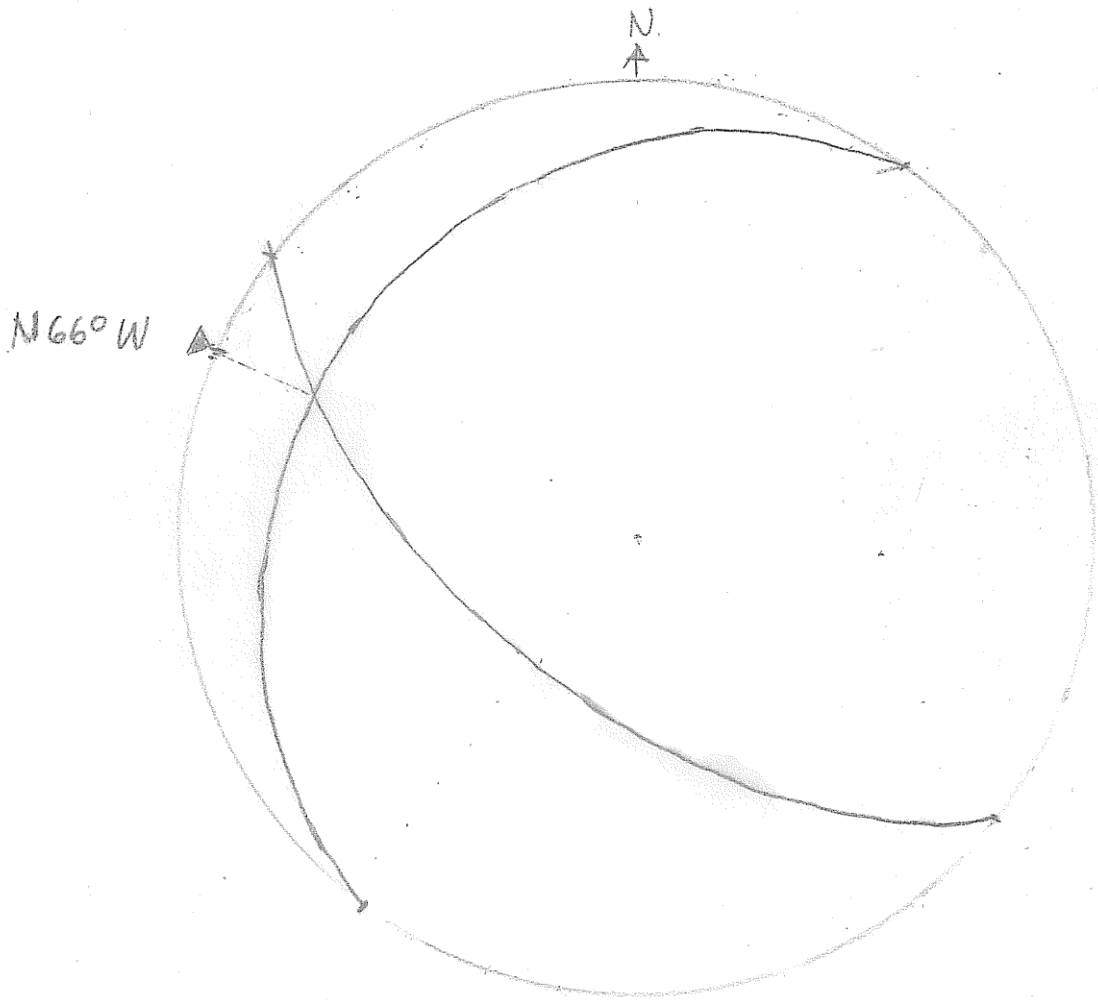
Ahora nos interesa saber la distancia entre el punto A y el origen O que se la calcula con el teorema de Pitágoras

$$OA = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = \sqrt{(3,751m)^2 + (5,161m)^2} = \sqrt{39,387m^2} = 6,276m$$

ESC 1:300

talud.  $N 23^\circ \rightarrow$   
falla.  $306^\circ/25^\circ$   
dique.  $218^\circ/61^\circ$

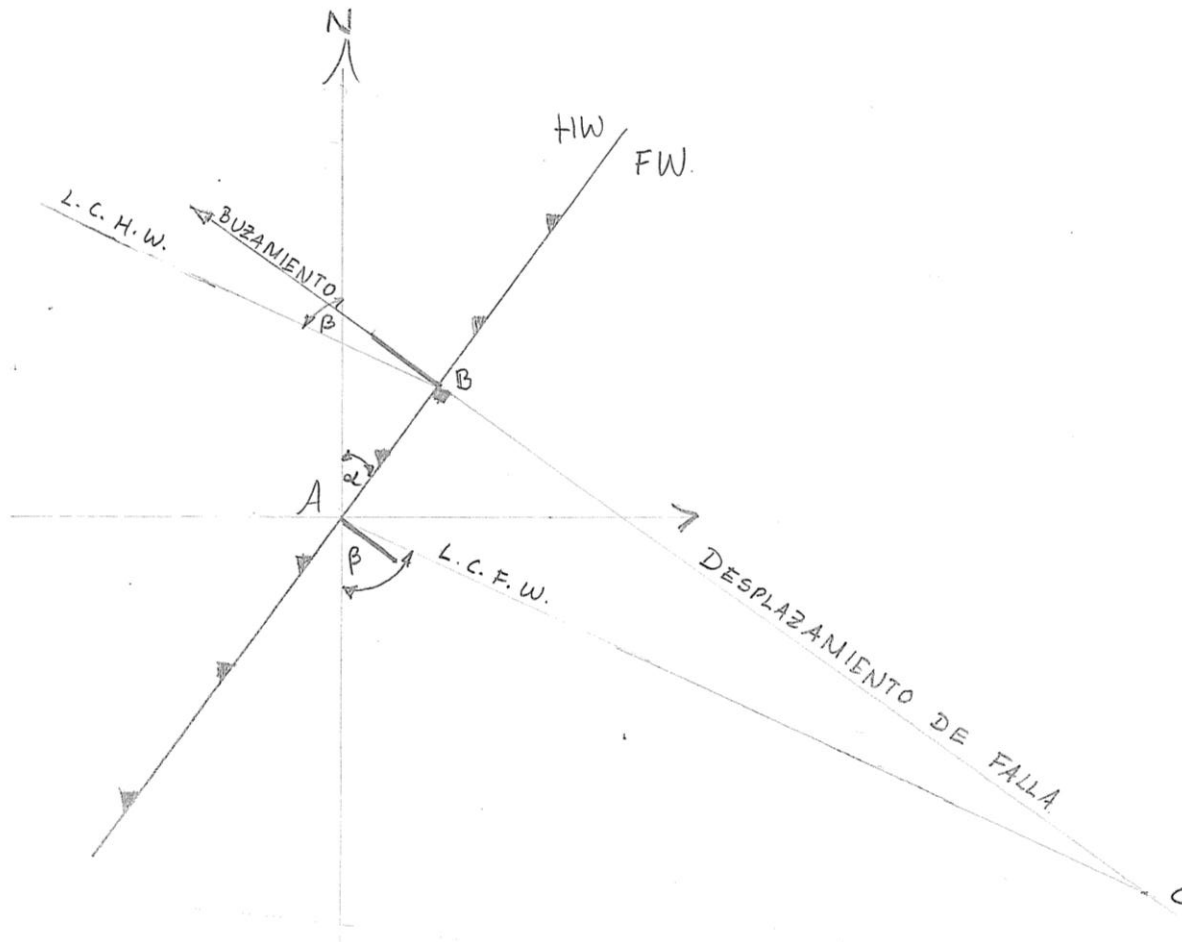




Finalmente siguiendo la metodología de Ragan (2009; pp. 179- 182) se realiza el diagrama siguiente para con encontrar el desplazamiento gráficamente; sin embargo se ha llevado a cabo todo este proceso matemático para calcularlo analíticamente de la forma más exacta posible y asumiendo que la falla tiene un desplazamiento en un plano regular y una misma dirección de desplazamiento. En este triángulo el lado AB corresponde al valor obtenido OA en las ecuaciones anteriores.  
 Ángulo BAC =  $180^\circ - \beta - \alpha = 180^\circ - 66^\circ - 36^\circ = 78^\circ$

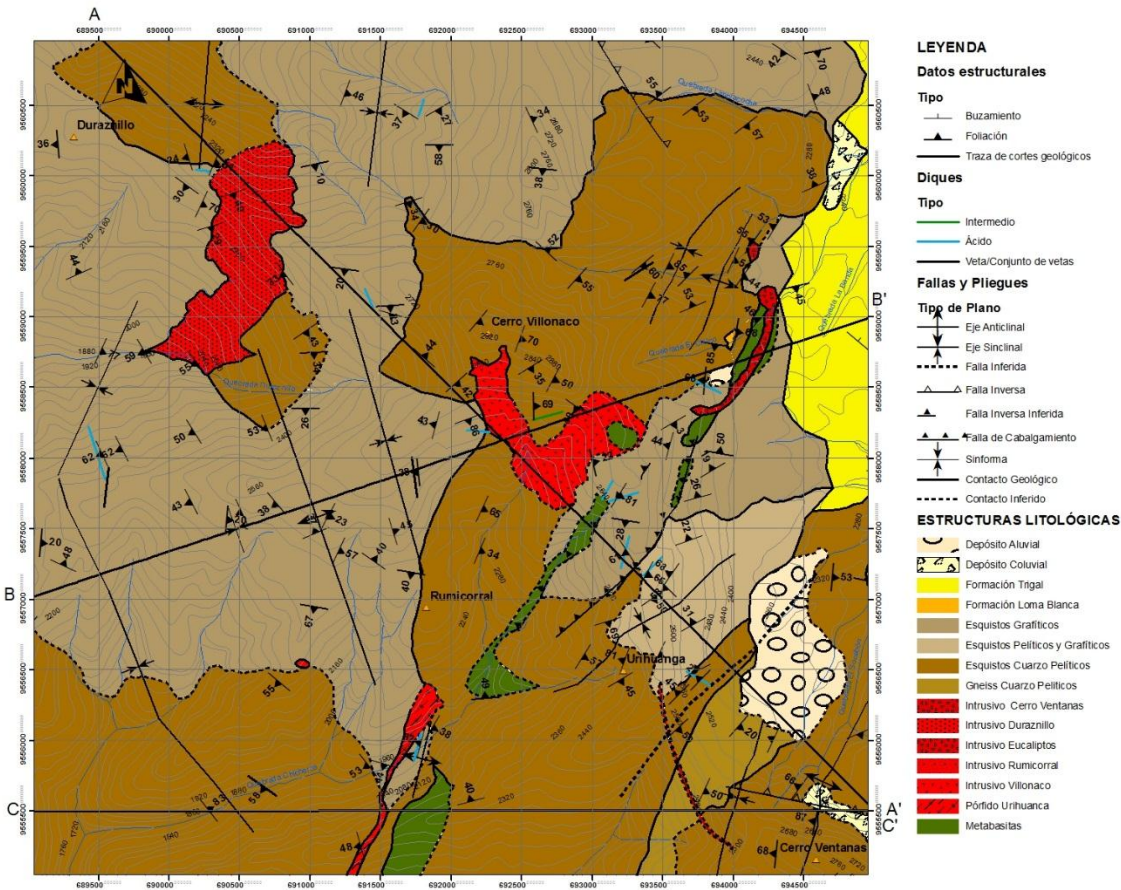
$\tan BAC = BC/AB$  y despejando BC tenemos que  $BC = AB \times \tan ABC = 6,276m \times \tan 78^\circ = 29,526m$

Por lo tanto la falla se ha desplazado 29,526m en la dirección de su buzamiento asumiendo que se desplazó solo en esta dirección.



# ANEXO VI. MAPA GEOLÓGICO

## MAPA GEOLÓGICO DEL CERRO VILLONACO



**Metabasitas:** Su edad es posiblemente el paleozoico inferior, al igual que las anfibolitas Monte Olivo. Las rocas consisten en esquistos verdes de Act-Ep-Qtz-Hbl-Cal, Chl-Bt-Qtz-Cal y anfibolitas de Hbl-Pl-Cal-Opx-Ilm-Mag-Qtz. Están alineadas formando una especie de cinturón y es muy posible que hayan sido un arco volcánico de islas antes de ser metamorfosadas.

**ESQUISTOS CUARZO- PELÍTICOS:** Pertenecen a la unidad Chiguinda del Paleozoico. Yacen discordantemente sobre las metabasitas. Esta estructura consta de cuarcitas y esquistos de Qtz-Bt-Ms. La andalusita es frecuente en ciertos afloramientos y en las cuarcitas. La estaurolita localmente reemplaza a la biotita en las cuarcita o puede aparecer como componente minoritario. La principal característica de estas rocas es el cuarzo que se presenta en hábito granular. Los protolitos de estas rocas fueron principalmente sánitas y en menor cantidad pelitas.

**GNESIS CUARZO- PELÍTICOS:** Son el producto del metamorfismo más elevado de los esquistos cuarzo-pelíticos y se distinguen por el bandeamiento tipo augen, aparición de feldespato y granate, la silimanita empieza a formarse pero no reemplaza a la moscovita. No se ha registrado cordierita.

**ESQUISTOS GRAFÍTICOS:** Pertenecen a la unidad Chiguinda del Paleozoico. Son el resultado del metamorfismo de una formación organogénica. Los esquistos son de Gr-Ms-St-And-Qtz-Chl, Gr-Ms-Qtz-Bt y Gr-Ms-Chl y se encuentran intercalados con cuarcitas impuras, en su mayoría grafíticas. Generalmente el cuarzo se encuentra en lentes o vetas. Yace de forma concordante o discordantemente sobre los esquistos cuarzo- pelíticos y discordantemente sobre las metabasitas (discordancia fundamental). La facie metamórfica predominante es la de esquistos verdes (zona de biotita y zona de estaurolita).

**ESQUISTOS GRAFÍTICOS Y PELÍTICOS:** Son congénitos con los esquistos grafíticos. Pero con la diferencia que los sedimentos son pelíticos. Hay predominancia de Ch-Ms y otros filosilicatos Solo

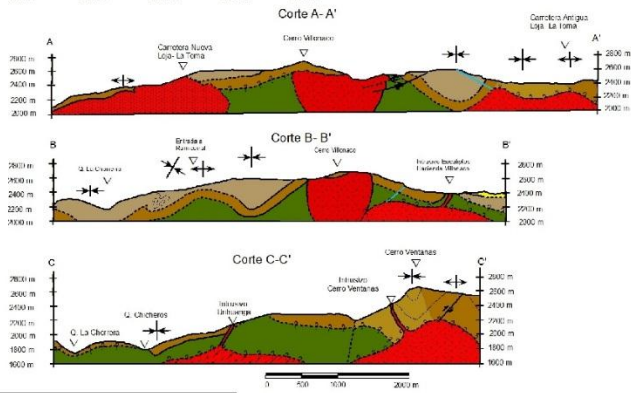
**INTRUSIVO VILLONACO:** La roca es una cuarzo-diorita fanerítica de Mag-Ilm-Opx-Hbl con flogopita y sulfuros de Cu y Fe en pequeñas cantidades. Intruye a todas las rocas metamórficas y se encuentra altamente meteorizado. Produce metamorfismo de contacto a las rocas caja, lo cual sugiere que estas rocas no estaban totalmente metamorfosadas al momento de la intrusión; por lo tanto debe ser la intrusión más antigua de la zona de estudio. Su edad se infiere del cretácico inferior. Es un granito del tipo I.

**INTRUSIVO DURAZNILLO:** Litherland et al (1994) señalan una edad de 58±2 Ma para esta intrusión, y le llaman intrusión Catamayo. La roca consiste en un granito de Lpd-Ms-Bt. La biotita en ciertas cotas llega a formar la misma proporción del cuarzo, es el único silicato máfico de la roca y no se la encuentra en las partes apicales de la intrusión. Se encuentran sillons con bandeamientos de la biotita, capas de grafito y cuarzo, lo cual indica que es un granito del tipo S. Posiblemente este granito se formó por la fusión de los esquistos cuarzo- pelíticos debido a una fuente de magma infrayacente a los mismos.

**RESTO DE INTRUSIONES:** Los intrusivos Eucalptos y Cerro Ventanas son monzogranito y sien-granito respectivamente. Ambos con textura porfírica, fenocristales de plagioclasa y biotita como silicato máfico. Estos dos cuerpos son diques al igual que el intrusivo Uñihuanga de composición ácida. Atraviesan a todas las rocas metamórficas de la zona de estudio. Es muy posible que todos estén relacionados entre sí por una cámara magmática interna. Debido a la ubicación geográfica es muy posible que estas rocas tengan alguna relación con el batolito de San Lucas del Paleoceno (Litherland et al., 1994).

**Formación Loma Blanca:** Aflora como lavas y proclastos de composición dacítica discordantemente sobre los esquistos cuarzo- pelíticos. Edad entre el Eoceno superior y Oligoceno inferior (Hungerbühler et al., 2011).

**Formación Trigal:** Areniscas tobáceas de clastos volcánicos provenientes de la Fm. Loma Blanca, arcillolitas, lutitas y turba. Edad del Mioceno medio



ESC 1:20000  
PROYECCIÓN UTM- DATUM WGS 84- ZONA 17 S

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

Informe de Gestión Productiva 4.2- Proyecto de fin de titulación

TITULACIÓN: Geología y Minas

AUTOR: David Ricardo González Urrutco

TEMA: Cartografía Litológica-Estructural y análisis petrográfico del intrusivo del Cerro Villonaco

TUTOR: Ing. Mg. José Soló Larrea

COTUTOR: Ing. Mg. José Soló Larrea

