



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

## **ÁREA TÉCNICA**

**TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MÍNAS**

**Caracterización de los materiales del Distrito Minero Nambija por  
Fluorescencia de Rayos-X.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**AUTOR:** Feijoó Álvarez, Mónica Patricia

**DIRECTOR:** Guartán Medina, José Arturo, MSc.

**LOJA – ECUADOR**

**2016**



*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>*

*Febrero, 2016*

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Magister.

José Arturo Guartán Medina.

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Caracterización de los materiales del Distrito Minero Nambija por Fluorescencia de Rayos-X realizado por Mónica Patricia Feijoó Álvarez, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, febrero de 2016

f).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Feijoó Álvarez Mónica Patricia declaro ser autora del presente trabajo de titulación: Caracterización de los materiales del Distrito Minero Nambija por Fluorescencia de Rayos-X, de la Titulación de Geología y Minas, siendo José Arturo Guartán Medina 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”.

---

Autor: Feijoó Álvarez Mónica Patricia  
CI: 1104272511

## DEDICATORIA

No hay palabras para expresar lo que significa haber culminado el presente trabajo, dada la oportunidad dedico mi trabajo.

A Dios por darme la oportunidad de vivir, la fortaleza, la salud.

A mi Padre Jaime Eduardo Feijoó Merchán (QEPD) quien siempre me motivó a seguir adelante gracias a sus consejos, enseñanzas, amor, a su dedicación incondicional desde que era niña nunca dejaste que me falte nada, tu partida me duele mucho pero sé que si estuvieras aquí estarías muy orgulloso de mi papi; gracias por darme una profesión para mi futuro.

A mi Madre Melva Rosa Álvarez, por darme la vida, quererme mucho y siempre estar pendiente de mí, e impulsarme siempre a seguir adelante te amo mami este logro es tuyo y mío,

A mis hermanos, William, Christian, Jaime por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A David González, quien me brindó su amor, su cariño, su estímulo y su apoyo constante para que pudiera culminar esta etapa.

A todos mis amigos y compañeros de aula gracias por los buenos y malos momentos.

## **AGRADECIMIENTO**

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación.

A mis padres por darme el apoyo, tanto sentimental, como económico.

A mi compañera de tesis Victoria con la cual compartí gratos momentos en el desarrollo de la tesis, a mis compañeros y a los pasantes de Ing. Química que me ayudaron en ciertas ocasiones.

Dirijo mi agradecimiento a los Ing. Juan Carlos Quintuña, Ing. Víctor Sanmartín quienes con su ayuda desinteresada, me brindaron información relevante, próxima, pero muy cercana a la realidad de mis necesidades.

Al Ing. José Guartán Medina gracias por su amistad y por los conocimientos impartidos y a los demás catedráticos de la titulación de Geología y Minas por haber sido una guía durante mi carrera universitaria.

A David por su apoyo incondicional por motivarme que siempre salga adelante y por estar conmigo en este tiempo tan importante para mí.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN</b>	<b>ii</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b>	<b>vi</b>
<b>INDICE DE GRÁFICOS.</b>	<b>ix</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.</b>	<b>ix</b>
<b>INDICE DE TABLAS.</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO I</b>	<b>5</b>
<b>CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE NAMBIJA</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Ubicación.</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Acceso.</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Topografía y Clima.</b>	<b>7</b>
<b>CAPITULO II</b>	<b>8</b>
<b>GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Distrito Minero Zamora.</b>	<b>9</b>
<b>2.2. Geología Distrito Minero Nambija.</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1. Relaciones Intrusivas.</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2. Skarn de Nambija.</b>	<b>9</b>
<b>2.3. Mineralogía del skarn.</b>	<b>10</b>
<b>a. Mineralogía de Mena.</b>	<b>10</b>
<b>b. Mineralogía de ganga.</b>	<b>11</b>
<b>c. Mineralogía de Alteración.</b>	<b>11</b>
<b>CAPITULO III</b>	<b>12</b>
<b>ASPECTOS TEÓRICOS</b>	<b>12</b>
<b>3.1. FRX.</b>	<b>13</b>
<b>3.1.1 Etapas de la FRX.</b>	<b>13</b>

a. <i>Excitación.</i>	13
b. <i>Emisión.</i>	14
3.1.2 <i>Análisis cuantitativo y cualitativo.</i>	14
3.1.3 <i>Ventajas de la FRX.</i>	14
3.1.4 <i>Principio de funcionamiento del tubo de Rayos-X.</i>	15
3.1.5 <i>Descripción equipo FRX S1 TURBO <sup>SD</sup>.</i>	15
a. <i>Tubo de Rayos-X.</i>	16
b. <i>Tipo de análisis.</i>	16
3.2. <i>Diagramas quimiográficos.</i>	17
<b>CAPITULO IV</b>	<b>18</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>18</b>
4.1. <i>Preparación de la muestra.</i>	19
4.1.1. <i>Trituración.</i>	19
4.1.2. <i>Homogenización.</i>	20
4.1.3. <i>Cuarteo.</i>	21
c. <i>Pulverización.</i>	21
4.1.4. <i>Análisis de FRX.</i>	22
4.1.5. <i>Determinación de Sodio.</i>	23
a. <i>Digestión de la muestra con ácido salicílico:</i>	23
b. <i>Digestión de la muestra con ácidos: fluorhídrico (48%), clorhídrico (6M), nítrico concentrado, perclórico (72%).</i>	25
4.1.6. <i>Absorción atómica (AAS).</i>	25
a. <i>Procedimiento.</i>	26
4.1.7. <i>Determinación del Na<sub>2</sub>O.</i>	26
a. <i>Factor de corrección para el Na<sub>2</sub>O.</i>	27
4.1.8. <i>Tratamiento estadístico de datos.</i>	27
a. <i>Diagramas Quimiográficos.</i>	27
b. <i>Hoja de cálculo de Excel.</i>	27
c. <i>Análisis Estadístico.</i>	28
<b>CAPITULO V</b>	<b>29</b>
<b>RESULTADOS E INTERPRETACIÓN</b>	<b>29</b>
5.1. <i>Interpretación de los resultados de Fluorescencia de Rayos-X.</i>	30



<b>5.2. Análisis Estadístico.</b>	<b>34</b>
5.2.1. <b>Histogramas.</b>	<b>35</b>
5.2.2. <b>Matriz de Correlación.</b>	<b>43</b>
a. <b>Interpretación de diagramas de dispersión.</b>	<b>44</b>
<b>CAPITULO VI</b>	<b>56</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	<b>56</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>57</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>63</b>
<b>Anexo 1. Base de datos original.</b>	<b>64</b>
<b>Anexo 2. Base de datos con la aplicación de la operación clausura.</b>	<b>67</b>
<b>Anexo 3. Representaciones gráficas.</b>	<b>68</b>
<b>Anexo 4. Matriz de correlación.</b>	<b>69</b>
<b>Anexo 5. Construcción de los diagramas quimiográficos.</b>	<b>70</b>
<b>Anexo 6. Preparación de Estándares para determinar sodio.</b>	<b>75</b>
<b>Anexo 7. Cálculos para determinar un óxido de un mineral por AAS.</b>	<b>76</b>
<b>Factor de corrección para Na<sub>2</sub>O.</b>	<b>76</b>

#### INDICE DE ILUSTRACIONES.

<b>Ilustración 1. Generación de rayos x.</b>	<b>13</b>
<b>Ilustración 2. Preparación de muestras.</b>	<b>19</b>
<b>Ilustración 3. Histograma de frecuencia de MgO.</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 4. Histograma de frecuencia de MnO.</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 5. Histograma de frecuencia de aluminio.</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 6. Histograma de frecuencia de óxido férrico.</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 7. Histograma de frecuencia de óxido de sílice.</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 8. Histograma de frecuencia de óxido de cobre.</b>	<b>38</b>
<b>Ilustración 9. Histograma de frecuencia de óxido de fósforo.</b>	<b>38</b>
<b>Ilustración 10. Histograma de frecuencia de óxido de zinc.</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 11. Histograma de frecuencia de azufre.</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 12. Histograma de frecuencia de óxido de arsénico.</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 13. Histograma de Frecuencia de óxido de potasio.</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 14. Histograma de frecuencia de óxido de estaño.</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 15. Histograma de Frecuencia de óxido de calcio.</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 16. Histograma de frecuencia de óxido de antimonio.</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 17. Histograma de frecuencia de óxido de titanio.</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 18. Histograma de Frecuencia de óxido de sodio.</b>	<b>43</b>

## INDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Mapa de ubicación de Nambija. ....	6
Gráfico 2. Mapa de acceso de Loja a Nambija.....	7
Gráfico 3. Esquema del tubo de rayos x.....	15
Gráfico 4. Diagrama quimiográfico para metamorfismo alto.....	30
Gráfico 5. Diagrama quimiográfico para metamorfismo bajo.....	31

## INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Trituradora de Mandíbulas Restch. ....	20
Figura 2. Homogenización de la muestra. ....	20
Figura 3. Cuarteo de la muestra.....	21
Figura 4. Pulverización de la muestra. Equipo Retsch 200.....	22
Figura 5. Equipo de Fluorescencia Portátil BRUKER S1TURBO <sup>SD</sup> .....	23
Figura 6. Proceso para determinar sodio. ....	24
Figura 7. Digestión de la muestra con ácido fluorhídrico,.....	25
Figura 8. Espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer.....	26
Figura 9. Relación entre $P_2O_5$ y $Al_2O_3$ . ....	44
Figura 10. Relación entre $CaO$ Y $Al_2O_3$ . ....	44
Figura 11. Relación entre $CaO$ Y $SiO_2$ . ....	45
Figura 12. Relación entre $CaO$ y $P_2O_5$ . ....	45
Figura 13. Relación entre $CaO$ y $TiO_2$ . ....	46
Figura 14. Relación entre $TiO_2$ y $P_2O_5$ . ....	46
Figura 15. Relación entre $TiO_2$ y $Al_2O_3$ . ....	47
Figura 16. Relación entre $MnO$ y $P_2O_5$ . ....	47
Figura 17. Relación entre $MnO$ y $CaO$ . ....	48
Figura 18. Relación entre $As_2O_3$ y $CaO$ . ....	48
Figura 19. Relación entre $SnO_2$ y $Al_2O_3$ . ....	49
Figura 20. Relación entre $SnO_2$ y $P_2O_5$ . ....	49
Figura 21. Relación entre $SnO_2$ y $K_2O$ . ....	50
Figura 22. Relación entre $SnO_2$ y $CaO$ . ....	50
Figura 23. Relación entre $Sb_2O_3$ y $SiO_2$ . ....	51
Figura 24. Relación entre $Sb_2O_3$ y $P_2O_5$ . ....	51
Figura 25. Relación entre $Sb_2O_3$ y $CaO$ . ....	52
Figura 26. Relación entre $Sb_2O_3$ y $MnO$ . ....	52
Figura 27. Relación entre $Sb_2O_3$ y $As_2O_3$ . ....	53

## INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Composición de las muestras según su % en $SiO_2$ (A), $CaO$ (B), $MgO$ (C). ....	32
Tabla 2. Resultados de diagramas elaborados con el software PetroGraph 2beta.....	33
Tabla 3. Resultados en base a la hoja de cálculo de Excel.....	34
Tabla 4. Análisis Estadístico de los elementos y óxidos.....	35
Tabla 5. Correlación lineal entre dos variables.....	43

## RESUMEN EJECUTIVO

Las muestras de (Pineda, Diego, 2015), y (Veintimilla J. E., 2014) provenientes del Distrito Minero Nambija, sector Nambija, fueron analizadas con un equipo portátil de fluorescencia de rayos equis (FRX) BRUCKER S1 TURBO <sup>SD</sup>, para determinar su composición química y en base a esta fue inferida la mineralogía de cada muestra usando diagramas triangulares quimiográficos.

Se realizó un análisis estadístico a los resultados de los análisis químicos de dichas muestras, para ver la distribución de datos e identificar posibles relaciones existentes entre óxidos mediante histogramas, diagramas de dispersión y matriz de correlación.

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico con el equipo de FRX fueron favorables; pero la mineralogía queda incompleta debido a que el equipo no discrimina ciertos componentes entre ellos el FeO del Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y no muestra lecturas de Na<sub>2</sub>O indispensables para realizar una mineralogía completa de la roca.

**Palabras claves:** FRX, Distrito Minero Nambija, skarn, correlaciones de óxidos.

## ABSTRACT

Samples from Nambija Area, in the Nambija Mining District, taken by Pineda (2015) and Veintimilla (2014) were analyzed with portable BRUCKER S1 TURBO <sup>SD</sup> x-ray fluorescence (XRF) equipment in order to determine the chemical composition, and with this data find the modal composition using three component compositional diagrams.

Statistical analysis were also carried out for these samples' results to check the data distribution and identify possible relations between oxides using histograms, dispersion diagrams and correlation matrix.

Obtained results in the statistical analysis with the XRF equipment were favorable; however, modal composition resulted incomplete because the equipment doesn't read some components, among them Na<sub>2</sub>O and FeO, and shows Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as total iron oxide, which discrimination is crucial for a complete mineralogical analysis.

**Key words:** XRF, Nambija Mining District, skarn, oxides' correlations.

## INTRODUCCIÓN

El Distrito Nambija ubicado al Sur del Ecuador, particularmente a 20km al Este de Zamora en la Cordillera de Nanguipa; incluido dentro de la zona metalogénica Subandina comprende los depósitos de Nambija, Guaysimi, Sultana del Cóndor, Cambana y Fortuna;

El skarn mineralizado de los condominios de Nambija está en contacto con una monzodiorita porfídica y un pórfido de cuarzo- feldespato de composición granodiorita a cuarzomonzonita (PRODEMINCA, 2000).

El presente trabajo de fin de titulación tiene como objetivo general caracterizar los materiales de las muestras de (Pineda, Diego, 2015) y (Veintimilla J. , 2014) provenientes de Nambija mediante FRX. Debido a la carencia de información en la utilización de este método; se propone la FRX con el fin de ampliar el campo investigativo en esta área, siendo este un método que presenta ciertas ventajas: el análisis no es destructivo; es de bajo costo; determinación rápida; interpretación de resultados simple; permite determinaciones multielemento (PIZARRO & DÁVILA, 2009).

Para cuantificar la cantidad de óxidos presentes en los materiales se realizó un análisis minucioso de cada muestra; primero se hizo la preparación de muestras con el material que se tiene en stock; se hicieron 4 lecturas por muestra mediante el equipo FRX BRUCKER S1 TURBO <sup>SD</sup> utilizando el método mining elements .Una vez obtenidos los resultados en óxidos se determina los minerales que se presentan en las muestras de la zona, esto se lo hizo mediante diagramas quimiográficos (Cornelis & Hurlbut, 1997) que nos permitieron identificar algunas asociaciones minerales; sin embargo se podrían aplicar diagramas quimiográficos más completos. Finalmente se realizó un análisis estadístico mediante histogramas, diagramas de dispersión y matriz de correlación determinando el grado y tipo de correlación existente entre algunos óxidos.

## **OBJETIVOS**

### **General:**

- Caracterizar los materiales mediante FRX.

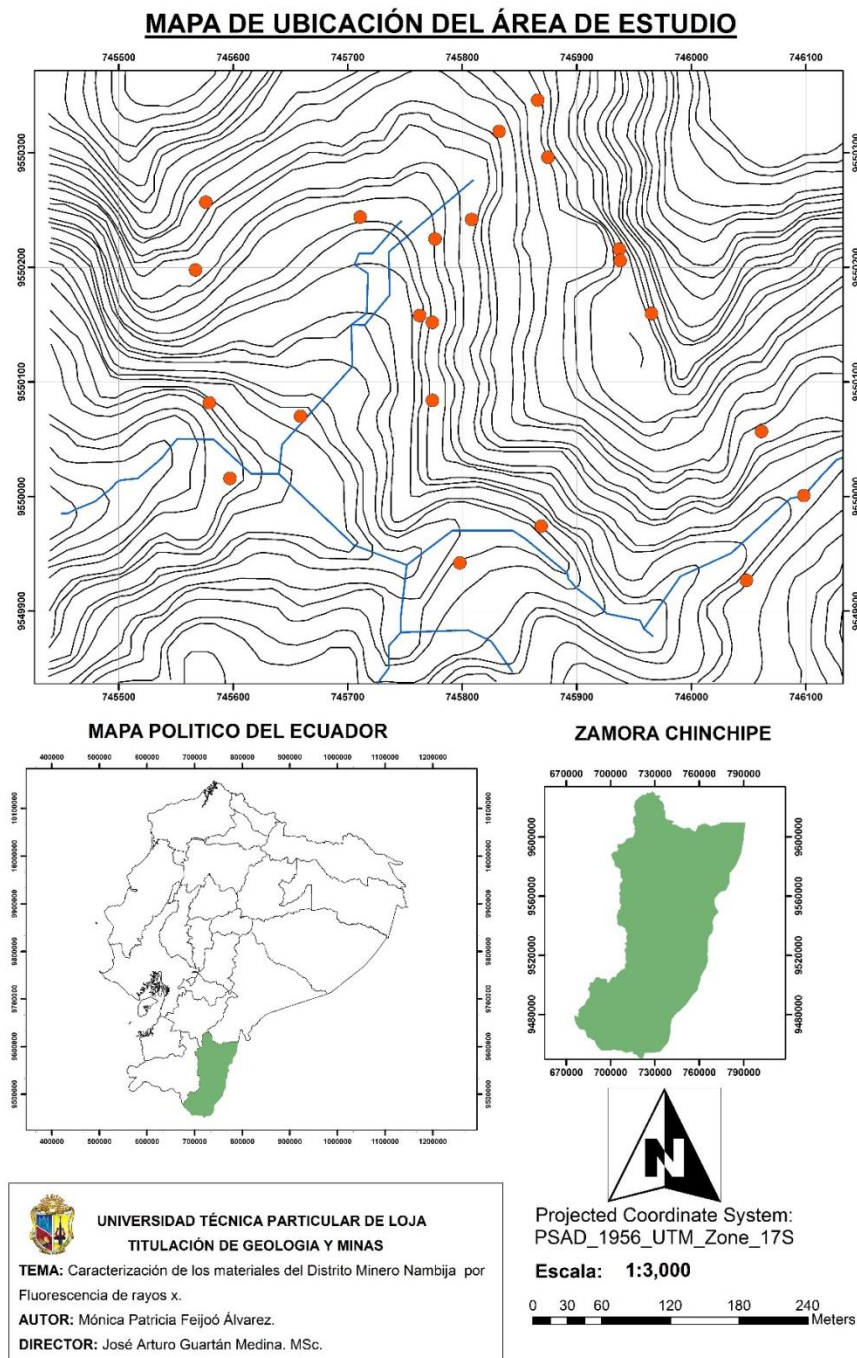
### **Específicos:**

- Cuantificar la cantidad de óxidos presentes en los materiales analizados.
- Determinar en base a los óxidos la relación con los minerales que se presentan en los materiales analizados.
- Realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos con el equipo de FRX.

**CAPITULO I**  
**CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS DE NAMBIJA**

## 1.1. Ubicación.

El distrito de Nambija con 68.7 hectáreas está localizado en la cordillera de Nanguipa en la Parroquia San Carlos de las minas en Zamora Chinchipe (**Gráfico 1.** ), se localiza a una altura de 2750 msnm. Comprende los depósitos minerales de Nambija, Guaysimi, Sultana del Cóndor, Cambana y Fortuna



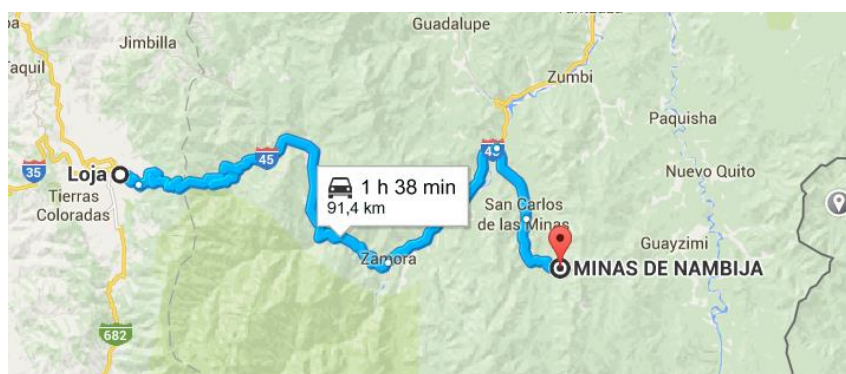
**Gráfico 1. Mapa de ubicación de Nambija.**  
Fuente: Fejoó, 2015.



Las montañas del sector están surcadas por numerosas galerías y cavernas donde miles de personas emplearon métodos tradicionales de extracción; donde la forma antitécnica de operar en el sector causó una masiva muerte al poblado sin embargo la población en la actualidad sigue alojada en el mismo sitio de trabajo.

## 1.2. Acceso.

Las Minas de Nambija están a una distancia de 92 km con respecto a la ciudad de Loja (Gráfico 2), de donde se avanza hasta la ciudad de Zamora por vía de primer orden continuando hasta el poblado de Namirez, de este lugar en un trayecto de vía de tercer orden se pasa por San Carlos de las Minas y se llega a Nambija.



**Gráfico 2. Mapa de acceso de Loja a Nambija.**  
Fuente: Tomado de Google Maps.

## 1.3. Topografía y Clima.

El relieve es muy accidentado, con altitudes que varían entre 1400 y 2400 msnm. El área se caracteriza por la presencia de numerosas fallas y cicatrices dejadas por los deslizamientos del terreno.

El sistema de drenaje de la región está conformado por los tributarios de la quebrada del Fierro. Las aguas de esta quebrada desembocan en los ríos Nambija, Zamora, Santiago, Maraón y Amazonas y finalmente en el Océano Atlántico.

El clima es tropical húmedo. La temperatura oscila entre 1°C en la noche y 20°C en el día, pero excepcionalmente puede alcanzar los 30°C. La región está frecuentemente cubierta de niebla y la precipitación sobrepasa los 3000 mm por año.

La vegetación es de tipo floresta pluvial ecuatorial por lo que es muy densa. Los afloramientos rocosos mejor expuestos se encuentran en los arroyos, que constituyen las mejores vías de acceso. (ACDI & INEMIN, 1987).

**CAPITULO II**  
**GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN**

## **2.1. Distrito Minero Zamora.**

El distrito minero de Zamora se encuentra al NE de la provincia de Zamora Chinchipe y SE de la provincia de Morona Santiago y comprende parte de la región morfoestructural de la Cordillera del Cóndor. La delimitación de la zona cubre básicamente las áreas del Batolito de Zamora hacia el Este de la falla de Canela; la forma del distrito es algo irregular siendo ampliamente determinada por la frontera con Perú y el límite Oeste del basamento Guyanese autóctono. (PRODEMINCA, DEPOSITOS PORFIDICOS Y EPI- MESOTERMALES RELACIONADOS CON INTRUSIONES DE LA CORDILLERA EL CONDOR VOL.5, 2000).

## **2.2. Geología Distrito Minero Nambija.**

El Campo de skarn de Nambija es un enclave de rocas volcano-sedimentarias e intrusivas hipoabisales dentro del Batolito de Zamora de edad jurásica, con dirección N-S y unos 50 km de largo y 15 km de ancho.

Los “stockworks” de pórfidos de cobre y los “skarns” de cobre relacionados son generales dentro del campo “skarn”, mientras que la mineralización de oro alojada en “skarn” esta principalmente confinada en el graben N-S definiendo el Cinturón de Nambija (5x30 km) situado entre los ríos de Zamora y Chumbiriatza.

En el extremo Sur del cinturón de Nambija la Unidad Piuntza está parcialmente sobre la Unidad Isimanchi de la Formación Macuma del Carbonífero. La Unidad Isimanchi presenta pizarras, filitas, y esquistos metamórficos en fase de esquistos verdes superiores – anfibolitas inferiores. En el extremo Norte del cinturón la secuencia está sobrepuesta por las volcanitas calco – alcalinas jurásicas Misahuallí. (Paladines, Zonificación Geotectónica y Metalogenia del Ecuador , 1989) Y al Norte está cubierta por la volcanitas Misahuallí de edad jurásica.

### **2.2.1. Relaciones Intrusivas.**

El Cinturón de Nambija está rodeado y subyacido por el Batolito de Zamora, de composición diorítica- granodiorita y edad Jurásica; el mismo que ha contribuido a la corneanización y skarnificación de las rocas de la Unidad Piuntza.

Las fallas regionales N-S subverticales que limitan el Cinturón de Nambija han sido el ambiente en el que se han emplazado los pórfidos mineralizados y otras intrusiones hipoabisales durante la reactivación extensional del graben en el Cretácico Medio-Terciario.

### **2.2.2. Skarn de Nambija.**

Dentro del cinturón de Nambija los skarns auríferos son explotados en las minas la Fortuna, Cambana, Campanillas, Nambija, Guaysimi Alto y Sultana del Cóndor.

El skarn como término general se refiere a las rocas calcosilicatadas pardo-rojizas y verdes que incluyen granates de la serie grosularia-andradita, piroxenos de la serie diópsido-hedenbergita y grupos de minerales de epidota.

Las rocas de skarn tienen estructura masiva, son de grano fino a medio, de color amarillo-verdoso, en ciertos casos con tonalidades ladrillo por la presencia de granates. Se localizan en la zona de contacto entre los volcánicos Piuntza con el Batolito de Zamora y pórfidos postbatolíticos del Jurásico Superior. (Paladines & Soto, 2010). El skarn mineralizado de los condominios de Nambija está en contacto con una monzodiorita porfídica y un pórfido de cuarzo- feldespato (composición granodiorita a cuarzomonzonita).

En el Cinturón de Nambija existen dos tipos de skarn:

- Skarns metamórficos o corneanas calco silicatadas, homogéneos o bandeados que son generalmente concordantes y tienen amplia extensión lateral.
- Skarns de mena, los cuales son más heterogéneos y complejos y están estrechamente relacionados con fallas, fracturas y contactos litológicos cizallados, pero comúnmente concordantes a una escala grande.

Estos dos tipos de skarn siguen contactos litológicos, donde el skarn metamórfico esta reemplazado parcial o totalmente por el skarn de mena (tipo skarnoide); donde los skarns metamórficos bandeados están preservados, muestran una zonación mineralógica de escala centimétrica (tipo betasomática) con capas tobáceas adyacentes.

### **2.3. Mineralogía del skarn.**

Al microscopio en las rocas de skarn se observan las siguientes asociaciones de minerales (Paladines M.1998)

- Piroxeno – granática
- Cuarzo-sulfuro-clorítica
- Cuarzo-carbonática

#### **a. Mineralogía de Mena.**

Pirita, calcopirita y localmente pirrotina con cantidades menores o trazas de galena, esfalerita, arsenopirita, bornita, magnetita, oro nativo y minerales de teluro que incluyen telurobismutinina (Bi), tetradymita (Bi), crenerita/calaverita (Au), altaita (Pb), hessita (Ag), petzita (Au, Ag) y coloradoita (Hg).

Minerales secundarios incluyen covelina, malaquita, hematita, goetita y pirolusita.

**b. Mineralogía de ganga.**

Cuarzo, granate (andradita, grosularita e hidrogrosularita, clinopiroxeno (salita), feldespato K (ortoclasa/microclina), sericita, epidota, clinozoisita, clorita, calcita, esfeno y prenita. Los clinopiroxenas y cloritas ricas en Mn.

**c. Mineralogía de Alteración.**

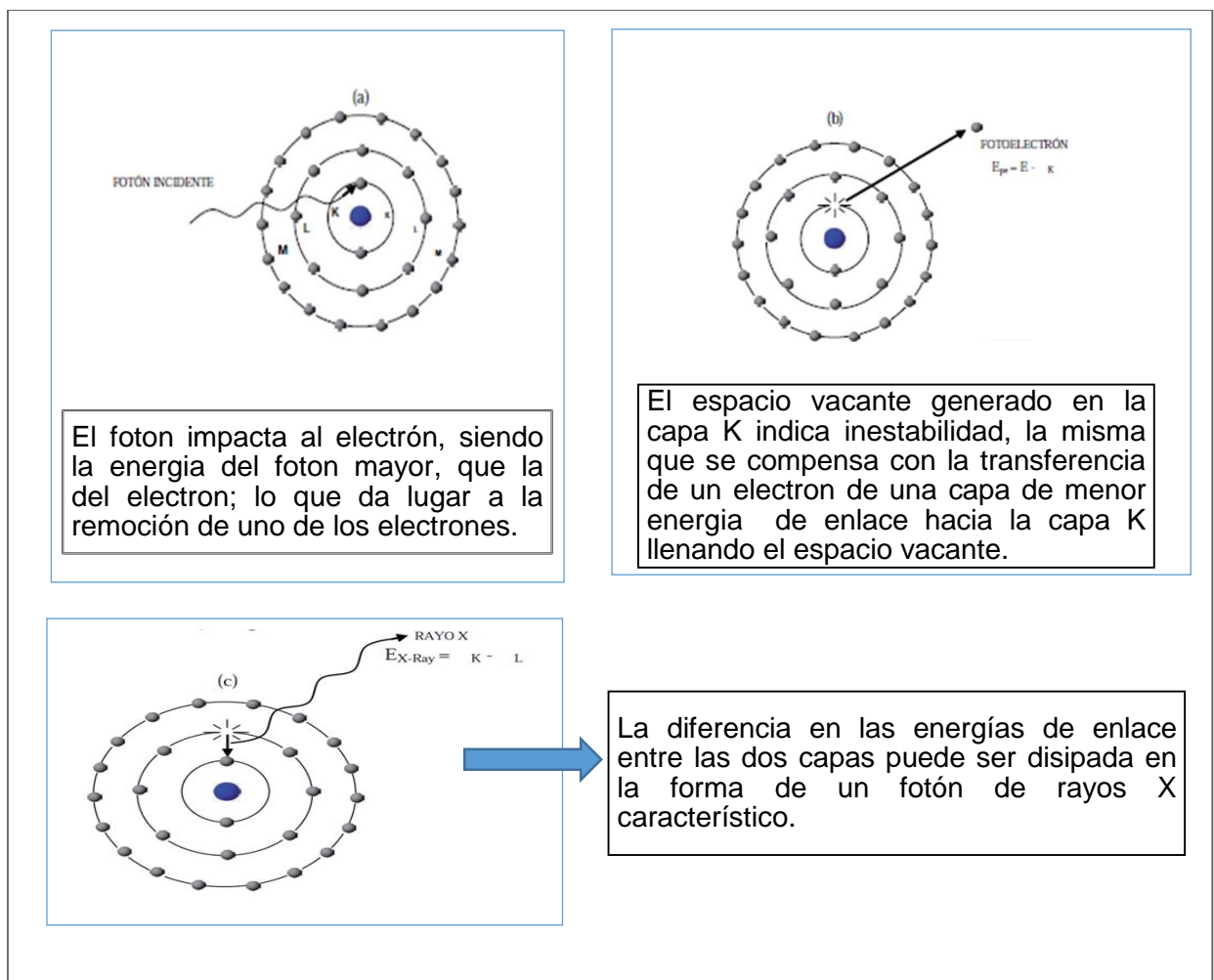
Alteración propilítica de los minerales ferromagnesianos de skarn asociado con metamorfismo post-pico (retrógrado) y la mineralización mesotermal leve de metales básicos. Los minerales principales incluyen grosularia anisotrópica, clorita, anfíbol, epidota- clinozoisita y carbonato.

Silicificación y alteración potásica (microclina) asociadas con la mineralización epitermal de cuarzo-oro (baja sulfuración) por senderos creados estructuralmente. Alteración filítica (sericita) más restringida a lo largo de los bordes de las vetas.

**CAPITULO III**  
**ASPECTOS TEÓRICOS**

### 3.1. FRX.

Es una técnica analítica instrumental no destructiva que mide la composición elemental de una sustancia generalmente solida al ser sometida a una radiación de Rayos-X. Los Rayos-X presentan gran energía que al momento de incidir sobre la muestra pueden ionizarla, lo que provoca la expulsión de los electrones de las capas más internas; estos iones son altamente inestables y esos espacios vacíos que quedan, son ocupados por los electrones de capas superiores esto va en secuencia (**Ilustración 1**). Estos saltos de electrones de un nivel de mayor a menor energía desprenden una radiación la cual es conocida como FRX. (Gutiérrez, J, & Ranz, 2010).



**Ilustración 1. Generación de rayos x.**

Fuente: (Litter, Armienta, & Farías, 2009).

#### 3.1.1Etapas de la FRX.

##### a. Excitación.

Si se considera un sistema en su estado fundamental, es decir de menor energía, al aplicarse una energía de una magnitud suficiente, esta puede ser absorbida por el sistema, pasando

este a un estado de mayor energía o estado excitado debido a la salida de electrones del átomo. A la excitación producida por Rayos-X que provienen del tubo de Rayos-X, se le llama radiación primaria o fotones de Rayos-X primarios. (Litter, Armienta, & Farías, 2009)

#### **b. Emisión.**

Los estados excitados son inestables, y el átomo tiende a volver a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones desde los niveles más externos hacia los niveles más internos, para ocupar los huecos producidos. Este proceso produce desprendimiento de energía en forma de radiación de Rayos-X secundaria llamada FRX. (Litter, Armienta, & Farías, 2009)

#### **3.1.2 Análisis cuantitativo y cualitativo.**

El análisis cualitativo se obtiene de la energía característica, o su longitud de onda, de la radiación de FRX emitida. El análisis cuantitativo se obtiene por conteo de los Rayos-X para una longitud de onda determinada; las intensidades de los Rayos-X son directamente proporcionales a la concentración del elemento, en cuanto más intensa es la emisión o fluorescencia en mayor cantidad se encuentra el elemento a cuantificar. (Gutiérrez, J, & Ranz, 2010)

Para la cuantificación elemental en una muestra se requieren de estándares; eso es, un determinado elemento en algún material en concentraciones conocidas. Los estándares se utilizan para hacer una comparación directa con la muestra a analizar. Esto se realiza mediante la comparación con una curva de calibración. (PIZARRO & DÁVILA, 2009).

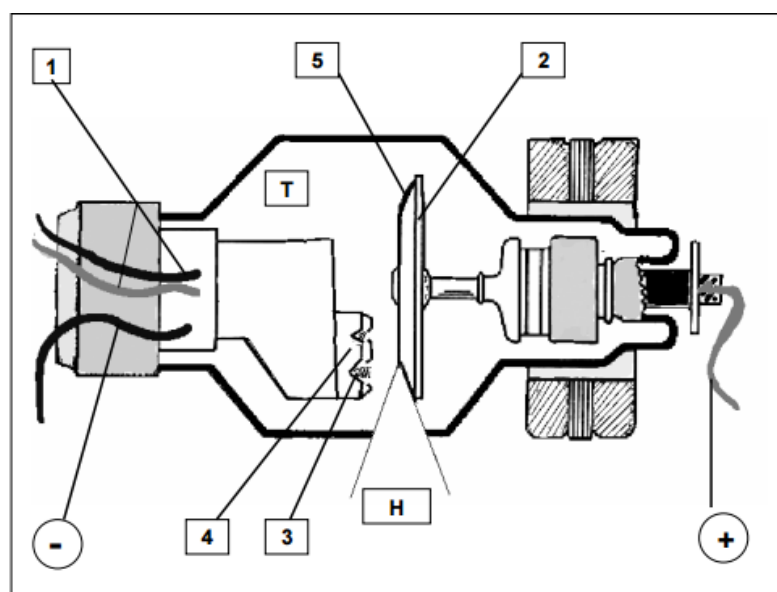
#### **3.1.3 Ventajas de la FRX.**

- El análisis no es destructivo, las muestras pueden ser analizadas las veces que se desee, con ciertas limitaciones existen ciertos materiales que pueden deteriorarse al ser sometidos a una larga irradiación con Rayos-X.
- Su campo de aplicación es para cualquier elemento de número atómico mayor que 4 (berilio).
- La determinación es rápida y a su vez lee varios elementos simultáneamente.
- Se pueden analizar muestras en estado sólido, líquido, gaseoso.
- Se pueden medir concentraciones desde mg/g hasta 100%; este equipo no detecta elementos que se presenten en menos de 100 ppm el equipo; puede ser portátil el cual me permite analizar muestras de grandes dimensiones.



### 3.1.4 Principio de funcionamiento del tubo de Rayos-X.

Es el lugar donde se generan los Rayos-X, su principio de funcionamiento se basa en acelerar los electrones mediante una elevada diferencia de potencial (KV), los mismos que chocan contra una plancha metálica (el ánodo), en donde son frenados liberando su energía cinética como fotones que constituyen la radiación ionizante utilizada en radiodiagnóstico. Este tubo consta de un filamento metálico (cátodo) que al ponerse incandescente, produce una nube de electrones a su alrededor (efecto termoiónico o Edison). (Alcaraz, 2009).



**Gráfico 3. Esquema del tubo de rayos x.**  
**1. Circuito de baja tensión; 2. Situación del ánodo;**  
**3. Filamento del cátodo; 4.Lado del cátodo; 5.Ánodo.**  
Fuente: Feijoo, 2015.

### 3.1.5 Descripción equipo FRX S1 TURBO <sup>SD</sup>.

La siguiente información, si no se indica lo contrario, fue tomada del manual de usuario del equipo:

El S1 TURBO <sup>SD</sup> es el predecesor del S1 Tracer, es el primer instrumento portátil de FRX en utilizar la tecnología de detector de deriva de silicio con el fin de mejorar la velocidad y la sensibilidad; se basa en la tecnología de dispersión de energía FRX y utiliza un tubo de Rayos-X como su fuente de excitación, ofrece una excelente resolución además de que los Rayos-X detectados son contados y cuantificados.

El turbo S1 mide de aluminio hasta aleaciones de titanio y magnesio; y silicio en aleaciones de aluminio. La precisión de medida se ha mejorado drásticamente en comparación con los dispositivos Bruker anteriores.

#### **a. Tubo de Rayos-X.**

Este equipo emplea un tubo de Rayos-X miniatura (menos de 15mm de diámetro y menos 75mm de largo) de 4 vatios; este opera con una aceleración de 10 a 40 KV y la corriente para el ánodo está en un rango de 0.05 a 60 micro amperios ( $\mu\text{m}$ ), el voltaje máximo en 60  $\mu\text{A}$  es de 15 KV, en algunos casos los rangos de voltaje del tubo de Rayos-X puede variar según las regulaciones locales.

El ánodo depende de la aplicación y puede contener material como rodio (Rh), renio (Re), o plata (Ag).

#### **b. Tipo de análisis.**

Dentro de la configuración del equipo S1 TURBO <sup>SD</sup> se pueden elegir diversos tipos de análisis entre ellos tenemos: El Universal, Modo Empírico, Modo Dual, Parámetros Fundamentales y Automático.

- **Universal (*Universal*).** Esta modalidad la usa el equipo por defecto, trayendo consigo los beneficios de la modalidad empírica y de parámetros fundamentales, método de detección automática y excitación dual de energía. En el primer segundo durante una medición, el analizador determina los mejores voltajes de excitación, corriente de ánodo, el filtro de rayo basado primordialmente en la matriz del elemento, y cambio del mismo automáticamente. En los siguientes 5 segundos el algoritmo determina si se debería realizar un segundo análisis con baja energía (modo dual). Comúnmente al final de los 10 a 15 segundos del ensayo la calibración apropiada es elegida y los resultados mostrados.
- **Modo Empírico (*Empirical*).** La función empírica calcula la concentración de elementos empíricamente basados en un recuento válido de datos. Si el material es generalmente conocido (así como una aleación metálica) el análisis empírico es capaz de identificar los resultados más rápidamente que la modalidad de parámetros fundamentales y frecuentemente los resultados analíticos reportados son más exactos.
- **Análisis Dual (*Dual*).** La función dual es una subconfiguración de la empírica y de la modalidad de parámetros fundamentales que mide muestras con dos energías de excitación diferentes. Solo se la puede usar en las calibraciones para mediciones de elementos livianos. Algunas aleaciones contienen elementos livianos críticos que las definen y que son difíciles de cuantificar con una fuente de 40 KV cuando se activa el tipo de análisis dual, el analizador bajara a 15 KV después de 5 segundos y continuara el análisis hasta que suelte el gatillo o termine la medición. El modo dual es una función

alternativa y puede ser seleccionada cuando el modo empírico o de parámetros fundamentales está activado.

- **Análisis por parámetros fundamentales (*fundamental parametres*).** Esta función analiza recuentos para cada elemento y calcula concentraciones. Esta modalidad debe ser seleccionada si la composición del material a analizarse es generalmente desconocida. Puede analizar la composición de un gran rango de materiales; pero los resultados toman más tiempo para mostrarse y por lo general no son tan exactos como los obtenidos con la modalidad de análisis empírico.
- **Automático (*auto*).** Esta modalidad cambia el tipo de análisis de modalidad empírica a parámetros fundamentales si el grado de identificación (del material) no se puede ser identificado en 10 segundos y/o si el material no está definido en las calibraciones empíricas.

### 3.2. Diagramas quimiográficos.

Los diagramas quimiográficos son usados en petrología metamórfica para representar minerales bajo condiciones compatibles. Estos diagramas utilizan las fracciones molares de tres componentes principales de las rocas, representados por los óxidos más comunes en las rocas que conforman los vértices del triángulo. Para representar una muestra en un diagrama triangular se toman solo los componentes que se necesitan en el triángulo, se suman estos componentes y para representarlos gráficamente se usa el valor del componente dividido para la suma anteriormente mencionada.

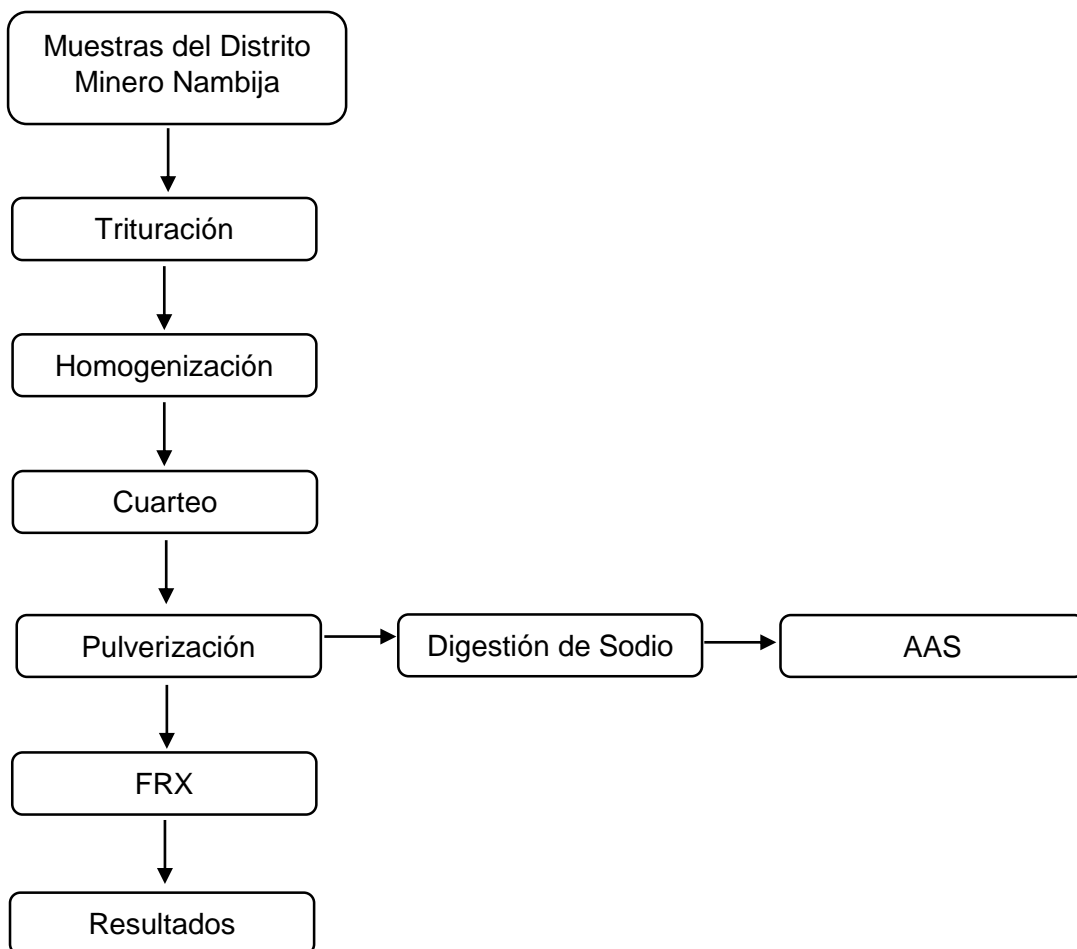
Según (Cornelis & Hurlbut, 1997), se pueden utilizar las fracciones molares de los óxidos siguientes  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ; para lo cual recomienda el autor (Nelson, 2011), sumar el manganeso al magnesio porque son elementos intercambiables que se pueden reemplazar, restar  $3.3 \text{ P}_2\text{O}_5$  del  $\text{CaO}$  para eliminar el error del apatito.

El  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  son los principales constituyentes del fluido metamórfico, el cual en la mayor parte de los casos se considera que ha estado presente y en equilibrio con los distintos minerales durante todo el proceso metamórfico, se los descarta para la construcción de los diagramas porque se considera que son componentes perfectamente móviles. (Cornelis & Hurlbut, 1997).

**CAPITULO IV**  
**METODOLOGÍA**

#### 4.1. Preparación de la muestra.

El análisis de 39 muestras se las realizo de la siguiente manera.



**Ilustración 2. Metodología usada en la investigación.**

Fuente: Feijoó, 2015.

##### 4.1.1. Trituración.

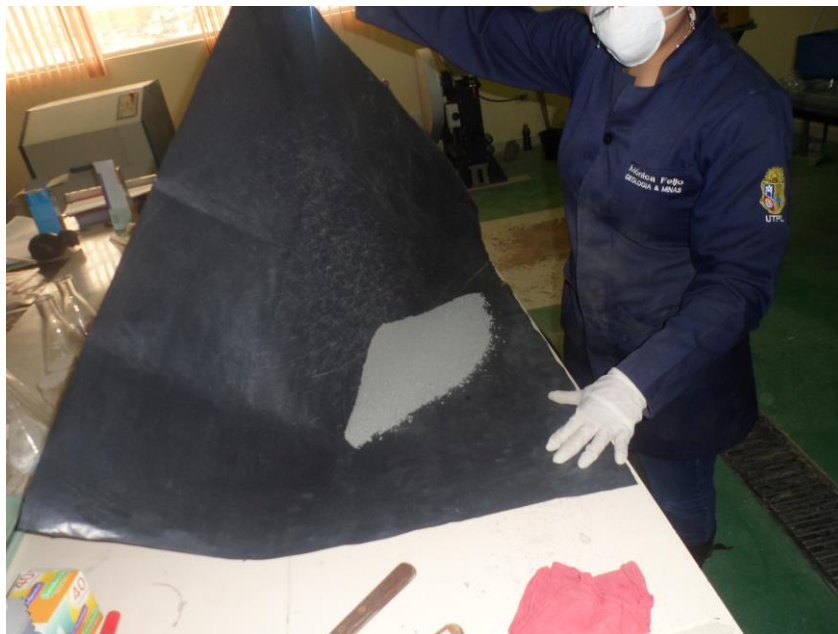
A las muestras (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35) se les realizó el proceso de chancado en la trituradora de mandíbulas (Figura 1); de tal forma que desintegra el material grueso en material con un tamaño de partícula adecuado.



**Figura 1. Trituradora de Mandíbulas Restch.**  
Fuente: Feijó, 2015.

#### 4.1.2. Homogenización.

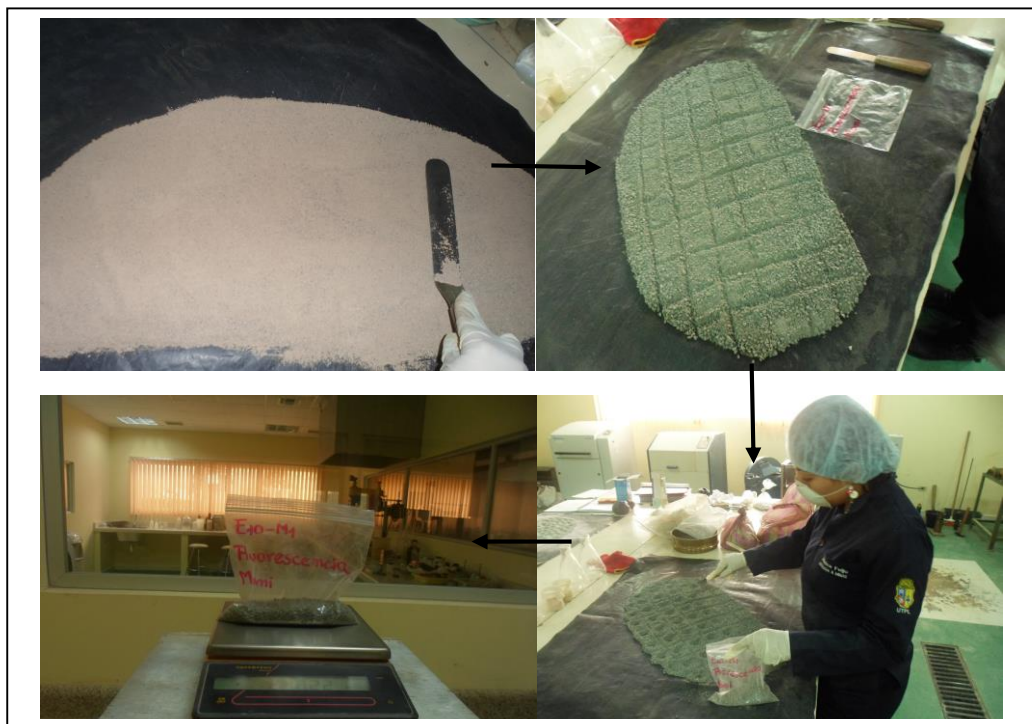
Colocado el material en un plástico (Figura 2), sujetando cada extremo del plástico se va mezclando el material con movimientos continuos sin dejar partes muertas, este proceso se lo realizo 30 veces por muestra y se lo conoce como método del roleo.



**Figura 2. Homogenización de la muestra.**  
Fuente: Feijó, 2015.

#### 4.1.3. Cuarteo.

Luego de la homogenización se procedió a aplanar la muestra con una espátula y se realizó una malla de la cual se tomó porciones del centro de cada división (Figura 3); hasta obtener un peso mínimo de 150 gr, con el fin de sacar una muestra representativa la misma que se almacena en fundas previamente etiquetadas.



**Figura 3. Cuarteo de la muestra.**

Fuente: Feijoó, 2015.

#### c. Pulverización.

La muestra cuarteada se ubica en el molino de discos vibratorios RS 200 (Figura 4); cuya función es la molienda ultra fina –rápida, reproducible y sin pérdida de materiales semiduros, duros, frágiles y fibrosos obteniendo granulometrías finales de grado analítico. Al alcanzar granulometrías muy finas en tiempos muy cortos de molienda, este equipo es especialmente apropiado para la preparación de muestras para análisis espectrales (Caslab); se programó al equipo en un tiempo de 5 min y una velocidad de 700 rpm.

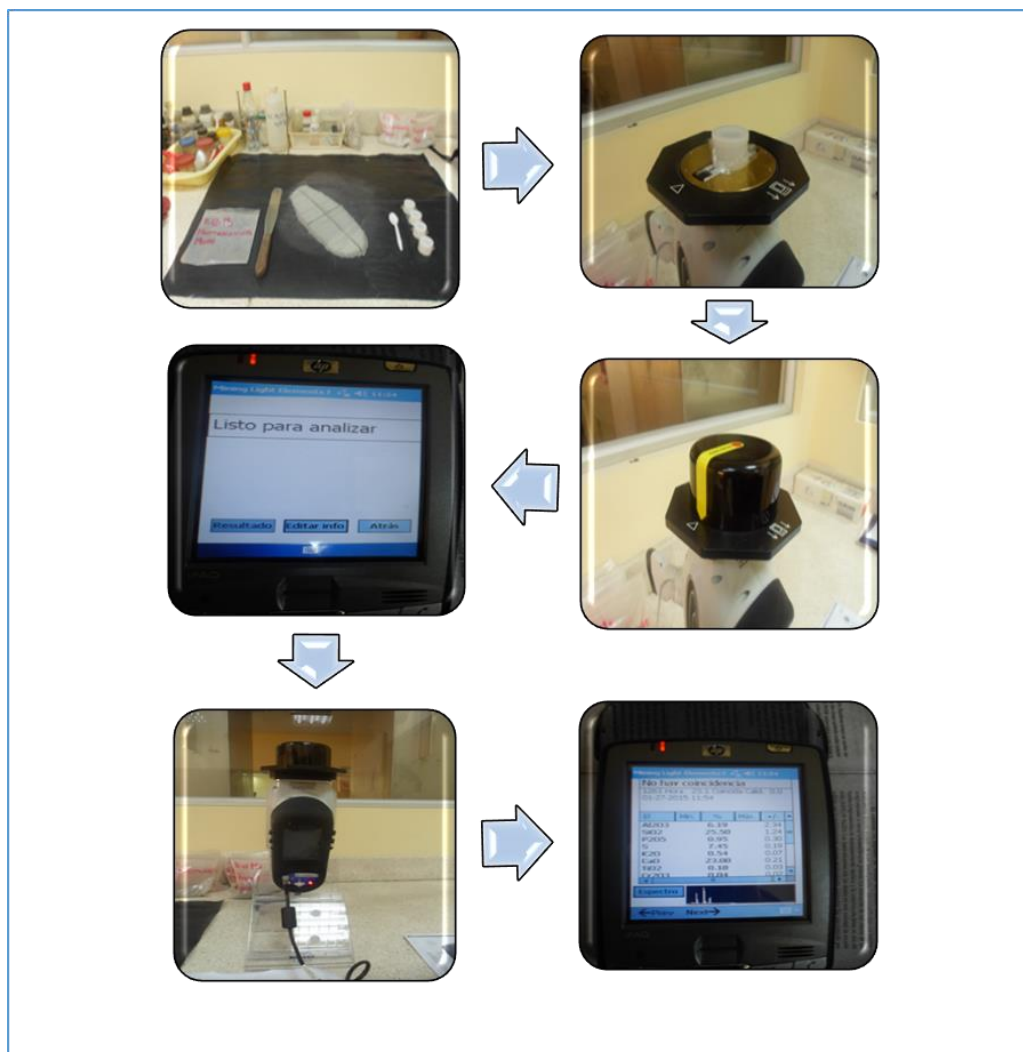


**Figura 4. Pulverización de la muestra. Equipo Retsch 200.**  
Fuente: Feijóo, 2015.

#### **4.1.4. Análisis de FRX.**

Todas las muestras previamente preparadas fueron sometidas al ensayo de análisis de fluorescencia, a estas muestras se realizó una homogenización y cuarteo, se toma una porción que será colocado en el recipiente para ser analizado (Figura 5); se configuró el equipo utilizando el tipo de análisis parámetros fundamentales (*fundamental parameters*) y con el método mining elements se procedió hacer el análisis respectivo, de cada muestra se hicieron 4 análisis obteniendo 188 resultados (Anexo 1).





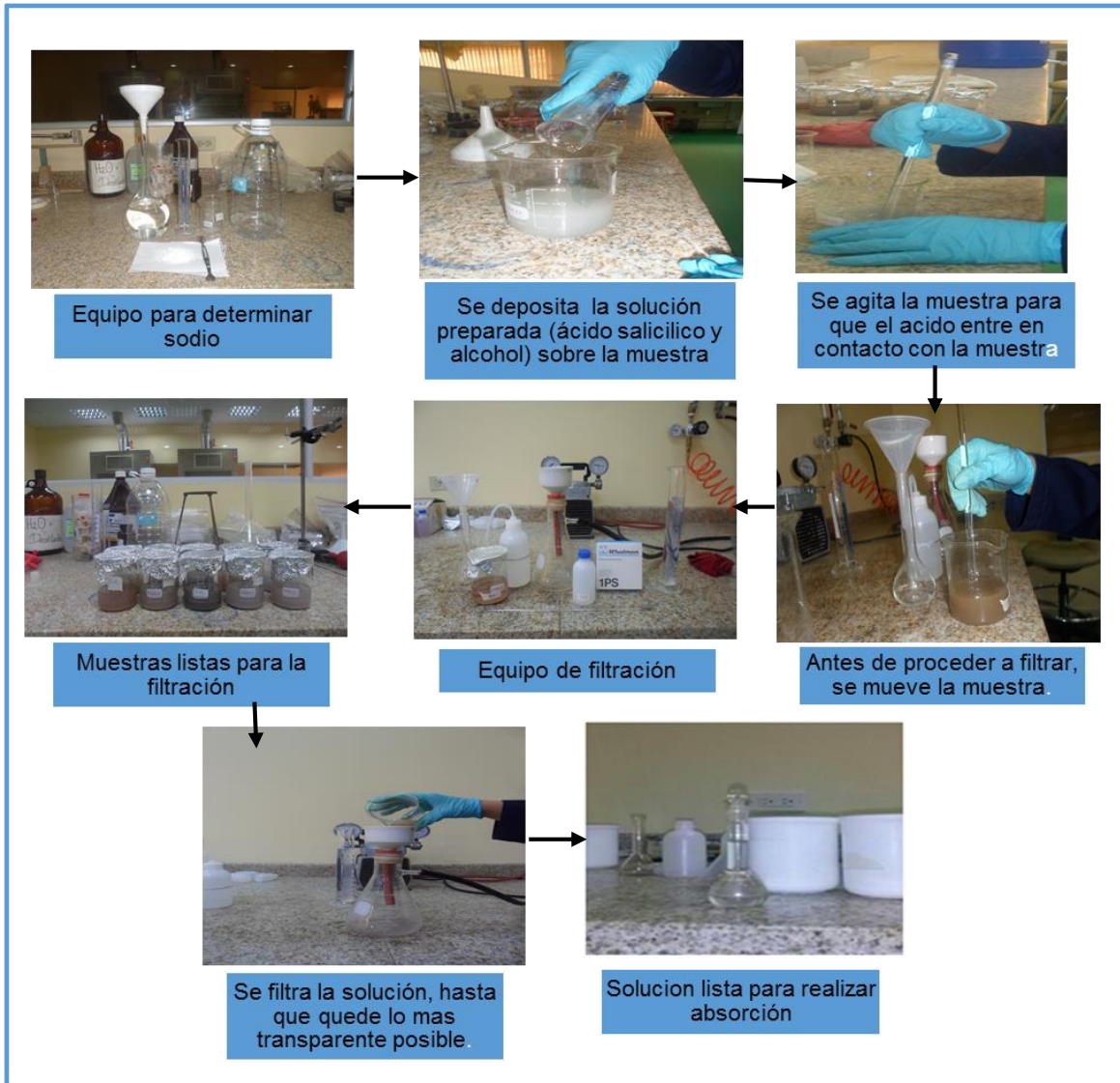
**Figura 5. Equipo de Fluorescencia Portátil BRUKER S1TURBO<sup>SD</sup>**  
Fuente: Feijoó, 2015.

#### 4.1.5. Determinación de Sodio.

El óxido de sodio se lo determino, basado en la técnica aplicada a la disolución de feldespatos plagioclasas en agua y ácidos orgánicos a temperatura ambiente (Huawc & KreNc, 1972).

##### a. Digestión de la muestra con ácido salicílico:

- El ácido salicílico viene dado en 1M = 138.12 gr para 1000 ml; como se necesitó el ácido a 0.1 M se hizo una relación que nos dio 1.3812 g de ácido para 100 ml.
- Pesar 1.5 gr de muestra en un vaso de precipitación.
- Pesar 1.3812 gr de ácido salicílico en la balanza de precisión de 4 decimales.
- Se afora un balón de 100 ml con alcohol y 1.3812 gr de ácido salicílico; esta cantidad es estándar para preparar todas las muestras.
- Se agita el balón de aforo con el fin de que el ácido se disuelva con el alcohol y no queden grumos.



**Figura 6. Proceso para determinar sodio.**

Fuente: Feijoó, 2015.

- La cantidad aforada en el balón de 100 ml es colocada sobre el vaso de precipitación que contiene el 1.5 gr de muestra.
- Mover la solución con una varilla de agitación, para que el ácido entre en contacto con la muestra.
- Tapar la solución con papel aluminio para evitar que se evapore el alcohol.
- Dejar reposar la solución por 24 horas, en el transcurso de ese tiempo se la mueve por lo menos tres veces.
- Filtrar la solución; utilizando los materiales correspondientes (kitasato, embudo, papel filtro, bomba de vacío, agua destilada).
- Se humedece el papel filtro en agua destilada, se lo dobla en cuatro partes con el fin de que se haga más fácil colocarlo en la parte superior del embudo, se conecta la manguera de vacío en el kitasato y se la abre posteriormente; se vierte la solución

poco a poco sobre el embudo el mismo que va filtrando la solución y las partículas de la muestra se van quedando en el papel filtro, se realiza este proceso hasta que la solución quede lo más transparente posible sin residuos de muestra.

- Aforar la solución obtenida en un balón de 100 ml utilizando agua destilada.
- La solución aforada se la coloco en un recipiente plástico, para llevarla hacer el análisis de absorción.
- Este procedimiento se lo aplico a las 39 muestras.

**b. Digestión de la muestra con ácidos: fluorhídrico (48%), clorhídrico (6M), nítrico concentrado, perclórico (72%).**

- Se utilizó el peso de 0.1 gr de las muestras AF2, E1M1; y se las coloco en el teflón.
- Sucesivamente sobre el teflón, se puso 2 ml de ácido nítrico, 2 ml de ácido perclórico, 15 ml de fluorhídrico.
- Se calentó en una plancha caliente a una temperatura moderada, la solución hasta que los componentes se evaporaron y la muestra se secó, seguidamente se añadió 2 ml de ácido clorhídrico, se calienta lentamente para solubilizar el residuo.
- Se transfiere la solución a un frasco volumétrico.



**Figura 7. Digestión de la muestra con ácido fluorhídrico, Clorhídrico, nítrico concentrado y perclórico.**

Fuente: Feijoó, 2015.

**4.1.6. Absorción atómica (AAS).**

La espectrofotometría de AAS consiste en la atomización de una muestra líquida en una llama de aire-acetileno. En estas condiciones, una lámpara de cátodo hueco emite un rayo luminoso a través de dicha llama, produciéndose absorción de luz por parte de la muestra, proporcional a su concentración. Este método está relativamente libre de interferencias espectrales o de

radiación. Es comúnmente utilizado para bajas concentraciones (Universidad Nacional de San Juan, s.f.). Se realizó la lectura de las muestras digeridas en el Laboratorio de Química en el equipo de AAS (Perkin Elmer Analyst 400 precisely. Modelo AA400) (Figura 8); con el fin de determinar la concentración del elemento en nuestro caso el óxido de sodio.

**a. Procedimiento.**

- Se abre el programa que viene en el equipo WinLab32 AAFlame-Flame Control.
- Se utilizó la lámpara para determinar sodio.
- Se prepara los estándares que nos permiten calibrar el equipo de absorción, en nuestro caso estándares a concentraciones de 1, 2.5 y 5 ppm (Ver Anexo 6).
- El programa va graficando curvas de calibración respecto a las concentraciones con su respectiva absorbancia presentando una línea recta, lo que nos indica que el equipo está listo para usarse.
- Seguidamente se procedió a colocar una a una las muestras y las lecturas de las concentraciones del elemento se van guardando en la memoria del programa AAFlame-Flame Control.



**Figura 8. Espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer Analyst 400.**

Fuente: Feijoó, 2015.

**4.1.7. Determinación del Na<sub>2</sub>O.**

- Las muestras digeridas utilizando el ácido salicílico nos dio un valor de 39 lecturas; utilizando los ácidos: fluorhídrico (48%), clorhídrico (6M), nítrico concentrado, perclórico (72%) se obtuvieron 2 lecturas.

- Estas lecturas nos vienen dadas en catión del elemento (Na), las transformamos en óxido de sodio, ver cálculos. (Anexo 7).

#### **a. Factor de corrección para el Na<sub>2</sub>O.**

- Debido a que existen valores muy bajos en las lecturas de las muestras en las que se usó el ácido salicílico, se realizó un factor de corrección con la finalidad de aumentar el valor del Na<sub>2</sub>O.
- Se utilizaron 2 valores de las lecturas dadas en AAS, ya transformadas a Na<sub>2</sub>O correspondientes a E1M1 Y AF2 de las muestras digeridas: con ácido fluorhídrico (48%), clorhídrico (6M), nítrico concentrado, perclórico (72%) y con ácido salicílico.
- Se calculó 2 factores de corrección ver cálculos (Anexo 7) uno para las muestras de (Pineda, Diego, 2015) que van desde E1M1 hasta E12M3 y otro para las muestras AF1, AF5, AF7 y AF12 de (Veintimilla J. E., 2014).
- Los valores corregidos nos indican que si hubo un aumento en el valor de Na<sub>2</sub>O. (Ver Ilustración A7-1).

#### **4.1.8. Tratamiento estadístico de datos.**

Con los resultados obtenidos de FRX, se procedió a la interpretación de los mismos utilizando: diagramas quimiográficos, hoja de cálculo de Excel, Análisis Estadístico.

##### **a. Diagramas Quimiográficos.**

Los diagramas composicionales representan gráficamente composiciones, tanto de minerales individuales como de rocas, y lo suelen hacer en términos de fracciones molares de una serie de componentes (Gomez, 2006).

- Para la construcción de estos diagramas se utilizó el software PetroGraph 2 beta (Petrelli, 2005) (Ver Anexo 5).
- Se usan como variables las concentraciones de los diferentes componentes, las demás variables que definen los minerales que forman la asociación de equilibrio; como, la presión y temperatura deben mantenerse constantes
- Los valores de las concentraciones se ingresan en óxidos el software los transforma a fracciones molares se hizo la comprobación (Ver Anexo 5).

##### **b. Hoja de cálculo de Excel.**

Se ingresó en la hoja de cálculo los valores obtenidos de la FRX (Anexo 2), en las celdas correspondientes a: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, una vez

insertados los valores en las celdas, aparece una lista de minerales que corresponden a esos valores dados. (Tabla 3).

**c. Análisis Estadístico.**

Con la base de datos (Anexo 2), se hizo la construcción de histogramas, diagramas de dispersión y matriz de correlación, para ver que distribución presentan los óxidos y que tipo de relación existe entre ellos y que posibles minerales formaría dicha relación.

**CAPITULO V**  
**RESULTADOS E INTERPRETACIÓN**



## 5.1. Interpretación de los resultados de Fluorescencia de Rayos-X.

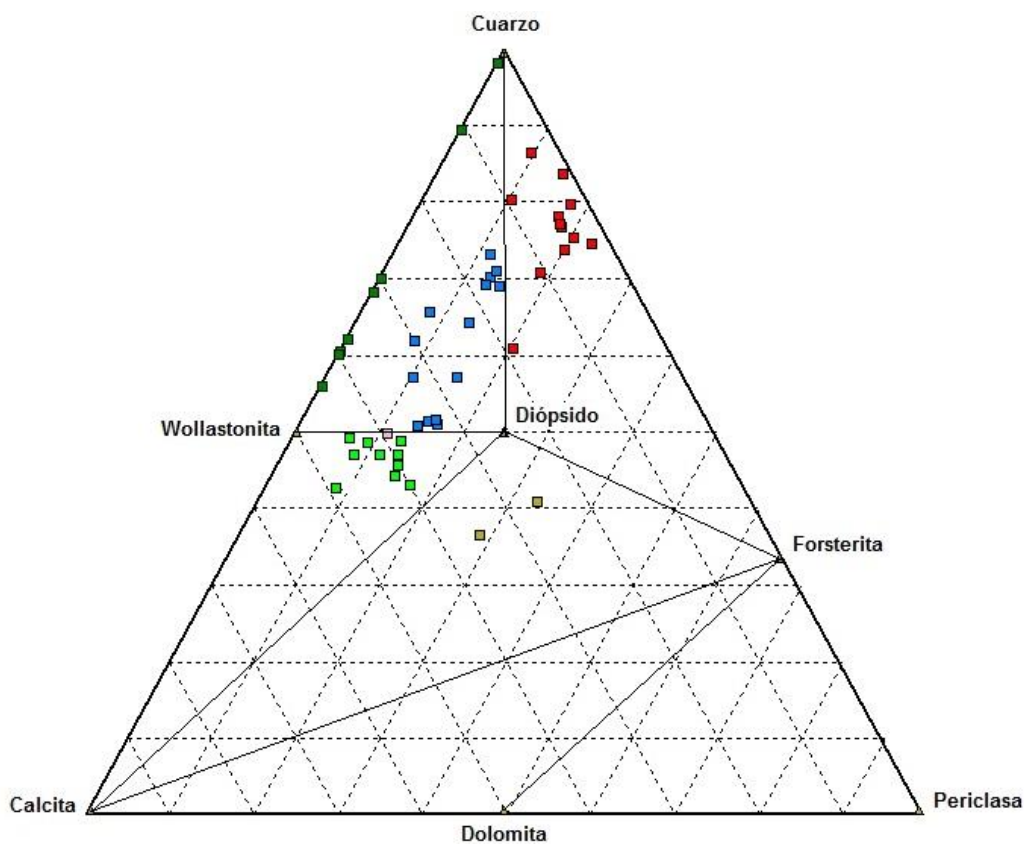
Con el equipo de Fluorescencia de Rayos-X S1 TURBO<sup>SD</sup>, de cada muestra analizada, se obtuvo 15 óxidos y un elemento (MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, TiO<sub>2</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, ZnO, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, S); con estos valores se realizó diagramas quimiográficos que nos permitieron identificar los minerales que coexisten en una roca metamórfica (skarn).

Se utilizó el criterio geológico de compatibilidad de minerales para que no existan asociaciones incompatibles.

### 5.1.1. Interpretación de diagramas quimiográficos.

La construcción de los diagramas quimiográficos se los fundamento considerando los diagramas ya realizados de metamorfismo medio y alto (Cornelis & Hurlbut, 1997) y se complementó la construcción de los mismos utilizando como criterio la mineralogía ya realizada de las muestras del sector. (Pineda, Diego, 2015).

Para el diagrama (CaO, SiO y MgO) de metamorfismo alto (Gráfico 4); se hicieron constar todas las muestras.

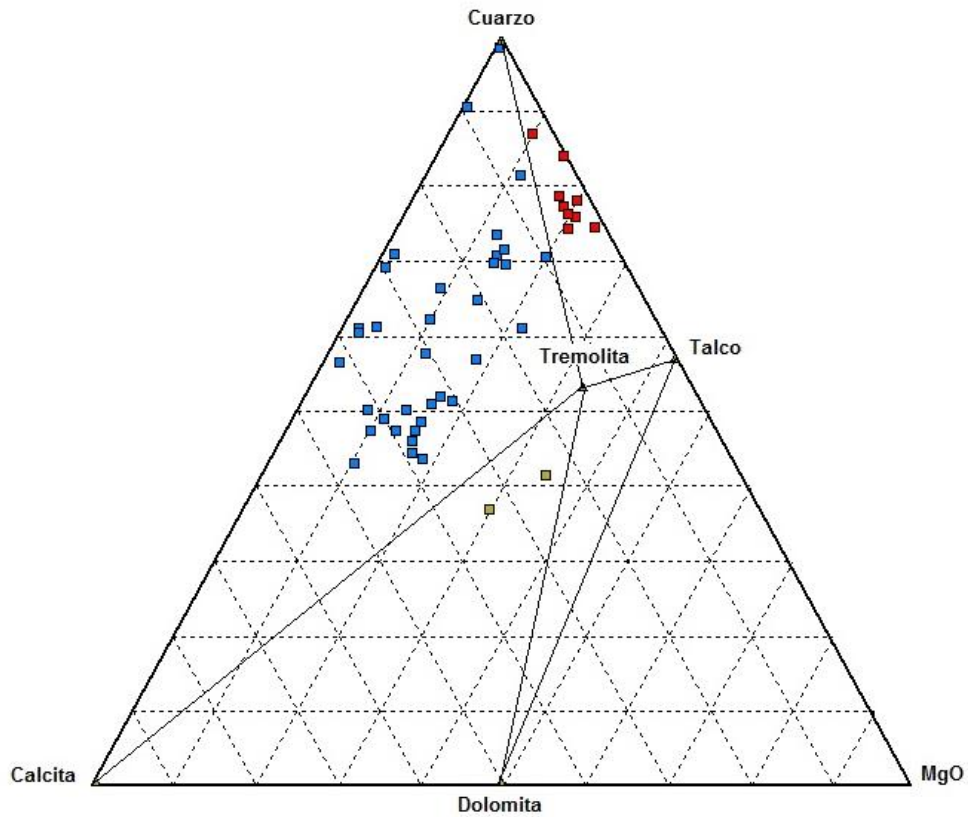


**Gráfico 4. Diagrama quimiográfico para metamorfismo alto.**

Fuente: Feijóo, 2015.



En el segundo diagrama (CaO, SiO y MgO) de metamorfismo bajo (Grafico 5); se hicieron constar todas las muestras.



**Gráfico 5. Diagrama quimiográfico para metamorfismo bajo.**  
Fuente: Feijóo, 2015.

Para la construcción de los (Gráficos 4 y 5) en el software PetroGraph; se obtuvo una tabla que nos indica la composición de CaO, MgO y SiO<sub>2</sub> en % de cada muestra. (Ver Tabla 1).

**Tabla 1. Composición de las muestras según su % en SiO<sub>2</sub> (A), CaO (B), MgO (C).**

Sample	Diagrama metamorfismo bajo			Diagrama metamorfismo alto			
	A%	B%	C%	Sample	A%	B%	C%
E1M1	71.008	15.069	13.923	E1M1	71.008	15.069	13.923
E1M2	47.480	42.391	10.129	E1M2	47.480	42.391	10.129
E1M3	66.630	24.263	9.107	E1M3	66.630	24.263	9.107
E2M1	51.072	33.150	15.779	E2M1	51.072	33.150	15.779
E2M2	44.451	38.804	16.745	E2M2	44.451	38.804	16.745
E3M1	57.731	30.508	11.761	E3M1	57.731	30.508	11.761
E3M2	48.931	39.946	11.122	E3M2	48.931	39.946	11.122
E3M3	62.401	27.625	9.975	E3M3	62.401	27.625	9.975
E4M1	47.362	36.946	15.692	E4M1	47.362	36.946	15.692
E4M2	50.160	36.689	13.150	E4M2	50.160	36.689	13.150
E5M1	43.013	46.585	10.403	E5M1	43.013	46.585	10.403
E5M2	50.170	41.502	8.328	E5M2	50.170	41.502	8.328
E5M3	47.413	39.343	13.244	E5M3	47.413	39.343	13.244
E6M1	78.938	3.358	17.704	E6M1	78.938	3.358	17.704
E6M2	76.123	2.760	21.117	E6M2	76.123	2.760	21.117
E6M3	77.521	3.564	18.915	E6M3	77.521	3.564	18.915
E7M1	69.513	29.487	1.000	E7M1	69.513	29.487	1.000
E7M2	61.267	36.973	1.760	E7M2	61.267	36.973	1.760
E7M3(1)	51.394	30.328	18.278	E7M3(1)	51.394	30.328	18.278
E7M3(2)	60.574	37.253	2.173	E7M3(2)	60.574	37.253	2.173
E8M1	70.083	15.912	14.005	E8M1	70.083	15.912	14.005
E8M2	91.095	8.714	0.191	E8M2	91.095	8.714	0.191
E8M3	87.463	2.460	10.077	E8M3	87.463	2.460	10.077
E9M1	73.761	13.673	12.566	E9M1	73.761	13.673	12.566
E9M2	57.094	24.577	18.329	E9M2	57.094	24.577	18.329
E9M3	71.748	13.730	14.522	E9M3	71.748	13.730	14.522
E10M1	74.576	4.602	20.822	E10M1	74.576	4.602	20.822
E10M2	61.109	16.906	21.986	E10M2	61.109	16.906	21.986
E10M3	56.517	41.663	1.820	E10M3	56.517	41.663	1.820
E11M1	65.098	20.465	14.437	E11M1	65.098	20.465	14.437
E11M2	71.180	27.637	1.183	E11M2	71.180	27.637	1.183
E11M3	52.032	31.523	16.445	E11M3	52.032	31.523	16.445
E12M1	69.813	14.661	15.526	E12M1	69.813	14.661	15.526
E12M2	41.362	23.969	34.670	E12M2	41.362	23.969	34.670
E12M3	36.834	33.036	30.130	E12M3	36.834	33.036	30.130
Af1	81.778	6.777	11.445	Af1	81.778	6.777	11.445
AF2	84.332	0.128	15.540	AF2	84.332	0.128	15.540
Af3	61.381	34.736	3.883	Af3	61.381	34.736	3.883
Af5	70.819	9.171	20.009	Af5	70.819	9.171	20.009
Af6	78.430	1.504	20.066	Af6	78.430	1.504	20.066
Af7	46.061	37.990	15.948	Af7	46.061	37.990	15.948
Af9	74.732	1.231	24.037	Af9	74.732	1.231	24.037
Af10	48.687	35.546	15.767	Af10	48.687	35.546	15.767
Af11	76.597	3.541	19.862	Af11	76.597	3.541	19.862
Af12	51.444	30.296	18.260	Af12	51.444	30.296	18.260
Af15,16,17	43.511	37.979	18.510	Af15,16,17	43.511	37.979	18.510
Af26	98.996	0.721	0.283	Af26	98.996	0.721	0.283
Calcita	0.000	100.000	0.000	Diópsido	50.002	25.003	24.994
Cuarzo	100.000	0.000	0.000	Wolastonita	49.978	50.022	0.000
dolomita	0.000	49.998	50.002	Calcita	0.000	100.000	0.000
tremolita	53.333	13.336	33.331	forsterita	33.342	0.000	66.658
talco	57.149	0.000	42.851	Cuarzo	100.000	0.000	0.000

Fuente: Feijó, 2015.

Se realizó la interpretación de los dos diagramas (Gráficos 4 y 5) obteniendo los siguientes resultados (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de diagramas elaborados con el software PetroGraph 2beta.

Muestra			
E1 M1	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita	E9M2	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita
	Fig. 5. Diópsido>Cuarzo		Fig. 5. Diópsido>Wollastonita>Cuarzo
E1 M2	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo	E9M3	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita
	Fig. 5. Wollastonita>Diópsido > Calcita		Fig. 5. Diópsido>Cuarzo
E1 M3	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita	E10M1	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Talco
	Fig. 5. Diópsido>Wollastonita>Cuarzo		Fig. 5. Cuarzo>Diópsido>Forsterita
E2 M1	Fig. 4. Tremolita> Cuarzo>Calcita	E10M2	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita
	Fig. 5. Diópsido>Wollastonita		Fig. 5. Diópsido>Cuarzo >Forsterita
E2 M2	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo	E10M3	Fig. 4. Cuarzo>Calcita>Tremolita
	Fig. 5. Diópsido>Wollastonita>Cuarzo		Fig. 5. Wollastonita>Diópsido>Cuarzo
E3 M1	Fig. 4. Tremolita >Cuarzo>Calcita	E11M1	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita
	Fig. 5. Diópsido>Wollastonita>Cuarzo		Fig. 5. Diópsido>Wollastonita>Cuarzo
E3 M2	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo	E11M2	Fig. 4. Cuarzo>Calcita>Tremolita
	Fig. 5. Wollastonita>Diópsido>Calcita		Fig. 5. Wollastonita>Cuarzo
E3 M3	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita	E11M3	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita
	Fig. 5. Diópsido >Wollastonita> Cuarzo		Fig. 5. Diópsido>Wollastonita
E4 M1	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo	E12M1	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita
	Fig. 5. Diópsido>Wollastonita>Calcita		Fig. 5. Diópsido>Cuarzo
E4 M2	Fig. 4. Tremolita>Calcita= Cuarzo	E12M2	Fig. 4. Tremolita>Dolomita>Calcita
	Fig. 5. Wollastonita>Diópsido		Fig. 5. Diópsido>Forsterita>Calcita
E5 M1	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo	E12M3	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo
	Fig. 5. Wollastonita>Diópsido>Calcita		Fig. 5. Diópsido>Forsterita>Calcita
E5 M2	Fig. 4. Tremolita>Calcita= Cuarzo	Af1	Fig. 4. Cuarzo>Tremolita>Calcita
	Fig. 5. Wollastonita>Diópsido		Fig. 5. Cuarzo>Diópsido>Forsterita
E5 M3	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo	Af 2	Fig. 4. Cuarzo >Talco
	Fig. 5. Wollastonita>Diópsido>Calcita		Fig. 5. Cuarzo >Forsterita
E6 M1	Fig. 4. Cuarzo>Tremolita>Talco	Af3	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita
	Fig. 5. Cuarzo>Diópsido>Forsterita		Fig. 5. Wollastonita>Diópsido>Cuarzo
E6 M2	Fig. 4. Cuarzo>Talco>Tremolita	Af5	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita
	Fig. 5. Cuarzo>Diópsido>Forsterita		Fig. 5. Diópsido>Cuarzo>Forsterita
E6 M3	Fig. 4. Cuarzo>Tremolita>Talco	Af6	Fig. 4. Cuarzo>Talco>Tremolita
	Fig. 5. Cuarzo>Diópsido>Forsterita		Fig. 5. Cuarzo>Forsterita
E7 M1	Fig. 4. Cuarzo>Calcita>Tremolita	Af7	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo
	Fig. 5. Wollastonita>Cuarzo		Fig. 5. Diópsido>Wollastonita>Calcita
E7 M2	Fig. 4. Cuarzo>Calcita>Tremolita	Af 9	Fig. 4. Talco>Cuarzo>Tremolita
	Fig. 5. Wollastonita>Diópsido>Cuarzo		Fig. 5. Cuarzo>Forsterita>Diópsido
E7M3(1)	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita	Af10	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo
	Fig. 5. Diópsido>Wollastonita		Fig. 5. Diópsido>Wollastonita>Calcita
E7M3(2)	Fig. 4. Cuarzo>Calcita>Tremolita	Af11	Fig. 4. Cuarzo>Tremolita>Talco
	Fig. 5. Wollastonita>Diópsido>Cuarzo		Fig. 5. Cuarzo>Diópsido>Forsterita
E8 M1	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita	Af12	Fig. 4. Tremolita>Cuarzo>Calcita
	Fig. 5. Diópsido>Cuarzo		Fig. 5. Diópsido>Wollastonita
E8 M2	Fig. 4. Cuarzo>Calcita>Tremolita	Af15, 16, 17	Fig. 4. Tremolita>Calcita>Cuarzo
	Fig. 5. Cuarzo>Diópsido>Forsterita		Fig. 5. Diópsido>Wollastonita>Calcita
E8 M3	Fig. 4. Cuarzo>Tremolita>Talco	Af26	Fig. 4. Cuarzo>Tremolita>Calcita
	Fig. 5. Cuarzo>Diópsido>Forsterita		Fig. 5. Cuarzo>Wollastonita
E9 M1	Fig. 4. Cuarzo>Tremolita>Calcita		
	Fig. 5. Diópsido>cuarzo		

Fuente: Feijó, 2015.

Para comprobar los minerales producto del software PetroGraph versión 2beta, se usó una hoja de cálculo de Microsoft Excel, diseñada por (Schott, 2001) el mismo que se basó en (Cox, Bell, & Pankhurts, 1979); de la misma se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3. Resultados en base a la hoja de cálculo de Excel.**

Muestras	Quarzo	Ortoclasa	Plagioclasa	Diópsido	Hiperstene	Olivino	Nefelina	Leucita	Magnetita	Ilmenita	Apatito	otros
E1M1	6.44	16.33	46.73	10.6	11.36	0	0	0	0.04	1.23	1.96	5.32
E1M2	0	-0.3	12.53	105.66	0	-26.91	0	0.7	4.31	0.52	3.4	16.97
E1M3	2.99	24.37	18.96	55.1	-15.06	0	1.8	0	1.43	1.01	2.83	5.08
E2M1	0	-11.41	15.78	83.88	0	-13.94	2.24	26.84	3.31	0.86	2.86	5.02
E2M2	0	-2.71	15.76	99.78	0	-18.6	1.86	6.36	4.62	0.81	3.29	10.56
E3M1	0	-16.65	14.43	71	0	-13.96	2.04	39.17	2.22	0.88	2.6	7.24
E3M2	0	-5.59	14.63	100.56	0	-24.33	2.13	13.16	4.67	0.62	3.19	9.86
E3M3	14.18	2.01	16.1	71.51	-22.16	0	0	0	4.93	0.42	3.04	10
E4M1	0	-0.21	65.06	18.47	0	2.23	1.59	0.5	3.37	0.4	2.2	11.3
E4M2	0	-3.4	14.08	95.9	0	-20.84	2.29	8	5.09	1	3.83	7.86
E5M1	0	-0.29	23.64	106.13	0	-27.11	1.4	0.69	4.58	0.49	3.63	13.64
E5M2	0	-4.01	22.46	92.28	0	-24.14	1.6	9.42	3.14	0.69	4.43	11.67
E5M3	0	-1.99	17.45	100.49	0	-21.89	2.22	4.68	3.55	1.16	3.61	9.46
E6M1	16.05	24.41	18.67	0	19.88	0	0	0	0	0.48	1.11	19.4
E6M2	13.22	25.19	15.19	0	23.72	0	0	0	0	0.55	1.21	20.92
E6M3	18.61	19.31	18.78	0	21.7	0	0	0	0	0.53	1.17	19.91
E7M1									1.61	0.55	2.65	
E7M2									3.17	0.6	2.88	
E7M3(1)	0	-3.23	19.56	67.66	0	-7.45	1.72	7.6	3.95	0.76	3	13.74
ETM3(2)									4.43	0.84	3.29	
E8M1	8.06	20.57	27.12	23.67	4.66	0	0	0	0.61	1.33	2.13	11.86
E8M2										0.38	2.12	
E8M3	30.22	30.5	14.44	0	12.28	0	0	0	0	0.38	1.2	10.97
E9M1	11.13	23.47	25.56	18.33	5.15	0	0	0	1.07	0.97	1.74	12.6
E9M2	0	-8.27	17.16	52.24	0	-3.5	1.32	19.46	6.35	0.78	2.97	10.65
E9M3	12.35	17.07	36.46	13.19	11.03	0	0	0	0.96	1.27	2.02	5.67
E10M1	13.18	19.49	19.55	0	22.45	0	0	0	0	0.7	1.35	23.28
E10M2	0	23.61	20.48	34.2	1.47	6.7	0	0	3.11	0.67	2.04	7.73
E10M3									3.9	0.59	3.21	
E11M1	6.27	12.51	27.17	36.48	-0.45	0	0	0	1	1.01	2.2	13.83
E11M2									1.61	0.93	2.68	
E11M3	0	-3.48	30.73	61.34	0	-6.73	2.78	8.2	1.61	1.18	3.02	11.21
E12M1	8.48	14.23	40.18	11.57	12.81	0	0	0	0	1.1	1.83	9.82
E12M2	0	-4.43	25.63	55.81	0	16.61	1.03	10.43	0.87	0.84	2.71	7.06
E12M3	0	-1.8	16.87	84.27	0	0.36	1.97	4.24	2.2	0.42	3.19	14.96
AF1	10.93	19.9	34.42	0	10.7	0	0	0	0	1.18	2.1	20.78
AF2	21.54	20.63	10.67	0	15.28	0	0	0	0	0.78	0.87	30.24
AF3									7.38	1.73	2.92	
AF5	2.08	18.97	33.46	0	18.63	0	0	0	0	1.88	1.05	23.94
AF6	17.73	23.62	14.69	0	20.13	0	0	0	4.39	1.57	0.52	17.38
AF7	0	-0.86	13.44	93.17	0	-17.6	3.06	2.01	3.63	0.37	3.06	17.66
AF9	17.68	10.51	11.27	0	23.5	0	0	0	0	1.37	0.66	35.02
AF10	0	-0.36	24.13	76.19	0	-13.28	0	0.84	6.13	0.78	2.95	13.8
AF11	11.94	22.73	13.71	0	17.03	0	0	0	1.03	2.32	0.92	30.33
AF12	0	-0.24	21.42	65.3	0	-7.41	2.06	0.57	5.31	0.97	2.55	14.99
AF15,16,17	0	-1.83	10	93.03	0	-15.63	4.04	4.31	3.05	0.32	2.71	21.37
AF26									0	0.47	0.8	

Fuente: Feijóo, 2015.

## 5.2. Análisis Estadístico.

Se realizó una exploración de datos a la base de datos composicional, partiendo de la definición de que una composición es un vector de elementos positivos de suma igual o menor a una constante normalmente (1, 100 o  $10^6$ ) que aportan información relativa sobre la importancia de varios componentes de un sistema (Tolosana, 2011). Se partió de una base de datos original (Anexo 1). Se seleccionaron 15 óxidos y un elemento, descartando los demás óxidos ya que no muestran valores representativos, como se realizó cuatro análisis de FRX por muestra, se sacó un promedio de los 4 valores de cada óxido; y seguidamente se hace una sumatoria total a todos los promedios; de esta manera se aplicó la operación clausura a todos los 15 óxidos y un elemento, la misma que consiste en dividir cada uno de los

componentes por las suma de todas ellas dándonos los siguientes valores (Anexo 2). Con estos valores se realizó un tratamiento estadístico a las 39 muestras que consistió en: histogramas, matriz de correlación, diagramas de dispersión.

En la tabla 4 se indica el análisis estadístico de los elementos y óxidos de la zona de estudio.

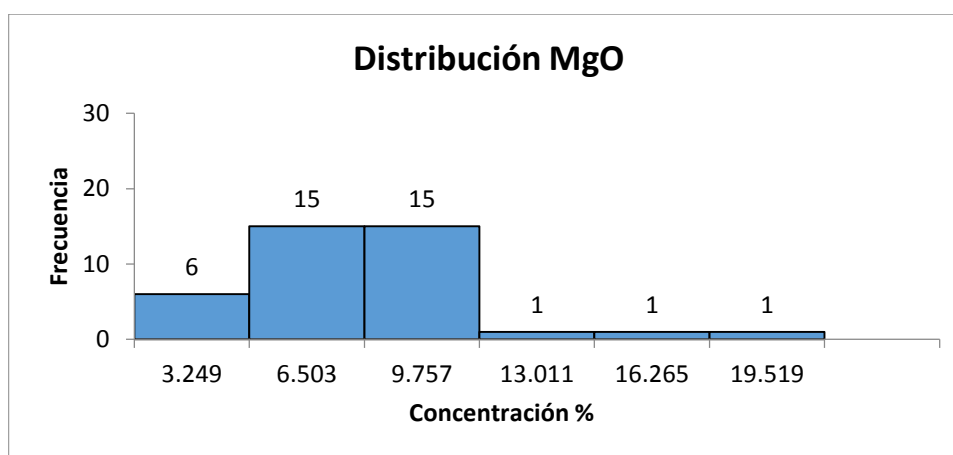
**Tabla 4. Análisis Estadístico de los elementos y óxidos.**

Resumen estadístico (%)																
Valores estad.	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	ZnO	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
Muestras	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Mínimo	0.00	4.526	25.497	0.449	0.049	0.081	2.229	0.187	0.165	5.230	0.012	0.00	0.00	0.00	0.185	0.00
Máximo	19.49	26.707	66.824	1.865	10.707	5.555	33.173	1.052	2.283	25.221	7.670	5.112	0.025	0.247	2.586	1.83
Media	5.96	11.122	42.661	1.064	2.478	2.046	17.922	0.494	1.059	12.971	0.408	0.172	0.010	0.074	0.960	0.608
Mediana	6.315	9.842	41.457	1.106	1.486	1.739	18.658	0.456	0.979	12.600	0.096	0.020	0.010	0.00	0.842	0.601
Varianza	14.585	27.799	77.068	0.120	6.880	2.357	90.819	0.049	0.325	24.698	1.525	0.663	0.000	0.008	0.510	0.089
Desv. Estándar	3.819	5.272	8.779	0.346	2.623	1.535	9.530	0.222	0.570	4.970	1.235	0.814	0.007	0.089	0.714	0.298
Coef. Asimetría	0.902	1.149	0.517	-0.133	1.260	0.399	-0.240	0.65	0.168	0.679	5.642	6.183	0.251	0.639	0.558	1.573

Fuente: Feijoó, 2015.

### 5.2.1. Histogramas.

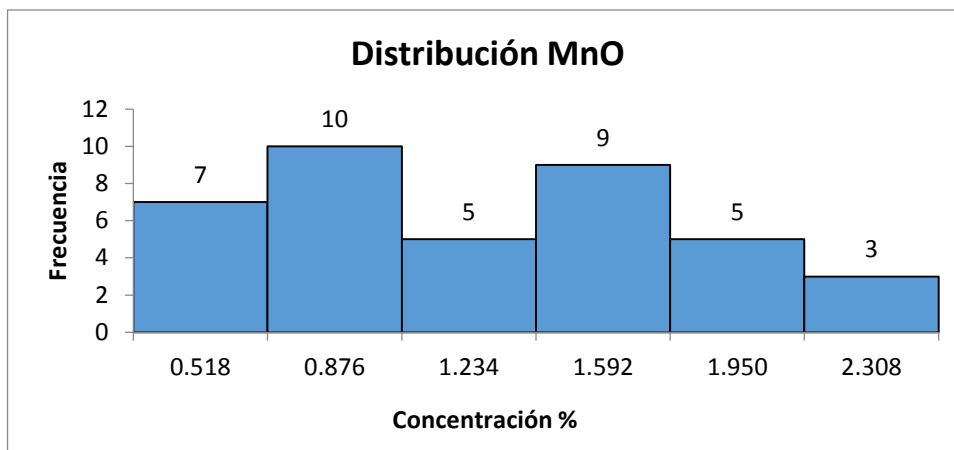
Se le realizó histogramas a los 15 óxidos y un elemento, con el fin de indicar como se encuentran distribuidos los datos, se realizó la interpretación de los mismos partiendo de varios conceptos (Anexo 3).



**Ilustración 3. Histograma de frecuencia de MgO.**

Fuente: Feijoó, 2015.

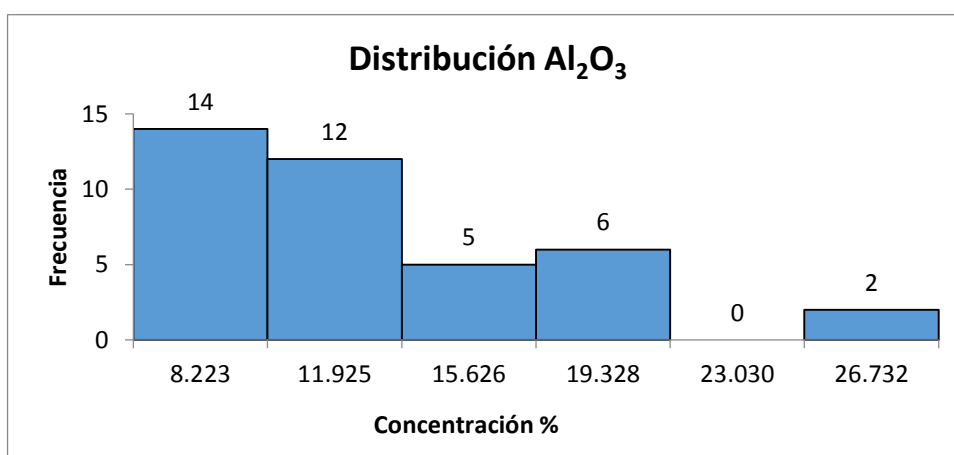
La mayor frecuencia de óxido de magnesio se encuentran sobre la media que es 5.96%. El sesgo que presenta la distribución es positivo o sesgado a la derecha, donde los valores altos se ubican a la derecha de la distribución con frecuencias menores.



**Ilustración 4. Histograma de frecuencia de MnO.**

Fuente: Feijóo, 2015.

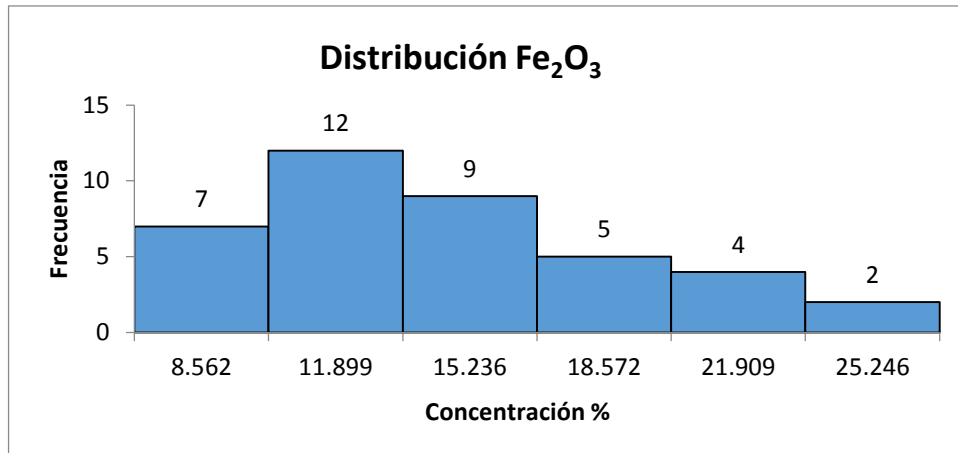
Los valores de óxido de manganeso se distribuyen casi uniformemente alrededor de la media que es de 1.059%, y que se verifica con su varianza que es menor con valor de 0.32, tiene. El coeficiente de simetría es positivo o ligeramente sesgado a la derecha. Existiendo menores datos en la mayor concentración de valores.



**Ilustración 5. Histograma de frecuencia del óxido de aluminio.**

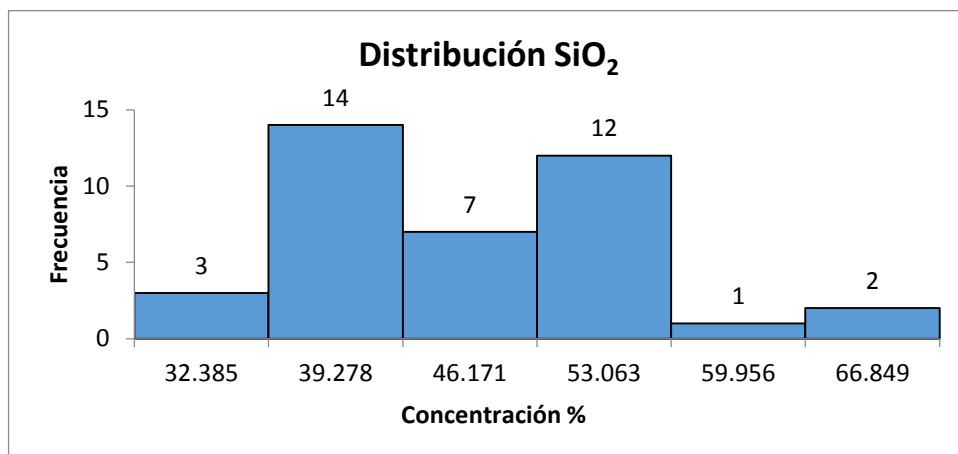
Fuente: Feijóo, 2015.

La mayor cantidad de óxido de aluminio se ubica en entorno y bajo la media que es de 11.122% (Ilustración 5). El coeficiente de simetría de la distribución es positivo o sesgado a la derecha, la varianza es alta por la mala dispersión de los valores, en la distribución se observa que los valores llegan a 19.32% de allí hay un salto a 26.732, con lo cual hace que la varianza se alta



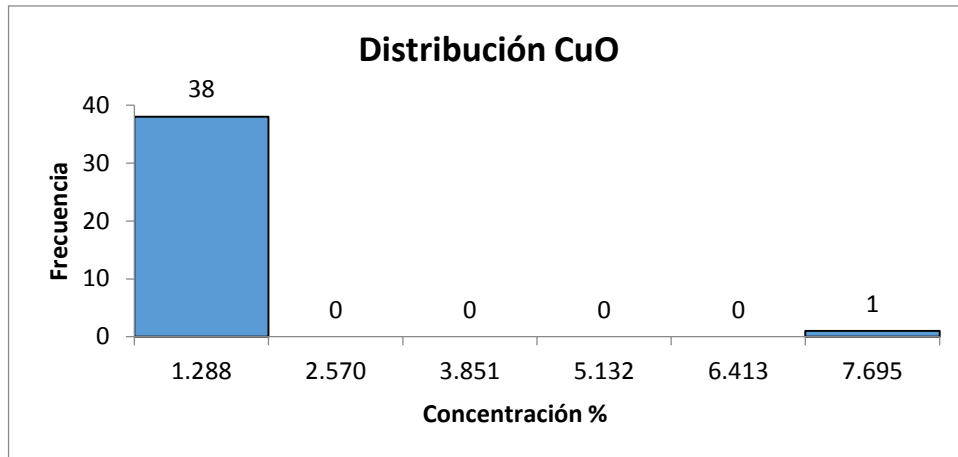
**Ilustración 6. Histograma de frecuencia de óxido férrico.**  
Fuente: Feijoó, 2015.

La mayor cantidad de óxido de hierro se ubica alrededor de la media que es de 12.971% (Ilustración 6), el coeficiente de simetría es positivo o sesgado a la derecha, donde los valores más altos tienen frecuencias menores.



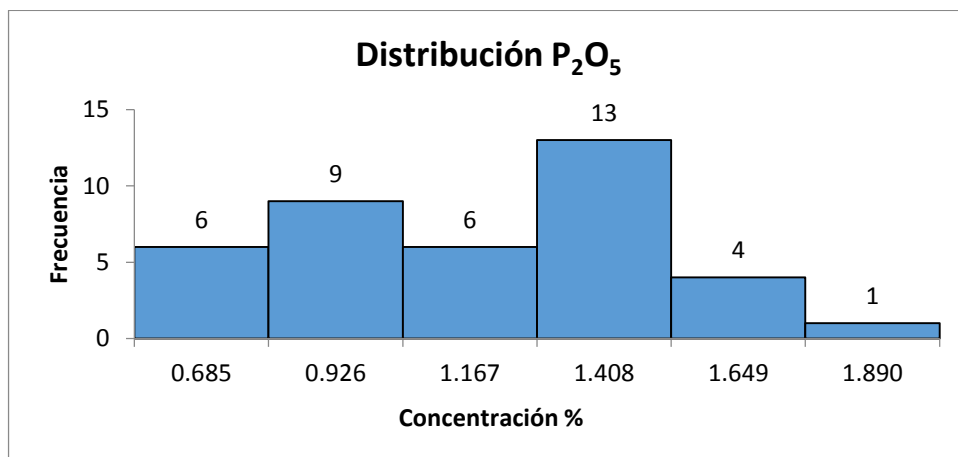
**Ilustración 7. Histograma de frecuencia de óxido de sílice.**  
Fuente: Feijoó, 2015.

La mayor cantidad de óxido de sílice se distribuyen en torno al media de 42.661% (Ilustración 7), el coeficiente de simetría es positivo o sesgado ligeramente a la derecha, los valores de menor frecuencia se encuentra en las concentraciones de sílice bajas y altas



**Ilustración 8. Histograma de frecuencia de óxido de cobre.**  
Fuente: Feijóo, 2015.

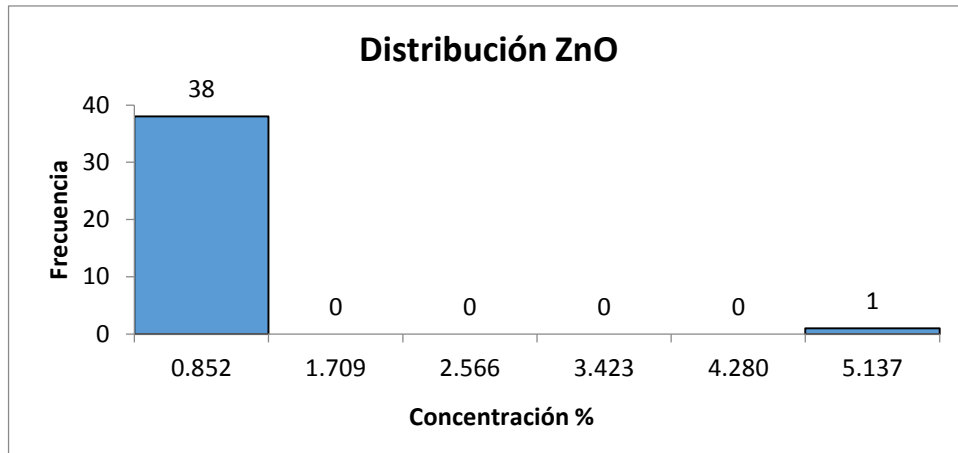
La mayor cantidad de óxido de cobre se distribuyen entorno a la media de 0.408% (Ilustración 8), el coeficiente de simetría de la curva es positivo o sesgado a la derecha. En la ilustración de distribución se puede observar que el 98% de los valores llegan hasta 1.288% de concentración del elemento, se observa que hay un valor que esta sobre el 7.695%, este valor se lo debe analizar muy detenidamente, puede que sea un outlier (valor aberrante) o un contaminante, que se lo puede eliminar o no, dependerá de cómo se lo trate al dato.



**Ilustración 9. Histograma de frecuencia de óxido de fósforo.**  
Fuente: Feijóo, 2015.

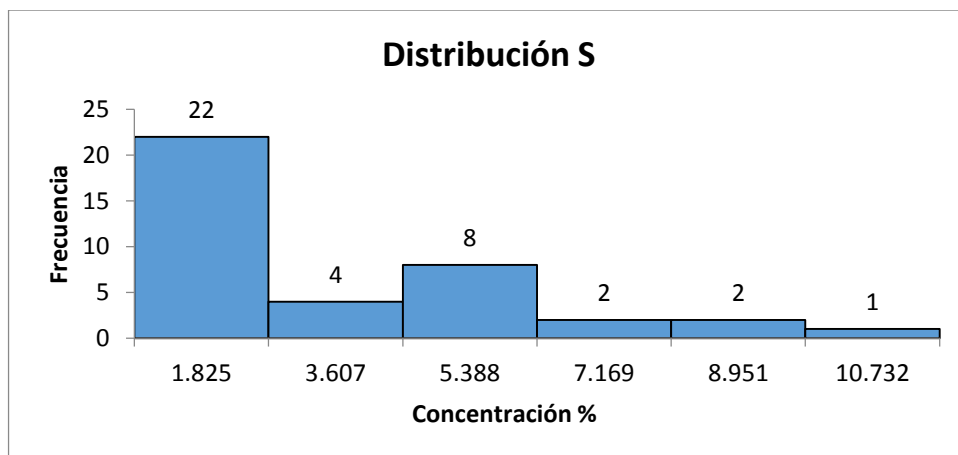
La mayor cantidad de óxido de fosforo están sobre la media de 1.064, el coeficiente de simetría de la curva es negativo o sesgado a la izquierda. Existe poca frecuencia en los valores de concentración alta.





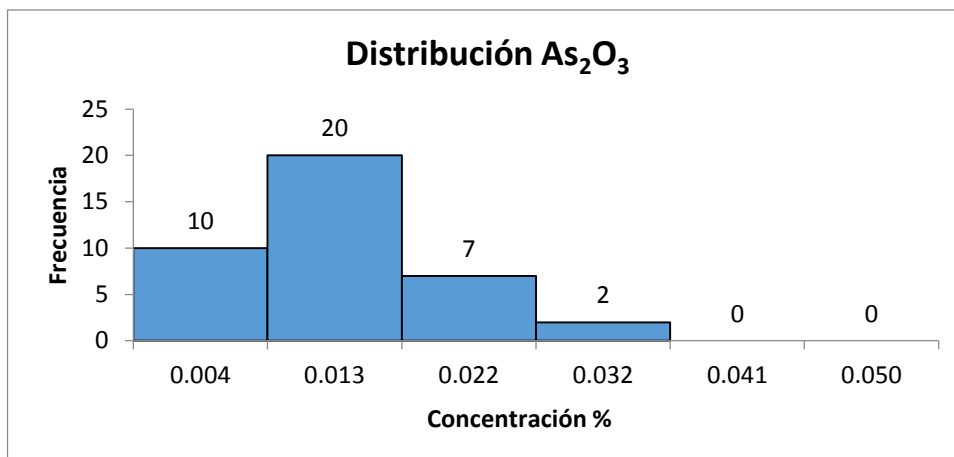
**Ilustración 10. Histograma de frecuencia de óxido de zinc.**  
Fuente: Feijoó, 2015.

La mayor cantidad de óxido de zinc se ubica sobre la media de 0.172%, el coeficiente de simetría es positivo o sesgado a la derecha por el valor extremo en la concentración alta del elemento.



**Ilustración 11. Histograma de frecuencia de azufre.**  
Fuente: Feijoó, 2015.

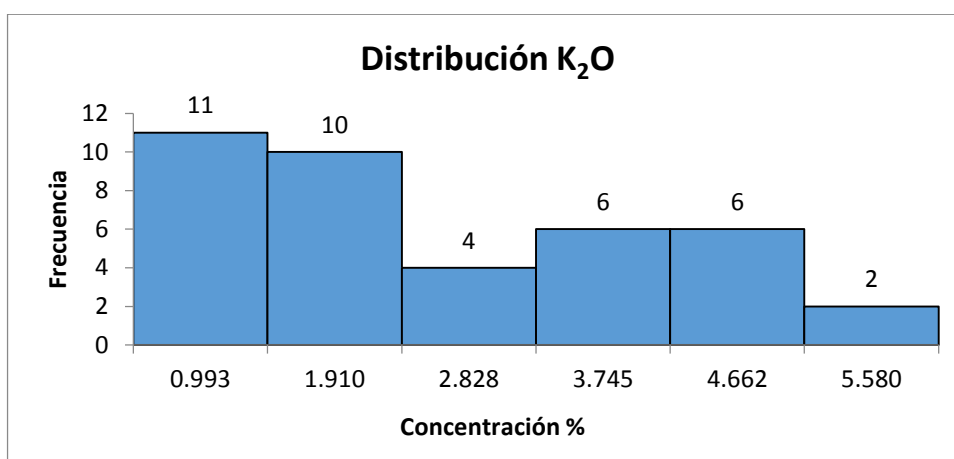
La mayor cantidad de datos de azufre se encuentra bajo la media de 2,478%, el coeficiente de simetría es positivo o sesgado a la derecha, conforme hay mayor concentración de valores a la derecha la frecuencia de datos disminuye.



**Ilustración 12. Histograma de frecuencia de óxido de arsénico.**

Fuente: Feijóo, 2015.

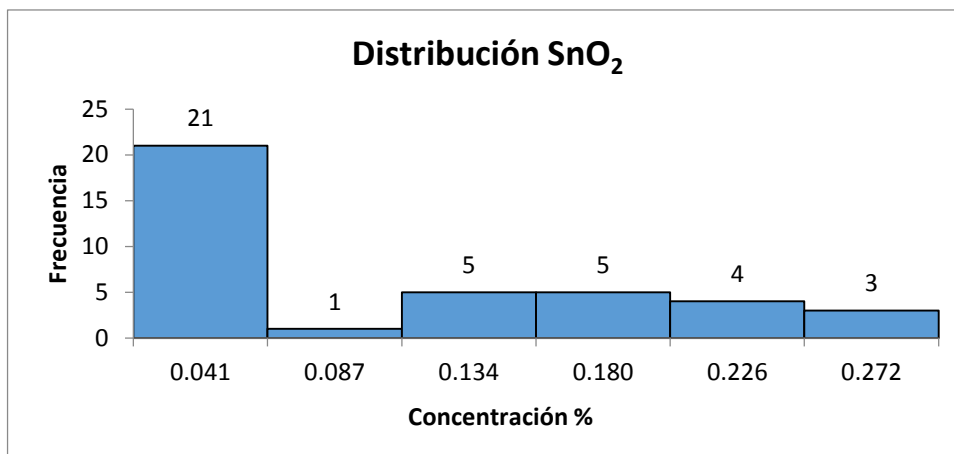
La mayor cantidad de óxido de arsénico están entorno y bajo la media de 0.010%, el coeficiente de simetría es positivo o sesgado a la derecha, existiendo pocos datos en concentración de valores altos.



**Ilustración 13. Histograma de Frecuencia de óxido de potasio.**

Fuente: Feijóo, 2015.

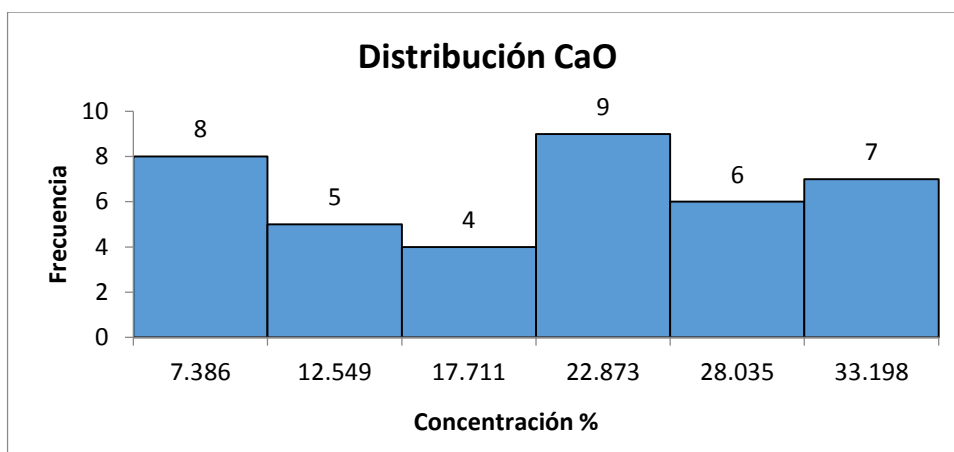
La mayor cantidad de óxido de potasio se encuentra bajo la media de 2.046%, el coeficiente de simetría es positivo o sesgado ligeramente a la derecha, por la cantidad de datos que es menor en la concentración de valores altos.



**Ilustración 14. Histograma de frecuencia de óxido de estaño.**

Fuente: Feijó, 2015.

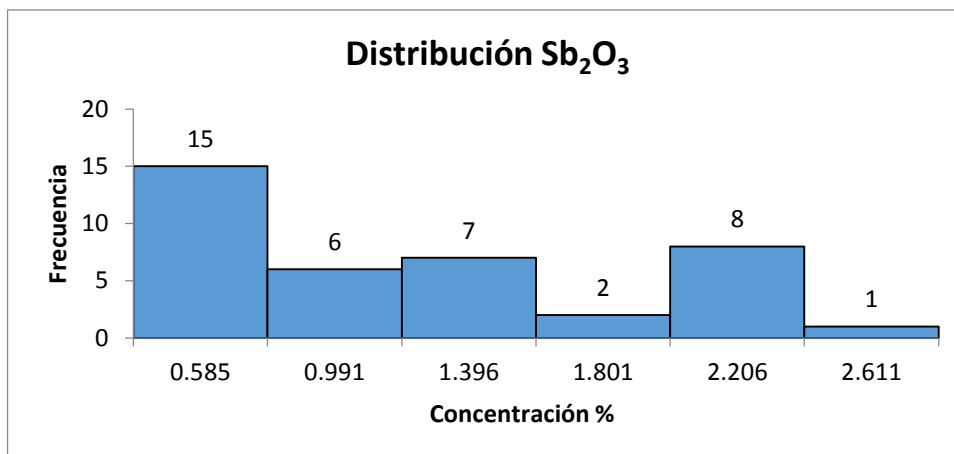
La mayor cantidad de óxido de estaño se encuentra bajo la media de 0.074%, el coeficiente de simetría es positivo o sesgado a la derecha, esta distribución tiene una varianza muy baja de 0.008, que nos quiere decir que existe buena dispersión de los valores.



**Ilustración 15. Histograma de Frecuencia de óxido de calcio.**

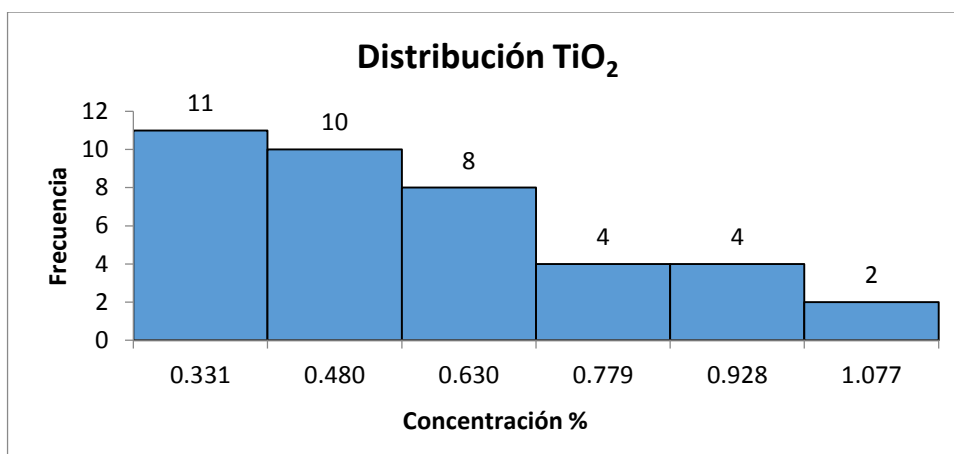
Fuente: Feijó, 2015.

La mayor cantidad de óxido de calcio se encuentra ligeramente sobre la media de 17.922%, el coeficiente de simetría es negativo o sesgado a la izquierda, la varianza de 90.819 es muy alto, esto se traduce porque tenemos como valor mínimo de 2.229% y un máximo de 33.173%, y la distribución no es uniforme en todas las concentraciones de los valores.



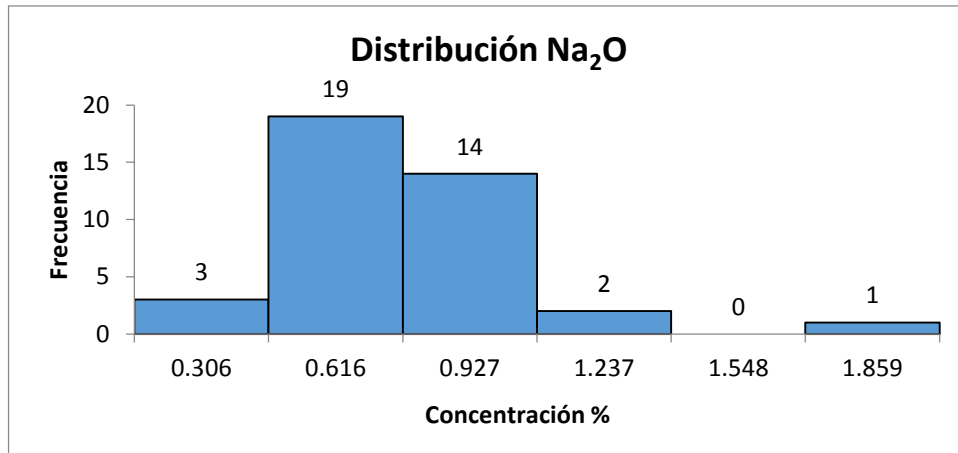
**Ilustración 16. Histograma de frecuencia de óxido de antimonio.**  
Fuente: Feijóo, 2015.

La mayor cantidad de óxido de antimonio se encuentra distribuido entorno y sobre la media de 0.960%, existe un grupo de datos que se concentran en valores bajos, el coeficiente de simetría es positivo o sesgado a la derecha



**Ilustración 17. Histograma de frecuencia de óxido de titanio.**  
Fuente: Feijóo, 2015.

La mayor cantidad de óxido de titanio se encuentra bajo la media de 0.494%, el coeficiente de simetría es positivo o sesgado a la derecha, entre el valor mínimo y máximo hay buena dispersión de los valores por lo que su varianza es baja.



**Ilustración 18. Histograma de Frecuencia de óxido de sodio.**  
Fuente: Feijó, 2015.

La mayor cantidad de óxido de sodio se encuentra sobre la media de 0.608%, el coeficiente de simetría es positivo o sesgado a la derecha por el dato en la concentración alta.

### 5.2.2. Matriz de Correlación.

La matriz de correlación de los 15 óxidos y un elemento (Anexo 4); indica la asociación entre un óxido con respecto a otro, como es su relación/correlación positiva (+1) o negativa (-1), la relación será negativa si un elemento tiene un valor alto el otro elemento relacionado tendrá un valor bajo; de los valores obtenidos se utilizó los valores menores a -0.7 y mayores a 0.7, identificando en ellos el tipo y grado de correlación; estos valores se interpretan de acuerdo a la (Tabla 5); con estos valores se realizó diagramas de dispersión para ver la relación que existe de un óxido respecto al otro.

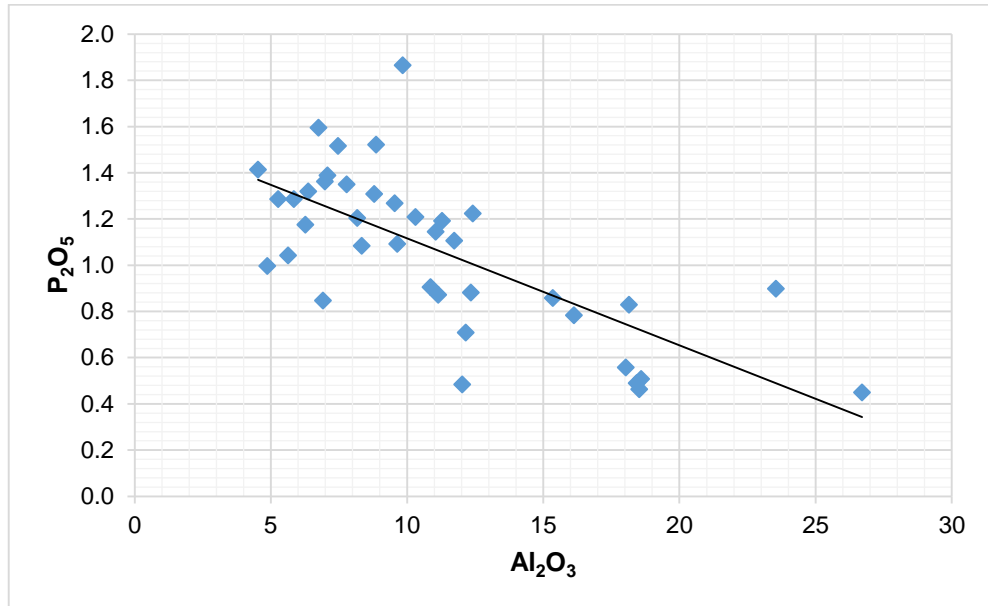
**Tabla 5. Correlación lineal entre dos variables.**

Valores de $r$	Tipo y grado de correlación
-1	Negativa perfecta
$-1 < r \leq -0.8$	Negativa fuerte
$-0.8 < r < -0.5$	Negativa moderada
$-0.5 \leq r < 0$	Negativa débil
0	No existe
$0 < r \leq 0.5$	Positiva débil
$0.5 < r < 0.8$	Positiva moderada
$0.8 \leq r < 1$	Positiva fuerte
1	Positiva perfecta

Autor: (Hdez, 2009).

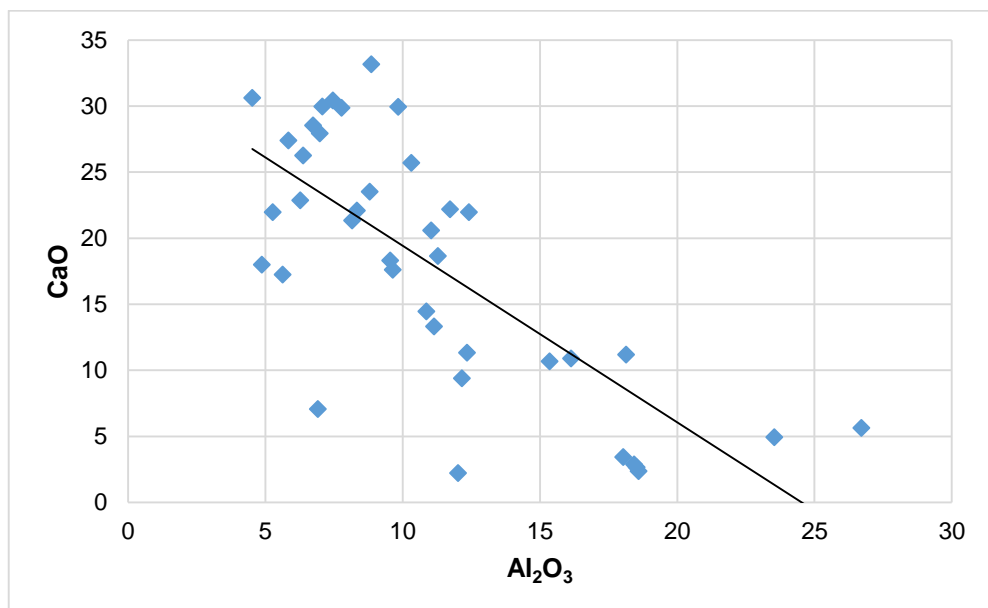
**a. Interpretación de diagramas de dispersión.**

Cuando aumenta la cantidad de  $Al_2O_3$  disminuye la cantidad de  $P_2O_5$  (Figura 9), siendo una relación de tipo negativo entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



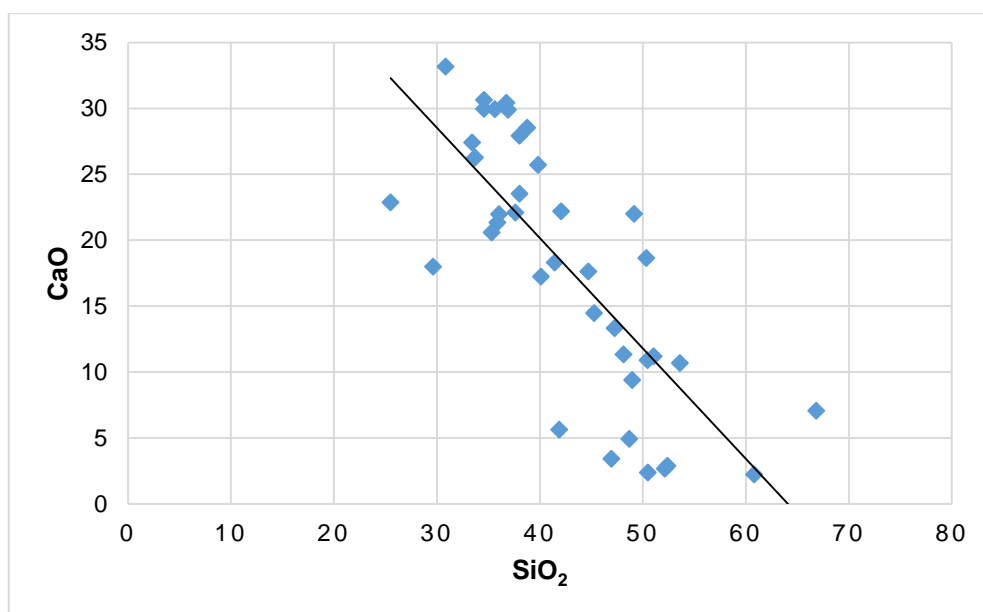
**Figura 9. Relación entre  $P_2O_5$  y  $Al_2O_3$ .**  
Fuente: Feijó, 2015.

Cuando aumenta la cantidad de  $Al_2O_3$  disminuye la cantidad de  $CaO$  (Figura 10); siendo una relación de tipo negativa entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada de acuerdo a la Tabla 4.



**Figura 10. Relación entre  $CaO$  Y  $Al_2O_3$ .**  
Fuente: Feijó, 2015.

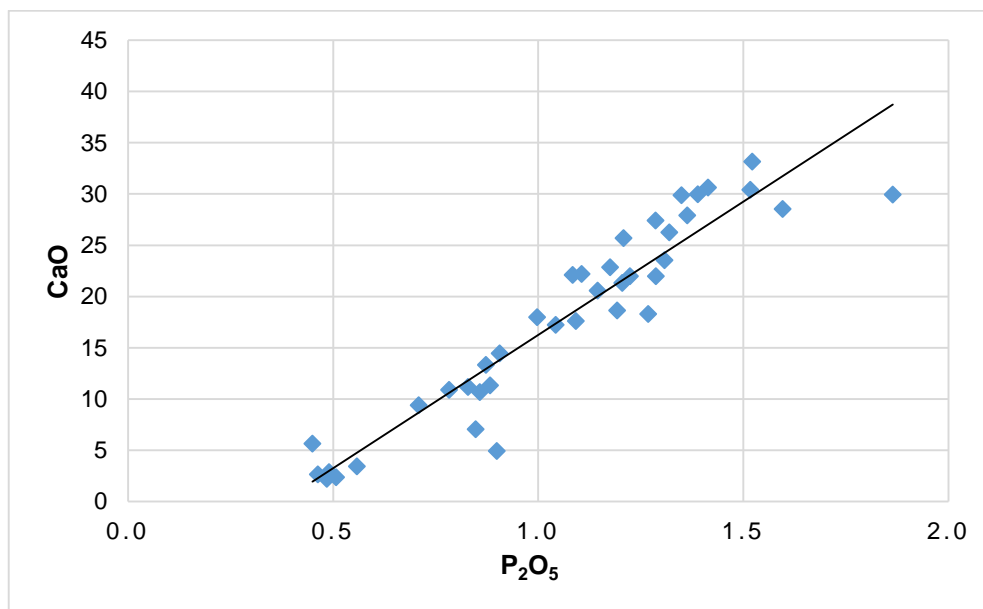
Cuando aumenta la cantidad de  $\text{SiO}_2$  disminuye la cantidad de  $\text{CaO}$  (Figura 11); siendo una relación de tipo negativa entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 11. Relación entre  $\text{CaO}$  Y  $\text{SiO}_2$ .**

Fuente: Feijóo, 2015.

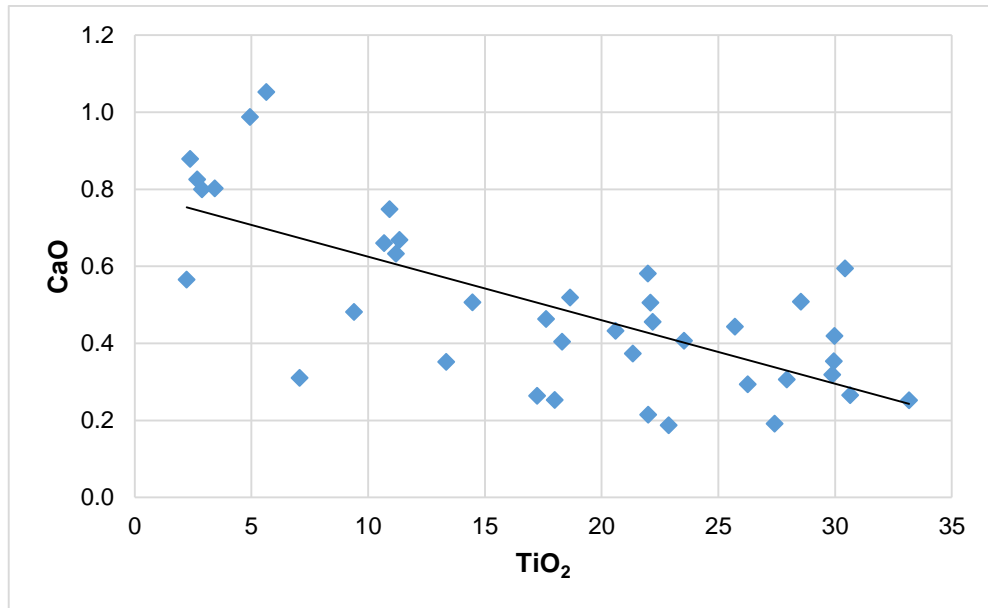
Cuando aumenta la cantidad de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aumenta la cantidad de  $\text{CaO}$  (Figura 12), siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación fuerte.



**Figura 12. Relación entre  $\text{CaO}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ .**

Fuente: Feijóo, 2015.

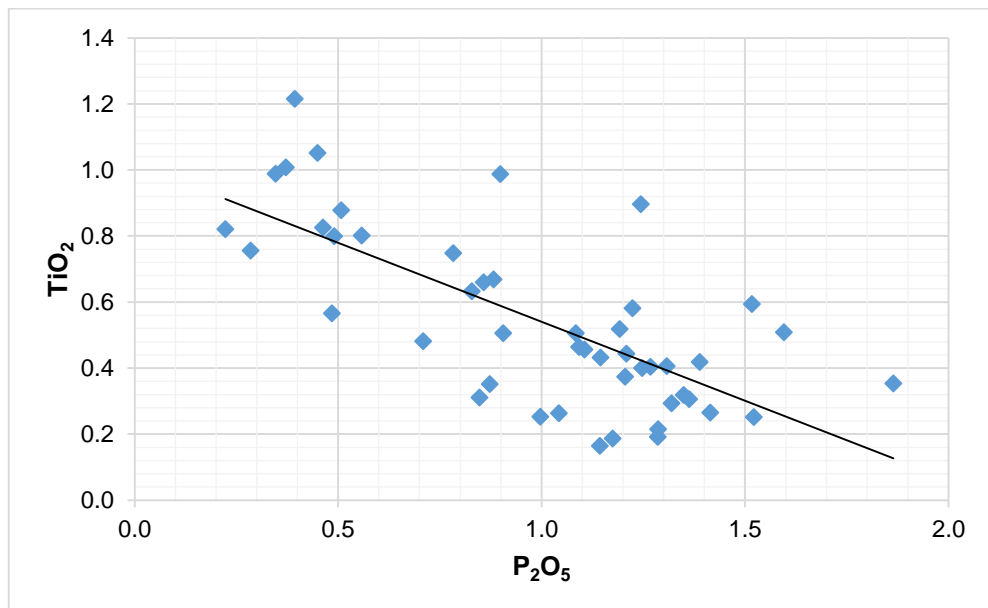
Cuando aumenta la cantidad de  $\text{TiO}_2$  disminuye la cantidad de  $\text{CaO}$  (Figura 13); siendo una relación de tipo negativo entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 13. Relación entre CaO y TiO<sub>2</sub>.**

Fuente: Feijóo, 2015.

Cuando aumenta la cantidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> disminuye la cantidad de TiO<sub>2</sub> (Figura 14); siendo una relación de tipo negativo entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.

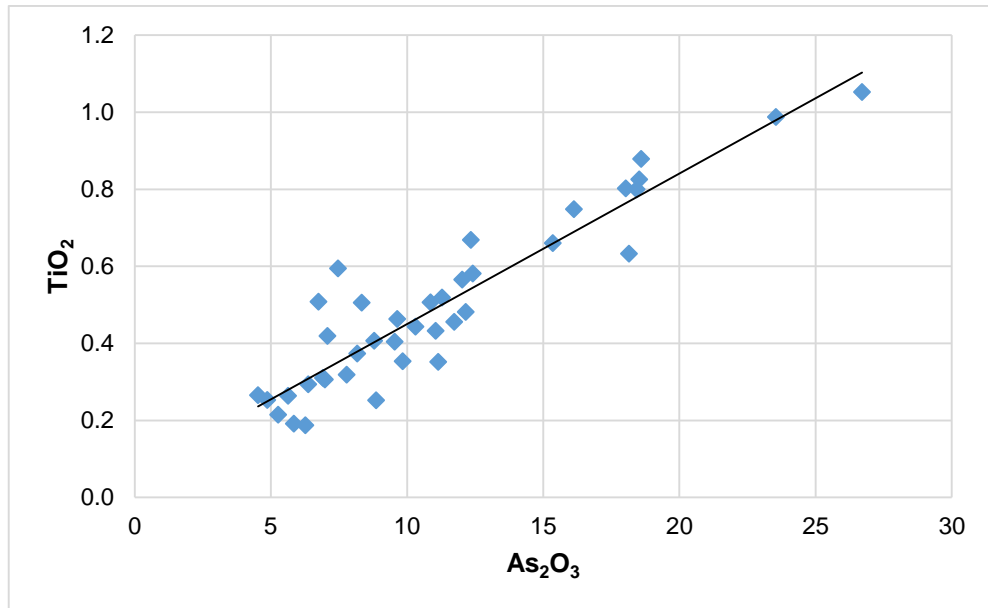


**Figura 14. Relación entre TiO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.**

Fuente: Feijóo, 2015.

Cuando aumenta la cantidad de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aumenta la cantidad de TiO<sub>2</sub> (Figura 15), siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación fuerte.

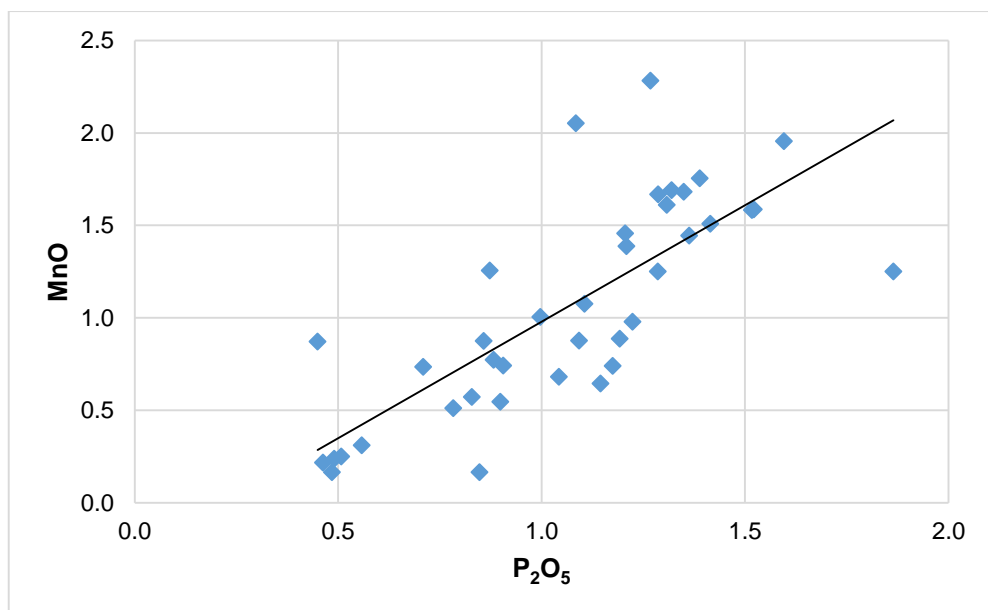




**Figura 15. Relación entre TiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.**

Fuente: Feijóo, 2015.

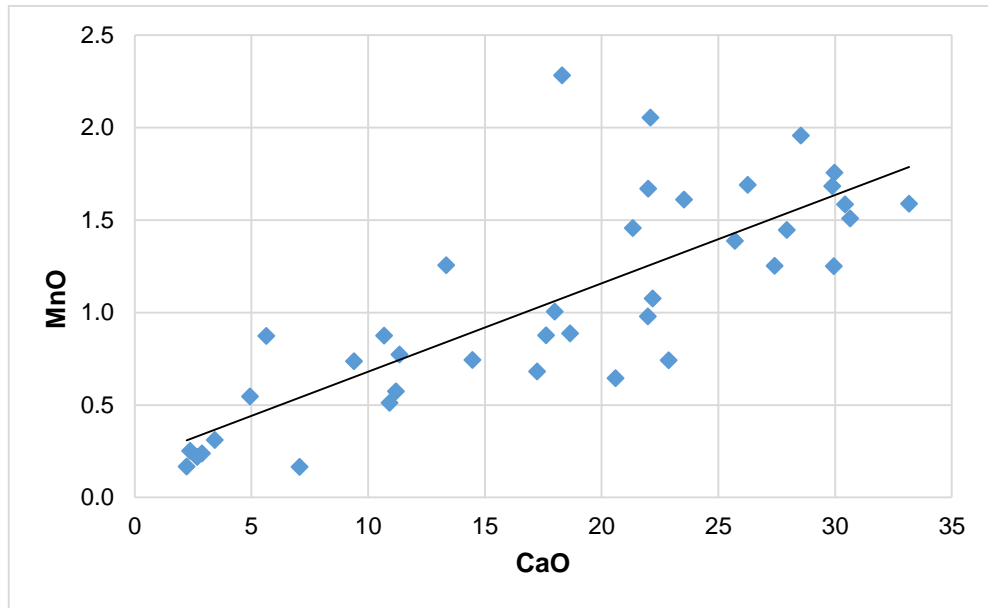
Cuando aumenta la cantidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumenta la cantidad de MnO (Figura 16), siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 16. Relación entre MnO y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.**

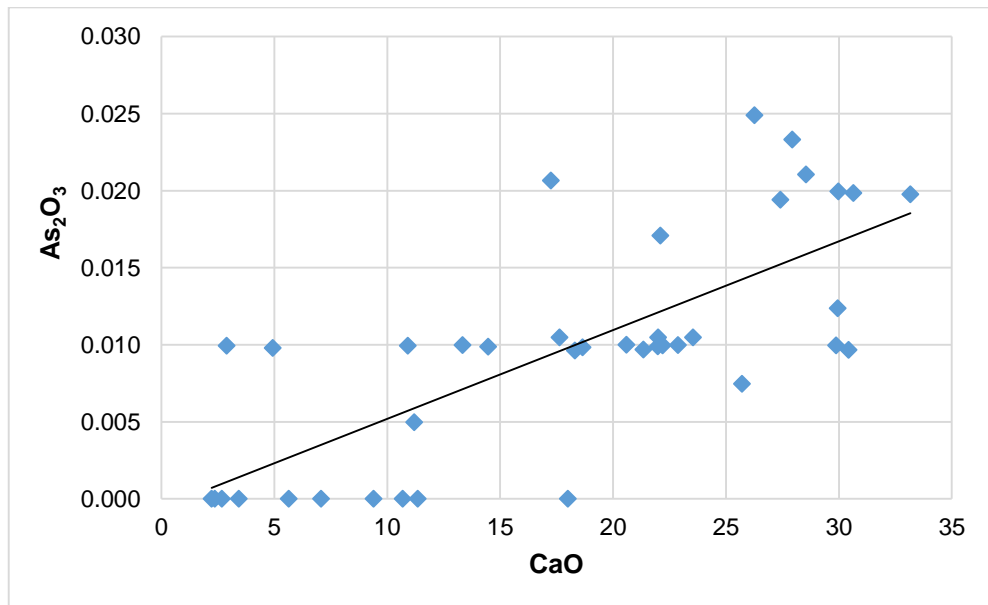
Fuente: Feijóo, 2015.

Cuando aumenta la cantidad de CaO aumenta la cantidad de MnO (Figura 17), siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



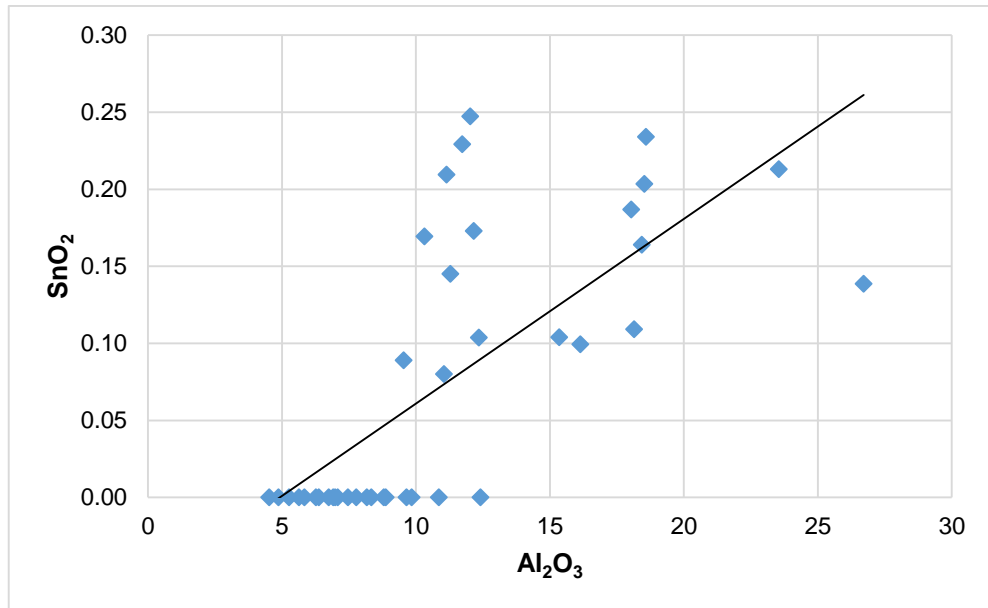
**Figura 17. Relación entre MnO y CaO.**  
Fuente: Feijóo, 2015.

Cuando aumenta la cantidad de CaO aumenta la cantidad de  $As_2O_3$  (Figura 18), siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 18. Relación entre  $As_2O_3$  y CaO.**  
Fuente: Feijóo, 2015.

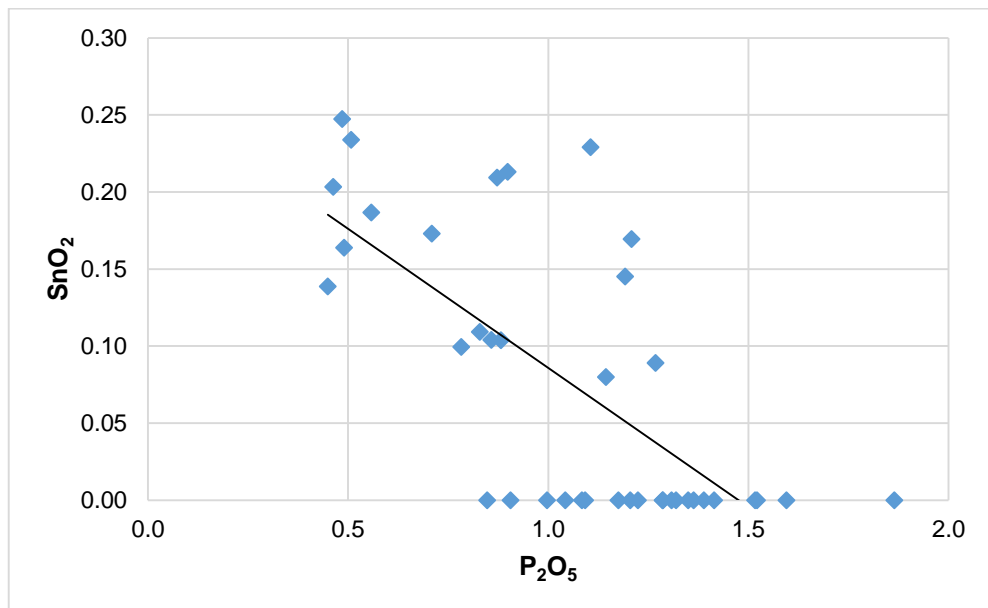
Cuando aumenta la cantidad de  $Al_2O_3$  aumenta la cantidad de  $SnO_2$  (Figura 19), siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 19. Relación entre SnO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.**

Fuente: Feijóo, 2015.

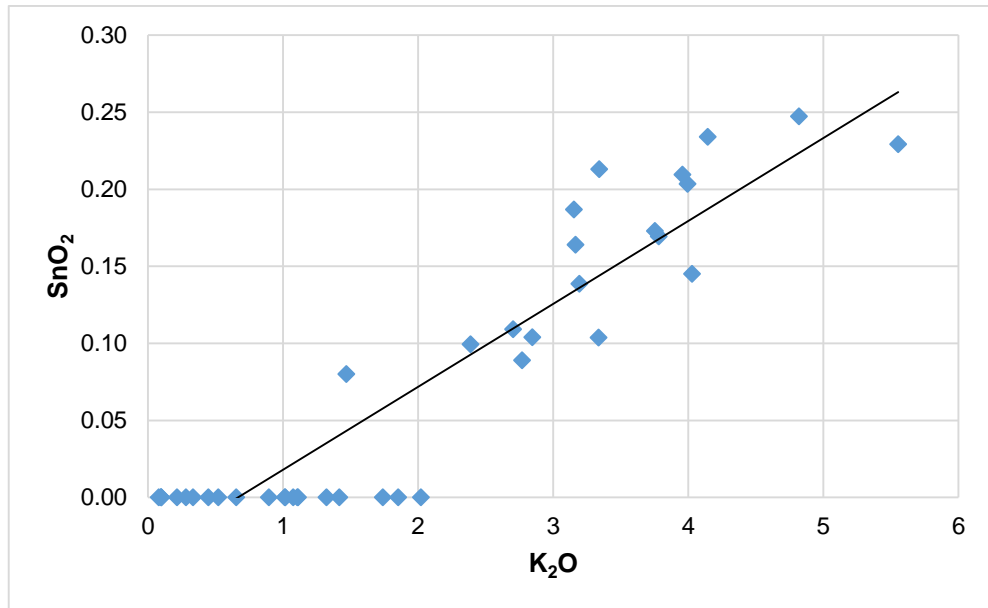
Cuando aumenta la cantidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> disminuye la cantidad de SnO<sub>2</sub> (Figura 20); siendo una relación de tipo negativa entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 20. Relación entre SnO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.**

Fuente: Feijóo, 2015.

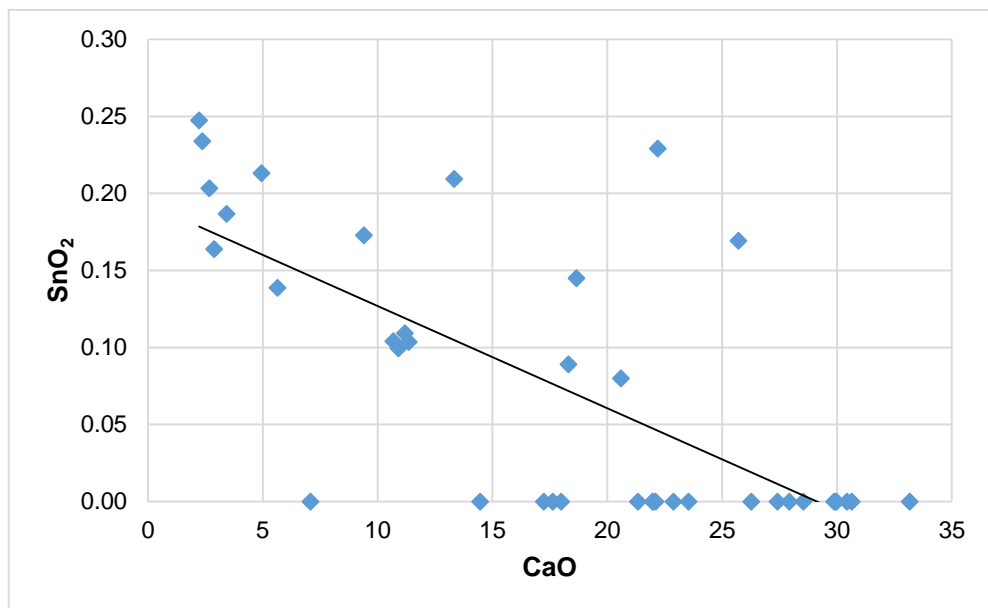
Cuando aumenta la cantidad de K<sub>2</sub>O aumenta la cantidad de SnO<sub>2</sub> (Figura 21), siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación fuerte.



**Figura 21. Relación entre SnO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O.**

Fuente: Feijóo, 2015.

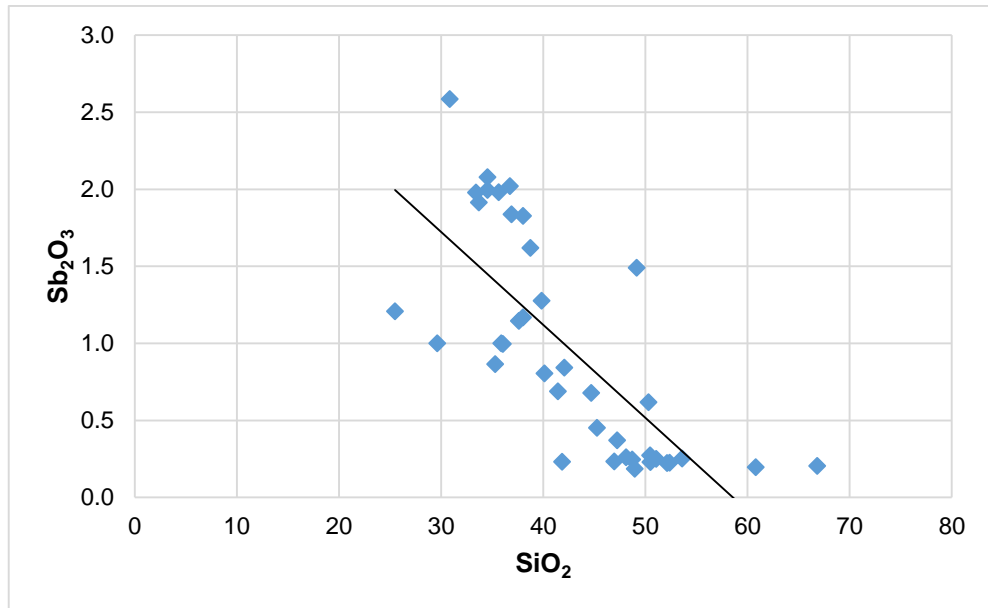
Cuando aumenta la cantidad de CaO disminuye la cantidad de SnO<sub>2</sub> (Figura 22); siendo una relación de tipo negativa entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 22. Relación entre SnO<sub>2</sub> y CaO.**

Fuente: Feijóo, 2015.

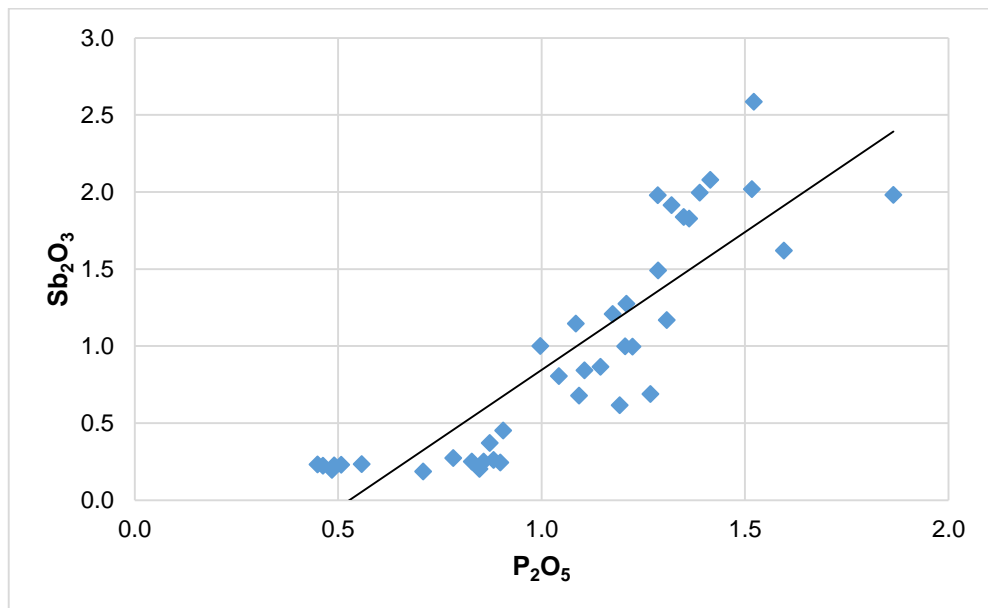
Cuando aumenta la cantidad de SiO<sub>2</sub> disminuye la cantidad de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Figura 23); siendo una relación de tipo negativa entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 23. Relación entre  $Sb_2O_3$  y  $SiO_2$ .**

Fuente: Feijóo, 2015.

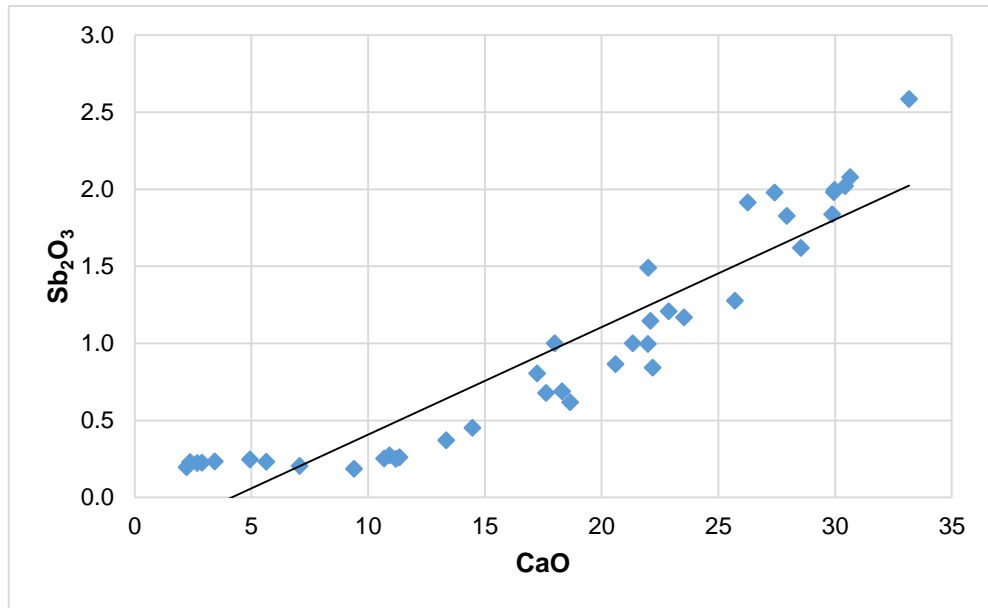
Cuando aumenta la cantidad de  $P_2O_5$  aumenta la cantidad de  $Sb_2O_3$  (Figura 24), siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación fuerte.



**Figura 24. Relación entre  $Sb_2O_3$  y  $P_2O_5$ .**

Fuente: Feijóo, 2015.

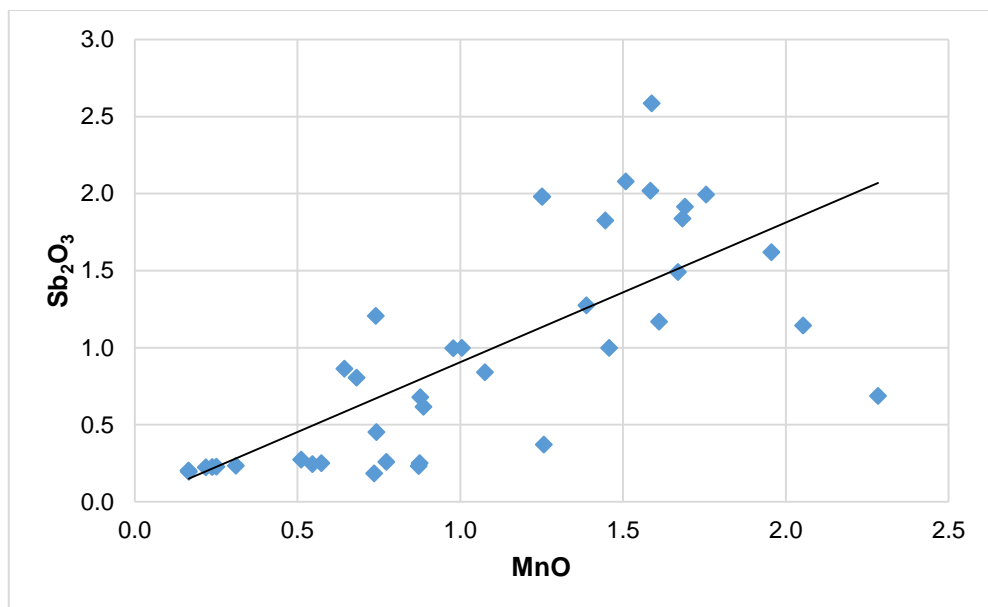
Cuando aumenta la cantidad de  $CaO$  aumenta la cantidad de  $Sb_2O_3$  (Figura 25); siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación fuerte.



**Figura 25. Relación entre Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y CaO.**

Fuente: Feijóo, 2015.

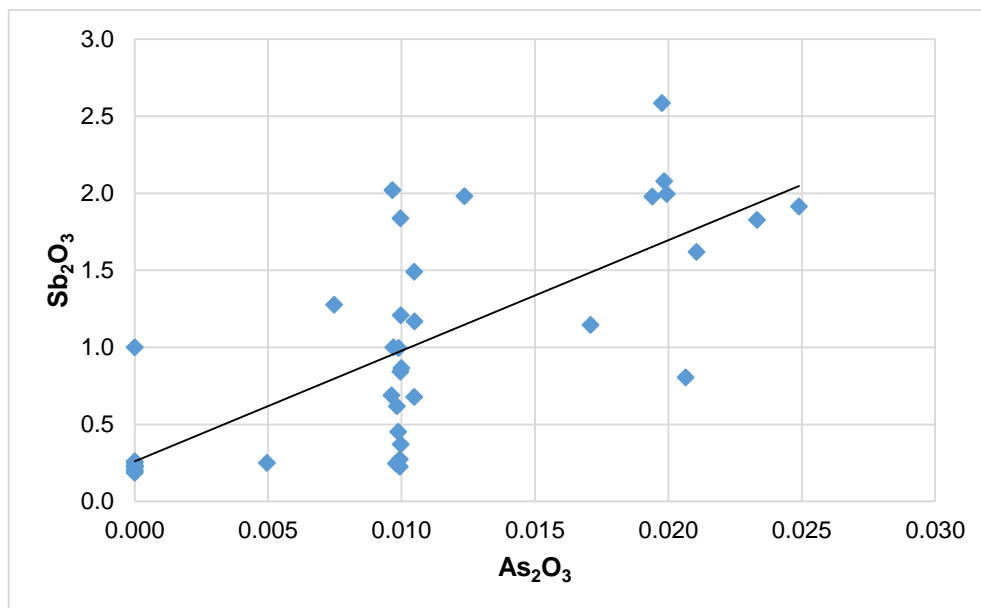
Cuando aumenta la cantidad de MnO aumenta la cantidad de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Figura 26); siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 26. Relación entre Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MnO.**

Fuente: Feijóo, 2015.

Cuando aumenta la cantidad de As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aumenta la cantidad de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Figura 27); siendo una relación de tipo positiva entre las variables graficadas con un grado de correlación moderada.



**Figura 27. Relación entre Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.**

Fuente: Feijóo, 2015.

### 5.1.2. Interpretación de la matriz de correlación.

Se realizó la interpretación de minerales con los óxidos que presentan correlación mayor a 7 ver Anexo 4.

Granate.- suele presentar inclusiones de rutilo (Santa Cruz, 1972).

Según el diagrama de equilibrio del sistema CaO, (Mg, Fe)O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> (G.W.TYRRELL, 1960) a menores cantidades de aluminio y a mayores cantidades de calcio se forman los granates.

Grosularia.- es un silicato de calcio y aluminio, que se halla principalmente como producto del metamorfismo de contacto o regional en calizas impuras. (Cornelis & Hurlbut, 1997).

Según el diagrama quimiográfico de metamorfismo medio y alto (CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO), del gráfico 4 y 5; se observa la formación de nuevos minerales de CaO y el SiO<sub>2</sub> como wollastonita, diópsido y tremolita; y según el diagrama de equilibrio del sistema CaO, (Mg, Fe)O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> (G.W.TYRRELL, 1960) se forma la anortita e idocrasa.

Wollastonita.- se forma por el CaO y el SiO<sub>2</sub>; aparece como mineral metamórfico de contacto en las calizas cristalinas y se encuentra asociada con calcita, diópsido, andradita, grosularita, tremolita, feldespato plagioclasa, idocrasa y epidota. (Cornelis & Hurlbut, 1997).

Diópsido.- es frecuente en rocas metamórficas y se encuentra asociado con la forsterita y la calcita, se presenta a veces con la monticelita como resultado del metamorfismo térmico de

dolomitas o calizas silíceas, ricas en Mg; otras asociaciones incluyen tremolita, escapolita, idocrasa, granate y esfena. (Cornelis & Hurlbut, 1997).

Tremolita.- se halla en calizas dolomíticas metamórficas, a mayores temperaturas la tremolita es inestable y da lugar a diópsido. (Cornelis & Hurlbut, 1997).

Anortita.- es una plagioclasa que se halla en rocas ricas en minerales oscuros y en drusas de bombas volcánicas y en calizas granulares situadas en depósitos metamórficos de contacto. (Cornelis & Hurlbut, 1997)

Idocrasa.- se halla generalmente en las calizas impuras como resultado del metamorfismo de contacto. Asociada a minerales de contacto como los granates grosularita y andradita, la wollastonita y el diópsido. (Cornelis & Hurlbut, 1997).

Apatito.- es un fosfato de calcio, siendo un mineral accesorio constituyente de todas las clases de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. (Cornelis & Hurlbut, 1997).

Esfena.- es común en cristales de tamaño considerable incrustados en las rocas metamórficas, gneis, esquistos cloríticos y calizas cristalinas. (Cornelis & Hurlbut, 1997).

Triploidita.- es un fosfato hidroxilado de manganeso, este mineral aparece como producto de la alteración hidrotermal de otros fosfatos primarios, en zonas de un complejo de rocas pegmatitas de tipo granito suele estar asociado a la rodocrosita. (Mineral Data Publishing, versión 1, 2001-2005).

Kutnohorita.- es un carbonato de calcio y manganeso, con la misma estructura cristalina de los minerales del grupo de la dolomita, suele encontrarse asociado a otros minerales como: rodocrosita, aragonito o calcita. (Mineral Data Publishing, versión 1., 2001-2005).

La cristalización fraccionada en rocas graníticas evolucionadas resulta en un enriquecimiento sistemático y patrones de empobrecimiento de Ca, Mg, Fe, Ti y muchos elementos traza con solo pequeñas variaciones de Si, Al, K y Na. (Lehman, 1990).

Las aguas de vertientes hidrotermales de ácidos sulfatados tienen Hg, Bi, As, Sb, Tg, Sn, Tl, la acidez de esto se debe al H<sub>2</sub>S. (Pirajno, 2009).

Uchucchacuaíta.- aparece en un yacimiento hidrotermal, suele encontrarse asociado a otros minerales como: alabandina, galena, benavidesita, esfalerita, pirita, pirrotita o arsenopirita. (Mineral Data Publishing, version 1, 2001-2005).

Samsonita.- es un mineral de aparición muy rara, que se forma en vetas hidrotermales se encuentra asociado a otros minerales como: pirargirita, galena, discrasita, tetraedrita, pirolusita, cuarzo, calcita o apofilita. (Mineral Data Publishing, version 1, 2001-2005).



Getchellita.- es un sulfuro de antimonio y arsénico, suele encontrarse asociado a otros minerales como: oropimente, rejalgar, estibina, cinabrio, galkhaíta, laffittita, chabourneíta, christita, lorandita, marcasita, cuarzo, barita, fluorita o calcita. (Mineral Data Publishing, version 1, 2001-2005).

Paakkonenita.- aparece en yacimientos de minerales hidrotermales, junto a otros minerales conteniendo antimonio y arsénico. Suele encontrarse asociado a otros minerales como: arsenopirita, arsénico nativo, lollingita, estibina, antimonio nativo, estibarsenio, esfalerita, siderita, cuarzo, vaughanita o rejalgar. (Mineral Data Publishing, 2001-2005).

Wakabayashilita.- aparece formando fibras en drusas de cuarzo o embebidas en calcita. Suele encontrarse asociado a otros minerales como: rejalgar, oropimente, estibina, piritita, calcita, chabourneíta, pierrotita, parapierrita, esfalerita, twinnita, zinkenita, madocita, andorita, smithita, laffittita, routhierita o aktashita. (Mineral Data Publishing, version 1, 2001-2005).

Svanbergita.- Es un mineral secundario que se forma como producto de la alteración de rocas sulfatos en vetas hidrotermales y yacimientos de minerales diseminados, reemplazando al apatito, comúnmente en depósitos metamórficos de grado medio con aluminio. También se ha encontrado en depósitos de roca bauxita. Suele encontrarse asociado a otros minerales como: pirofilita, cianita, andalucita, lazulita, augelita, alunita, caolinita o cuarzo. (Mineral Data Publishing, version 1, 2001-2005).

Trolleíta.- Aparece en rocas metamórficas de grado de anfibolita se asocia a otros minerales como: berlinita, attakolita, augelita, lazulita, scorzalita, viseíta, montebrasita, bertossaíta, brazilianita, apatito, gatumbaíta, samuelsonita o wyllieíta. (Mineral Data Publishing, version 1, 2001-2005).

Wavellita.- Se forma como mineral secundario común en rocas metamórficas de bajo grado con aluminio, en yacimientos de fosfatos y limonita: Más rara vez se ha encontrado en vetas hidrotermales tardías. Algunos agregados globulares en masas opalinas similares a calcedonia, o en estalactitas. Suele encontrarse asociado a otros minerales como: crandallita, variscita o limonita. (Mineral Data Publishing, version 1, 2001-2005).

**CAPITULO VI**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos de FRX se cuantifico que los óxidos en mayor cantidad son:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11.12%),  $\text{SiO}_2$ , (42.66%),  $\text{CaO}$  (17.92%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (12.97%),  $\text{MgO}$  (5.96%).
- Con los diagramas quimiográficos realizados se encontró que las muestras del sector Nambija presentan en mayor cantidad los minerales: tremolita (Tr), cuarzo (Qz), calcita (Cal), wollastonita (Wo), diópsido (Di), y en menor cantidad forsterita (Fo), talco (Tlc), se corroboró con la mineralogía de (Pineda, 2015) en donde la mayoría de las muestras presentan minerales de: Qz, Fo, Cal, Trm.
- Mediante la hoja de cálculo de Excel (tabla 2) se encontraron los siguientes minerales: cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, diópsido, hiperstena, olivino, magnetita, apatito.
- Las principales relaciones de  $\text{P}_2\text{O}_5$  -  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{TiO}_2$  forman los siguientes minerales apatito; rutilo que se forma como inclusiones dentro de la grosularia.
- La relaciones  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  -  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  -  $\text{CaO}$  no forman minerales, el antimonio y arsénico precipitan de soluciones acidas en medios alcalinos que existe en las calizas de (ph alcalino), esto explicaría la relación que tienen con  $\text{CaO}$  y a su vez con el  $\text{P}_2\text{O}_5$ .
- $\text{SnO}_2$ -  $\text{K}_2\text{O}$ , no forman minerales pero pueden estar juntos porque son incompatibles.
- Las relaciones negativas moderadas  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  -  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  -  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  -  $\text{SiO}_2$  forman los minerales svanbergita, trolleita, wavellita, grosularia, wollastonita, diópsido, tremolita, anortita, idocrasa, esfena.
- El  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$  no forman minerales, debido a que el antimonio no precipita con la sílice sino más bien con el  $\text{CaO}$ .
- Las relaciones  $\text{MnO}$  -  $\text{P}_2\text{O}_5$  forma el mineral Triploidita.
- El  $\text{CaO}$  y el  $\text{MnO}$  están asociados a carbonatos como calcita y rodocrosita o silicatos como wollastonita y rodonita, esto depende del grado de metamorfismo y de la existencia de  $\text{CO}_2$  en la muestra, también se puede formar el mineral kutnohorita.
- El  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  y  $\text{As}_2\text{O}_3$  forma minerales como getchellita, paakkoneita, wakabayashilita.
- El  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnO}$  forman la uchucchacuaíta, samsonita.
- Se asume que existen sulfuros de hierro y cobre debido a la existencia de S,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Total) y  $\text{CuO}$ ; en ciertas muestras se presenta el  $\text{SnO}_2$ ; considerándose la existencia del mineral casiterita y fosfatos en menores cantidades.
- Del análisis estadístico se obtuvieron 16 histogramas indicando la distribución de los óxidos y un elemento ; en nuestra investigación el  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{ZnO}$ , S,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Na}_2\text{O}$ , tienen un sesgo positivo adoptando una asimetría a la derecha, presentando más concentración de datos hacia

la derecha, diferenciándose del óxido de  $P_2O_5$  y  $CaO$  que presentan un sesgo negativo con una asimetría hacia la izquierda, donde los datos se encuentran distribuidos a la izquierda.

- De la matriz de correlación se obtuvieron diagramas de dispersión que nos permitieron ver las relaciones existentes en los óxidos, dándonos correlaciones positivas fuertes entre el:  $CaO$  y  $P_2O_5$ ,  $Al_2O_3-TiO_2$ ,  $SnO_2- K_2O$ ,  $Sb_2O_3-P_2O_5$ ,  $Sb_2O_3$  y  $CaO$ , estas relaciones nos permitieron identificar minerales característicos de la zona.

## RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones de interpretación mineralógica para la verificación con óxidos, el cual podría hacerse en base a simulaciones geoestadística de datos composicionales, y con ayuda de análisis mineralógico y petrográfico para mejorar la interpretación geológica-mineralógica.
- Tener métodos auxiliares para discriminar entre el óxido férrico y ferroso.
- Para calcular otros elementos por medio de otros análisis químicos, se recomienda utilizar la misma porción de muestra que es analizada en el equipo de Fluorescencia de Rayos-X S1 TURBO <sup>SD</sup>.
- En el caso de que se apliquen otros diagramas quimiográficos para eliminar el error por sulfuro de hierro, al existir pirita se recomienda realizar un estudio para excluir el hierro de la pirita en el diagrama.
- Se recomienda para obtener un estudio más completo utilizar la técnica de Difractometría de Rayos-X la misma que daría más validez a la investigación.
- El equipo de FRX turbo S1 TURBO <sup>SD</sup> podría tener más aplicación en el área de la industria minera.

## BIBLIOGRAFIA

- Mineral Data Publishing, version 1.* (2001-2005). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Trolle%C3%ADta>
- ACDI, & INEMIN. (Diciembre de 1987). INFORME DE PREFACTIBILIDAD GEOLOGICO METALOGENICO DE LA ZONA SUR DEL YACIMIENTO AURIFERO DE NAMBIJA.
- Alcaraz, M. (18 de Diciembre de 2009). EL Equipo de Rayox X. Murcia , España.
- Caslab. (s.f.). Obtenido de [http://www.caslab.es/upload/documentos/20120214170429.catalogo\\_preparacion\\_de\\_muestra\\_caslab.pdf](http://www.caslab.es/upload/documentos/20120214170429.catalogo_preparacion_de_muestra_caslab.pdf)
- Cornelis, K., & Hurlbut, C. (1997). Manual de Mineralogia Vol2 cuarta edición. Basado en la obra de J.D.Dana. Barcelona: REVERTÉ.
- Cox, K., Bell, J., & Pankhurts, R. (1979). *THE INTERPRETATION OF IGNEOUS ROCKS* . Springer-Science+Business Media, B.V.
- G.W.TYRRELL. (1960). *Principios de Petrologia*. COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL,S.A.
- Gutiérrez, G., J, M., & Ranz, I. (2010). UTILIZACIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA EL ESTUDIO DE METALES PESADOS EN SUELOS: PUESTA A PUNTO Y APLICACIÓN A VERTEDEROS. España: Gráficas 85, S.A.
- Hdez, S. (15 de Diciembre de 2009). *Análisis de Correlación y Regresión*. Obtenido de [http://www.mcgraw-hill-educacion.com/pye01e/cap13/13analisis\\_de\\_correlacion\\_y\\_regresion.pdf](http://www.mcgraw-hill-educacion.com/pye01e/cap13/13analisis_de_correlacion_y_regresion.pdf)
- Huawc, & KreNc. (1972). LABORATORY DISSOLUTION OF PLAGIOCLASE FELDSPARS IN WATER AND ORGANIC ACIDS AT ROOM TEMPERATURE.
- Instituto de Investigaciones Mineras Universidad Nacional de San Juan.* (s.f.). Obtenido de [http://www.iimsanjuan.com.ar/laboratorio\\_info.php?idLaboratorio=19](http://www.iimsanjuan.com.ar/laboratorio_info.php?idLaboratorio=19)
- Juan, U. N. (s.f.). *Instituto de Investigaciones Mineras*. Obtenido de [http://www.iimsanjuan.com.ar/laboratorio\\_info.php?idLaboratorio=19](http://www.iimsanjuan.com.ar/laboratorio_info.php?idLaboratorio=19)
- Lehman, B. (1990). *Metallogeny of Tin Springer-Verlang Berlin(K) Capitulo II*. Obtenido de [www.springer.com](http://www.springer.com)
- Litter, Armienta, & Farías. (Octubre de 2009). Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. Argentina: CYTED.
- Mineral Data Publishing, v. 1. (2001-2005). Obtenido de <http://rruff.info/doclib/hom/paakkonenite.pdf>
- Mineral Data Publishing, version 1.* (2001-2005). Obtenido de <http://rruff.info/doclib/hom/uchucchacuaite.pdf>
- Mineral Data Publishing, version 1.* (2001-2005). Obtenido de <http://rruff.info/doclib/hom/samsonite.pdf>

- Mineral Data Publishing, version 1.* (2001-2005). Obtenido de <http://rruff.info/doclib/hom/getchellite.pdf>
- Mineral Data Publishing, version 1.* (2001-2005). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Wakabayashilita>
- Mineral Data Publishing, version 1.* (2001-2005). Obtenido de <http://rruff.info/doclib/hom/svanbergite.pdf>
- Mineral Data Publishing, version 1.* (2001-2005). Obtenido de <http://rruff.info/doclib/hom/wavellite.pdf>
- Mineral Data Publishing, versión 1.* (2001-2005). Obtenido de <http://rruff.info/doclib/hom/triploidite.pdf>
- Mineral Data Publishing, versión 1.* (2001-2005). Obtenido de <http://rruff.info/doclib/hom/kutnohorite.pdf>
- Molina, G., & Rodrigo, M. (2009-2010). *Estadística Descriptiva en Psicología*. Obtenido de [http://www.mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20\(C%C3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta\)/InterpretacionMedidasForma.pdf](http://www.mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20(C%C3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta)/InterpretacionMedidasForma.pdf)
- Nelson, P. S. (2011). *Triangular Plots in Metamorphic Petrology*.
- Orellana, L. (Marzo de 2001). *ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA*. Obtenido de [http://www.hacienda.go.cr/cifh/sidovih/cursos/material\\_de\\_apoyo-f-c-cifh/1materialdeapoyocursoscifh/4estad%C3%ADsticabasica/estadisticadescriptiva-lillianaorellana.pdf](http://www.hacienda.go.cr/cifh/sidovih/cursos/material_de_apoyo-f-c-cifh/1materialdeapoyocursoscifh/4estad%C3%ADsticabasica/estadisticadescriptiva-lillianaorellana.pdf)
- Paladines, A. (1989). *Zonificación Geotectónica y Metalogenia del Ecuador*. Quito, Ecuador : mañana editores.
- Paladines, A., & Soto, J. (2010). *Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador*. Loja- Ecuador: UTPL.
- Petrelli, M. (26 de Julio de 2005). *PETROGRAPH*. Obtenido de <http://accounts.unipg.it/~maurip/SOFTWARE.htm>
- Pineda, D. (2015). *Comportamiento geoambiental de pasivos mineros a través de análisis químico y mineralógico del área minera Nambija, provincia de Zamora Chinchipe - Ecuador*. Loja, Ecuador : UTPL.
- Pineda, Diego. (2015). *Comportamiento geoambiental de pasivos mineros a través de análisis químico y mineralógico del área minera Nambija, provincia de Zamora Chinchipe - Ecuador*. Loja: UTPL.
- Pirajno, F. (2009). *Hidrothermal Processes and Mineral systems*. Australia: Springer.Science+business.media. b.v.
- PIZARRO, C. O., & DÁVILA, A. A. (Enero, Marzo de 2009). *ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X*. 4.
- PRODEMINCA. (Junio de 2000). *DEPOSITOS PORFIDICOS Y EPI- MESOTERMALES RELACIONADOS CON INTRUSIONES DE LA CORDILLERA EL CONDOR VOL.5*. Quito, Ecuador: Noción.

PRODEMINCA. (Junio de 2000). Potencial Minero Metalico y Guías de Exploración Vol. 1. Quito, Ecuador.

Ross, S. (2007). *Introducción a la Estadística*. Barcelona: REVERTÉ, S.A.

Santa Cruz, J. N. (1972). *ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA FORMACIÓN PUELCHES EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES*. Argentina: Coni S.A.C.I.F.I. Perú 684. Buenos Aires.

Schott, R. (2001).

Tolosana, D. R. (2011). Guía para el análisis espacial de datos composicionales. *Boletín Geológico y Minero*, 470-471.

Veintimilla, J. (2014). Caracterización geológica y mineralógica del sector El Tierrero, distrito minero Nambija, provincia de Zamora Chinchipe- Ecuador. Loja-Ecuador.

Veintimilla, J. E. (Noviembre de 2014). Caracterización Geológica y mineralógica del sector el Tierrero, distrito minero Nambija, provincia de Zamora Chinchipe- Ecuador. Loja: UTPL.



## **ANEXOS**

Anexo 1. Base de datos original.

Muestra	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	S	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Rb	Sr	ZrO2	SnO2	Sb2O3	MoO3	CeO2	HfO2	Ta2O5	WO3	PbO	Bi		
E1M1	1	6.27	18.2	52.2	0.86	1.49	2.72	11.1	0.63	0.14	0.04	0.57	5.07		0.16	0.02		0	0	0.01	0.12	0.32			0.03		0.01				
	2	7.36	17.9	51	0.82	1.86	2.65	11	0.61	0.15	0.04	0.56	5.32	0.02	0.01	0.15	0.02	0.01	0	0	0.01	0.13	0.24		0.04	0.03	0.05	0.02			
	3	5.3	18.3	52.5	0.82	1.64	2.8	11.3	0.64	0.14	0.04	0.58	5.26		0	0.17	0.02	0	0	0.01	0.09	0.23			0.03		0.01				
	4	6.82	18.7	50	0.84	1.63	2.72	11.7	0.67	0.15	0.04	0.6	5.42		0.02	0.17	0.02	0	0	0.01	0.1	0.22		0.03	0.02		0.01				
E1M2	1	3.55	4.44	33.6	1.37	1.57	0.12	31.1	0.27		0.07	1.55	19.9		0.09	0.09	0.01	0.02					2.13		0.13			0.02			
	2		4.71	37.7	1.46	1.38	0.08	31.2	0.26		0.07	1.52	19.2		0.07	0.09		0.02					2.06		0.1	0.02					
	3	4.14	4.5	35.7	1.44	1.47	0.09	30	0.26		0.07	1.44	18.5		0.05	0.09	0.01	0.02					2.02		0.12	0.02		0.03			
	4	4.68	4.59	32.3	1.41	1.57	0.1	31.2	0.28		0.07	1.57	19.8		0.09	0.1		0.02					2.17					0.03			
E1M3	1	4.18	11.2	50.6	1.17	1.41	4.12	18.7	0.53	0.03	0.06	0.9	5.98	0.02	0.04	0.1	0.06	0.01	0	0		0.16	0.71								
	2	4.49	11.1	49.6	1.25	1.46	4.15	19.4	0.52	0.03	0.05	0.91	5.97		0.04	0.1	0.06		0	0	0.02	0.1	0.64		0.05	0.02					
	3	3.47	11.5	51.2	1.25	1.42	4.02	18.8	0.52	0.03	0.06	0.9	5.92		0.03	0.1	0.06		0	0		0.16	0.56		0.03	0.02					
	4		12.1	53.3	1.18	1.57	4.09	19	0.54	0.03	0.06	0.9	6.2		0.03	0.09	0.06		0	0	0.02	0.17	0.6		0.05						
E2M1	1	8.36	10.5	39.7	1.2	0.36	3.69	25.4	0.44	0.02	0.05	1.39	7.13		0.06	0.02	0.19	0.01	0	0	0.01	0.17	1.22		0.06				0.1		
	2	9.24	10.2	38.8	1.17	0.43	3.84	25.5	0.44	0.03	0.05	1.37	7.08	0.03	0.07	0.02	0.15	0.01	0	0	0.01	0.18	1.28						0.1		
	3	6.52	10.2	40	1.27	0.49	3.8	26.4	0.46	0.04	0.05	1.43	7.36	0.03	0.07	0.02	0.17	0.01	0	0		0.17	1.37			0.1			0.1		
	4	5.86	10.5	41.4	1.21	0.41	3.85	25.9	0.44	0.03	0.05	1.38	7.16	0.02	0.05	0.01	0.15	0	0		0.16	1.25		0.06					0.1		
E2M2	1	6.6	7.01	35.8	1.39	0.2	0.9	30.2	0.42		0.07	1.76	13.5		0.06	0.01		0.02			0.01		1.97					0.03			
	2	8.94	7.04	32.9	1.37	0.18	0.9	30.2	0.43		0.06	1.79	13.8		0.07			0.02					2.12		0.05			0.03			
	3	6.98	7.36	35.9	1.46	0.18	0.89	29.7	0.4		0.07	1.73	13		0.06	0.01		0.01	0.02			1.9		0.04			0.03				
	4	8.51	6.98	34	1.35	0.17	0.9	30.1	0.43	0.02	0.06	1.76	13.6		0.07	0.02	0.01	0.02				2.01					0.03				
E3M1	1	5.32	11.6	42.4	1.12	0.32	5.57	22.2	0.46		0.05	1.07	8.6		0.04	0.02		0.01	0			0.25	0.79		0.07	0.01					
	2	5.74	11.5	42.2	1.08	0.38	5.49	22.2	0.45		0.05	1.07	8.68		0.04	0.02			0			0.21	0.81		0.09						
	3	4.18	12	42.5	1.09	0.32	5.71	22.5	0.46	0.02	0.05	1.11	8.82		0.05	0.02			0			0.22	0.9		0.09						
	4	5.39	12	41.8	1.15	0.34	5.53	22.2	0.46	0.02	0.05	1.07	8.62		0.05	0.02			0			0.24	0.88		0.08						
E3M2	1	4.78	7.92	37	1.42	0.29	1.87	29.9	0.31		0.06	1.68	12.8		0.07	0.02	0.01	0.01					1.88		0.06						
	2	2.83	7.56	38.3	1.37	0.27	1.82	30.5	0.33		0.06	1.72	13.1		0.07	0.02	0.01	0.01					1.94		0.07						
	3	5.49	8.28	36.4	1.29	0.27	1.83	29.6	0.31		0.06	1.67	12.7		0.07	0.02	0.01	0.01					1.86		0.08						
	4	5.66	7.48	36.5	1.34	0.28	1.92	30	0.33		0.06	1.69	12.8		0.07	0.02	0.01	0.01					1.7		0.07						
E3M3	1	4.19	5.05	46.4	1.28	0.5	0.3	26.1	0.2		0.06	1.59	12.7		0.06	0.01	0.01	0.01					1.42		0.1				0.01		
	2	5.5	4.86	45.7	1.18	0.48	0.34	25.9	0.21		0.06	1.6	12.6		0.06	0.01		0.01					1.4		0.08				0.02		
	3	5.44	5.2	46	1.2	0.49	0.33	25.7	0.21	0.01	0.06	1.58	12.3		0.05	0.02		0.01					1.4						0.01		
	4	1.37	4.99	49.5	1.25	0.44	0.3	6.22	0.2		0.06	1.6	12.5		0.05	0.02		0.01					1.47						0.02		
E4M1	1	6.37	6.68	34.4	1.38	2.22	0.1	26.2	0.29		0.07	1.66	18.6		0.06	0.13	0.01	0.03					1.71		0.08	0.02					
	2	8.29	6.27	33.4	1.28	2.02	0.09	26	0.28		0.07	1.67	18.5		0.06	0.15	0.01	0.03					1.86								
	3	4.85	6.37	34.1	1.33	2.11	0.11	26.9	0.31		0.07	1.75	19.5		0.07	0.16	0.01	0.03					2.13		0.13						
	4	6.73	6.3	33.5	1.31	2.1	0.1	26.4	0.3		0.07	1.71	19.2		0.07	0.15	0.01	0.01					1.99			0.02			0		
E4M2	1	6.41	6.68	36.6	1.5	1.42	1.04	26.7	0.47	0.02	0.05	1.82	10.2		0.05	0.13	0.12	0.02	0	0.02		1.62		0.02					0.01		
	2	4.71	6.27	37.1	1.58	1.51	1.07	27.3	0.49	0.02	0.07	1.88	10.6		0.05	0.14	0.12	0.02	0	0.02		1.59		0.02							
	3	6.21	6.37	35.7	1.5	1.39	1.05	27	0.5	0.02	0.06	1.85	10.3		0.06	0.14	0.12	0.02	0			1.45		0.02							
	4	4.34	6.3	37.8	1.48	1.5	1.06	27.4	0.47	0.02	0.06	1.88	10.6		0.05	0.14	0.15	0.02	0			1.49		0.02							
E5M1	1	5.68	9.05	29.5	1.51	0.21	0.1	33	0.25		0.06	1.59	16.3		0.09	0.02						2.49		0.06				0.03			
	2		8.98	32.7	1.62	0.19	0.11	34.4	0.26		0.07	1.66	17		0.09	0.02						2.84						0.05			
	3	4.45	8.9	30.9	1.51	0.2	0.08	33.1	0.25		0.07	1.58	16.3		0.08	0.01		0.02				2.52		0.05				0.03			
	4	2.33	8.97	31.8	1.52	0.22	0.1	33.8	0.26		0.07	1.6	16.5		0.08	0.02		0.02				2.62						0.03			
E5M2	1	3.57	10.2	34.3	1.92	0.56	1.32	30.4	0.37		0.07	1.28	13.8		0.07	0.02	0.01	0.01					2.09		0.06	0.02					
	2		10	38.2	1.87	0.58	1.33	30.5	0.35		0.07	1.27	13.7		0.06	0.01	0.01	0.01			0.02		1.97								
	3	1.36	9.66	36.3	1.9	0.69	1.33	30.8	0.36	0.02	0.06	1.29	14		0.07	0.02		0.02				2.09									
	4	4.95	9.94	35.3	1.85	0.5	1.36	29.4	0.35		0.07	1.22	13		0.06	0.02		0.01				1.86		0.05							
E5M3	1	7.63	7.66	34.9	1.56	0.79	0.68	30.7	0.61	0.05	0.06	1.6	11.7		0.08	0.01							1.93		0.05						
	2		8.07	40.9	1.59	0.78	0.7	31.5	0.61	0.05	0.07	1.63	11.9		0.06	0.01					0.02		2.11								
	3	4.76	7.45	36.3	1.59	0.83	0.68	31.5	0.63	0.04	0.07	1.67	12.1		0.09	0.02					0.02		2.21								
	4		7.74	40	1.54	0.87	0.65	32.3	0.61	0.03	0.07	1.66	12.2		0.07	0.01		0.01	0.01		0.02		2.11								
E6M1	1	6.7	18.8	53.3	0.46	2.89	3.96	2.74	0.82	0.06	0.05	0.21	9.26		0.01	0.12	0.01		0	0	0.01	0.19	0.23		0.08	0.03					
	2	6.79	18.2	53.3	0.47	2.75	4.11	2.72	0.85	0.05	0.05	0.23	9.67		0.01	0.13			0	0	0.01	0.22	0.23		0.11	0.03					
	3	10.2	18.9	50																											





## Anexo 2. Base de datos con la aplicación de la operación clausura.

Muestra	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	S	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	CuO	ZnO	As2O3	SnO2	Sb2O3	Na2O	Total
1	6.392	18.145	51.059	0.829	1.643	2.703	11.195	0.633	0.573	5.230	0.161	0.020	0.005	0.109	0.251	1.051	100
2	4.089	4.526	34.561	1.414	1.486	0.097	30.645	0.266	1.509	19.206	0.092	0.010	0.020	0.000	2.079	0.000	100
3	4.110	11.284	50.321	1.192	1.441	4.027	18.658	0.519	0.887	5.917	0.096	0.059	0.010	0.145	0.617	0.717	100
4	7.469	10.314	39.836	1.208	0.421	3.782	25.710	0.443	1.388	7.157	0.017	0.164	0.007	0.169	1.276	0.637	100
5	7.738	7.079	34.561	1.389	0.182	0.895	29.973	0.419	1.755	13.440	0.013	0.010	0.020	0.000	1.995	0.530	100
6	5.139	11.732	42.071	1.106	0.339	5.555	22.194	0.456	1.076	8.648	0.020	0.000	0.010	0.229	0.842	0.584	100
7	4.671	7.779	36.903	1.350	0.276	1.853	29.881	0.319	1.683	12.799	0.020	0.010	0.010	0.000	1.838	0.608	100
8	4.324	5.267	49.159	1.287	0.500	0.333	21.990	0.215	1.669	13.128	0.016	0.010	0.010	0.000	1.491	0.601	100
9	6.533	6.378	33.709	1.319	2.104	0.100	26.265	0.294	1.690	18.871	0.147	0.010	0.025	0.000	1.915	0.640	100
10	5.706	6.746	38.759	1.596	1.532	1.111	28.543	0.508	1.956	10.980	0.145	0.134	0.021	0.000	1.619	0.643	100
11	4.104	8.867	30.851	1.522	0.203	0.096	33.173	0.252	1.588	16.327	0.017	0.000	0.020	0.000	2.586	0.395	100
12	3.258	9.842	35.635	1.865	0.576	1.321	29.948	0.354	1.251	13.478	0.017	0.010	0.012	0.000	1.981	0.453	100
13	5.985	7.468	36.737	1.517	0.790	0.655	30.433	0.594	1.584	11.569	0.012	0.000	0.010	0.000	2.019	0.627	100
14	7.721	18.527	52.132	0.463	2.706	3.996	2.674	0.826	0.218	9.258	0.119	0.010	0.000	0.203	0.223	0.924	100
15	9.255	18.591	50.496	0.508	2.237	4.144	2.372	0.879	0.251	9.962	0.087	0.010	0.000	0.234	0.229	0.745	100
16	8.440	18.431	52.386	0.490	2.643	3.165	2.886	0.800	0.238	9.198	0.077	0.010	0.010	0.164	0.226	0.836	100
17	0.000	5.630	40.116	1.043	7.182	0.447	17.244	0.263	0.682	25.221	0.870	0.072	0.021	0.000	0.805	0.403	100
18	0.000	4.870	29.641	0.997	10.707	0.215	17.997	0.253	1.005	24.781	7.670	0.375	0.000	0.000	1.000	0.490	100
19	7.736	8.168	35.891	1.205	4.838	1.016	21.340	0.373	1.457	15.302	1.116	0.085	0.010	0.000	0.999	0.464	100
20	0.000	8.799	38.033	1.308	5.324	1.075	23.538	0.406	1.611	16.959	1.274	0.097	0.010	0.000	1.169	0.397	100
21	6.013	12.347	48.125	0.882	3.614	3.335	11.351	0.668	0.773	11.764	0.204	0.019	0.000	0.104	0.260	0.539	100
22	0.000	6.919	66.824	0.847	6.850	1.417	7.072	0.310	0.165	8.334	0.295	0.010	0.000	0.000	0.204	0.752	100
23	4.605	12.026	60.793	0.485	6.003	4.820	2.229	0.566	0.167	7.037	0.154	0.010	0.000	0.247	0.196	0.661	100
24	5.178	12.156	48.968	0.709	4.655	3.753	9.398	0.482	0.736	12.600	0.425	0.059	0.000	0.173	0.185	0.522	100
25	7.632	9.547	41.457	1.268	0.197	2.769	18.310	0.404	2.283	14.870	0.029	0.067	0.010	0.089	0.688	0.379	100
26	6.781	15.354	53.601	0.858	0.982	2.845	10.692	0.660	0.876	6.241	0.124	0.020	0.000	0.104	0.251	0.610	100
27	8.617	18.031	46.945	0.558	3.805	3.153	3.432	0.802	0.311	13.125	0.164	0.010	0.000	0.187	0.234	0.627	100
28	10.691	11.145	47.249	0.873	0.304	3.957	13.339	0.352	1.257	9.776	0.045	0.030	0.010	0.209	0.372	0.391	100
29	0.000	6.989	38.014	1.363	0.184	1.013	27.934	0.306	1.446	20.860	0.021	0.021	0.023	0.000	1.827	0.360	100
30	6.315	10.862	45.276	0.906	3.757	2.022	14.467	0.506	0.743	13.874	0.212	0.020	0.010	0.000	0.452	0.577	100
31	0.000	9.646	44.707	1.092	4.809	1.739	17.626	0.464	0.877	18.071	0.270	0.010	0.010	0.000	0.678	0.000	100
32	7.088	12.412	36.050	1.224	4.334	1.105	21.981	0.581	0.979	11.547	0.907	0.027	0.010	0.000	0.996	0.757	100
33	7.239	16.134	50.466	0.783	0.328	2.389	10.914	0.748	0.512	9.320	0.020	0.032	0.010	0.099	0.273	0.732	100
34	19.494	11.046	35.314	1.145	1.032	1.470	20.593	0.432	0.645	7.500	0.047	0.032	0.010	0.080	0.865	0.295	100
35	13.572	6.270	25.497	1.175	7.557	0.521	22.878	0.187	0.741	14.071	0.711	5.112	0.010	0.000	1.208	0.490	100
36	4.262	23.541	48.699	0.899	0.049	3.341	4.938	0.987	0.546	10.161	0.208	0.066	0.010	0.213	0.245	1.834	100
39	7.441	26.707	41.865	0.449	0.067	3.194	5.647	1.052	0.873	11.285	0.038	0.041	0.000	0.139	0.232	0.970	100
41	7.054	5.844	33.428	1.286	0.747	0.281	27.412	0.192	1.252	19.601	0.029	0.010	0.019	0.000	1.979	0.865	100
45	7.794	8.339	37.628	1.084	0.234	0.081	22.098	0.505	2.054	18.387	0.023	0.020	0.017	0.000	1.145	0.591	100

### Anexo 3. Representaciones gráficas.

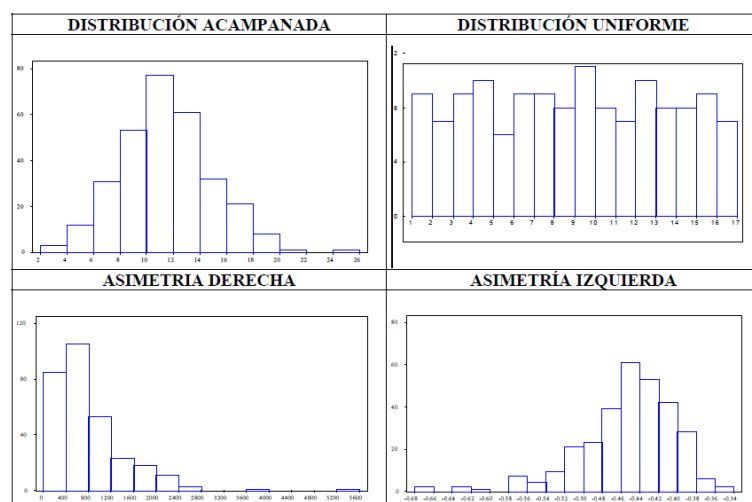
**Histograma.-** Es un diagrama de barras que muestra gráficamente las frecuencias o las frecuencias relativas de los datos que aparecen dentro de los distintos intervalos de clase. Dichas frecuencias de clase también se pueden representar gráficamente mediante polígonos de frecuencias (o de frecuencias relativas). Cada intervalo de clase es identificado por un valor, que generalmente coincide con el punto medio del intervalo. Después estos valores se representan gráficamente frente a las frecuencias de los intervalos de clase que representan y los puntos del gráfico se conectan mediante líneas rectas para conseguir el polígono de frecuencias.

**Polígono de frecuencia.-** gráfico especialmente útil para comparar conjunto de datos, puesto que en un mismo gráfico se pueden mostrar varios polígonos de frecuencias. (Ross, 2007).

**Sesgo.-** nos indica el grado de simetría o falta de la misma en una distribución. Como se muestran en los gráficos de la parte de abajo. La distribución es simétrica si la mitad izquierda de la distribución es semejante a la mitad derecha; siendo para este caso la media y la mediana aproximadamente iguales. Cuando la cola es más dispersa en el lado de los valores altos de la variable se caracteriza como asimetría positiva; si se da en el lado de los valores más bajos se la conocen como asimetría negativa.

En caso de asimetría, los valores de la media, de la mediana y de la moda difieren. En concreto, si la asimetría es positiva:  $X > \text{Mdn} \geq \text{Mo}$ ; si negativa:  $X < \text{Mdn} \leq \text{Mo}$

#### Distribución de la curva.



Fuente: (Orellana, 2001)

**Anexo 4. Matriz de correlación.**

	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	S	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	CuO	ZnO	As2O3	SnO2	Sb2O3	Na2O
MgO	1															
Al2O3	0.258	1														
SiO2	-0.141	0.474	1													
P2O5	-0.185	-0.704	-0.664	1												
S	-0.282	-0.239	0.033	-0.247	1											
K2O	0.169	0.654	0.629	-0.628	-0.148	1										
CaO	-0.115	-0.740	-0.772	0.943	-0.257	-0.653	1									
TiO2	0.210	0.927	0.483	-0.664	-0.212	0.597	-0.707	1								
MnO	-0.100	-0.568	-0.610	0.765	-0.400	-0.504	0.798	-0.502	1							
Fe2O3	-0.429	-0.551	-0.598	0.357	0.328	-0.686	0.423	-0.521	0.396	1						
CuO	-0.292	-0.229	-0.278	-0.022	0.657	-0.248	0.001	-0.213	-0.031	0.446	1					
ZnO	0.308	-0.166	-0.342	0.057	0.355	-0.173	0.090	-0.239	-0.082	0.061	0.109	1				
As2O3	-0.105	-0.546	-0.580	0.699	-0.330	-0.612	0.739	-0.520	0.621	0.509	-0.214	-0.007	1			
SnO2	0.285	0.709	0.574	-0.701	-0.163	0.927	-0.710	0.640	-0.544	-0.617	-0.201	-0.144	-0.568	1		
Sb2O3	-0.142	-0.671	-0.741	0.867	-0.276	-0.697	0.931	-0.637	0.724	0.477	-0.018	0.055	0.747	-0.671	1	
Na2O	0.073	0.641	0.355	-0.385	-0.185	0.333	-0.465	0.611	-0.358	-0.419	-0.092	-0.066	-0.262	0.423	-0.360	1

## Anexo 5. Construcción de los diagramas quimiográficos.

Se utilizó un diagrama composicional de referencia CaO-MgO- SiO<sub>2</sub> – CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O de (Cornelis & Hurlbut, 1997), en el que aparecen representados los minerales calcita (CaCO<sub>3</sub>), dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), Talco (Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>), tremolita Ca<sub>2</sub>Mg<sub>5</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>, Cuarzo (SiO<sub>2</sub>), Wollastonita (CaSiO<sub>3</sub>), diópsido (CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), forsterita (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>).

1. Una vez obtenidos y corregidos los datos del análisis químico en **porcentaje de peso**, se ingresan y se tabulan en una hoja de Excel como se muestra en la ilustración A5-1

	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	Sample	Symbol	Color	Plot	mCaO	mSiO2	Mp2o5	mMgO	
2	E1M1		1	1	1	0.19962	0.84985	0.00584	0.15856
3	E1M2		1	1	1	0.54646	0.57525	0.00996	0.10145
4	E1M3		1	1	1	0.33271	0.83757	0.0084	0.10197
5	E2M1		1	1	1	0.45845	0.66304	0.00851	0.18529
6	E2M2		1	1	1	0.53447	0.57525	0.00979	0.19195
7	E3M1		1	1	1	0.39575	0.70025	0.00779	0.12748

Ilustración A5-1

2. Al software PetroGraph, se importan la hoja de Excel para calcular con este el **número de moles** de cada óxido en la muestra. Con la función *Molar* encontrada en el submenú Geochemical Operation, menú Operation Window.

Se hizo la comprobación del cálculo número de moles que proporciona el software:

- Se seleccionó un mineral por ejemplo: la wollastonita que tiene la siguiente composición: 48.28% CaO y 51.72%SiO<sub>2</sub>.
- Se procedió a dividir la composición del Óxido para el peso atómico de la composición:
 
$$\text{SiO}_2 = 51.72 / 60.1 = 0.8605 \text{ número de moles}$$

$$\text{CaO} = 48.28 / 56.08 = 0.861 \text{ número de moles}$$
- En el software se ingresó la composición del mineral wollastonita como se ve en la ilustración A5-2.



	SiO2	P2O5	S	K2O	CaO	TiO2	MnO
Af5	41.87	0.45	0.07	3.19	5.65	1.05	
Af6	53.68	0.22	0.04	3.98	1.25	0.82	
Af7	33.43	1.29	0.75	0.28	27.41	0.19	
Af9	45.30	0.29	0.03	1.77	1.07	0.76	
Af10	35.34	1.25	0.29	0.12	25.71	0.40	
Af11	43.58	0.39	0.00	3.82	2.39	1.22	
Af12	37.63	1.08	0.23	0.08	22.10	0.51	
Af15,16,17	30.75	1.14	0.26	0.61	26.54	0.16	
Af26	65.31	0.35	0.05	2.08	0.90	0.99	
Diópsido	55.49	0.00	0.00	0.00	25.90	0.00	
Wolastonita	51.70	0.00	0.00	0.00	48.30	0.00	
Calcita	0.00	0.00	0.00	0.00	56.03	0.00	

Ilustración A5-2

- Se aplicó la función molar en el software y nos dio el mismo número molar calculado manualmente Ilustración A5-3.

	mSiO2	mP2O5	mK2O	mCaO	mTiO2
Af5	0.69682	0.00317	0.03391	0.1007	0.01
Af6	0.8934	0.00157	0.04221	0.02231	0.01
Af7	0.5564	0.00906	0.00299	0.4888	0.0
Af9	0.75403	0.00201	0.01883	0.01905	0.00
Af10	0.58824	0.00879	0.00125	0.45848	0.1
Af11	0.72536	0.00277	0.04055	0.04267	0.01
Af12	0.6263	0.00764	0.00086	0.39405	0.00
Af15,16,17	0.51181	0.00805	0.00643	0.47331	0.00
Af26	1.08699	0.00244	0.02205	0.01597	0.01
Diópsido	0.9236	0	0	0.46184	
Wolastonita	0.86052	0	0	0.86127	
Calcita	0	0	0	0.00011	

Ilustración A5-3.

- Una vez obtenido el número de moles de cada óxido en el software PetroGraph copiamos los valores de estos en una hoja de Excel. Usamos los valores **Número de moles** de CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, MnO y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ver ilustración A5-4), se corrige el valor dado en número de moles (columna de **Numero de Moles Corregidas** en la ilustración A5-4) para el MgO y el CaO de la siguiente manera: para el MgO se suma el manganeso porque este puede remplazarlo en los silicatos y para el CaO se resta 3.3 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> asumiendo que hay apatito, que es el fosfato más común en todas las rocas. El SiO<sub>2</sub> queda tal como está. Ver la siguiente Ilustración A5-4.

Número de moles					Número de moles corregidas			
mCaO	mSiO2	mP2o5	mMgO	mMnO	mSiO2	mMgO	mCaO	A
0.19962	0.84985	0.00584	0.15856	0.00808	0.84985	0.16664	0.180348	0.7100
0.54646	0.57525	0.00996	0.10145	0.02127	0.57525	0.12272	0.513592	0.474
0.33271	0.83757	0.0084	0.10197	0.01251	0.83757	0.11448	0.30499	0.6663
0.45845	0.66304	0.00851	0.18529	0.01956	0.66304	0.20485	0.430367	0.5107
0.53447	0.57525	0.00979	0.19195	0.02475	0.57525	0.2167	0.502163	0.4445

Ilustración A5-4

- Para la columna del **valor del vértice** (Ilustración A5-5) se procedió a realizar el cálculo transformando el número de moles corregidas  $mSiO_2$ ,  $mCaO$ ,  $mMgO$  a fracciones molares utilizando las siguientes operaciones:
  - $A = mSiO_2 / (mSiO_2 + mMgO + mCaO)$
  - $B = mCaO / ((mCaO + mMgO + mSiO_2))$
  - $C = mMgO / (mMgO + mCaO + mSiO_2)$
- Para la columna de los **vértices en porcentaje** (Ilustración A5-5) se multiplico el valor obtenido de A, B y C por 100. Todo este procedimiento se le aplicó a los minerales calcita, dolomita, talco, tremolita, Cuarzo, Wollastonita, diópsido, forsterita, cuyos porcentajes en peso se obtuvieron de la base de datos de webmineral.com, esta página se la valido con (Cornelis & Hurlbut, 1997) por ejemplo:
  - El mineral Calcita en webmineral.com nos dio:  
CaO=56.03%  
CO<sub>2</sub>=43.97%
  - El mineral Calcita en (Cornelis & Hurlbut, 1997) nos dio:  
CaO=56%  
CO<sub>2</sub>=44%

	M	N	O	P	Q	R
	Valor del vertice			Vertices en porcentajes		
	A	B	C	A%	B%	C%
0348	0.71007939	0.15068706	0.13923355	71.0079393	15.068706	13.9233547
3592	0.4748003	0.42390897	0.10129073	47.4800299	42.390897	10.129073
0499	0.66630338	0.24262553	0.09107109	66.6303379	24.2625533	9.10710876
0367	0.51071552	0.331496	0.15778848	51.0715521	33.1495998	15.7788481
2163	0.44451296	0.38803644	0.1674506	44.451296	38.8036439	16.7450601
0043	0.57731484	0.30507864	0.11760652	57.7314845	30.5078639	11.7606516

Ilustración A5-5

4. Se crea una tabla de Excel donde se colocan los valores de A%, B% y C% (muestras y minerales), la misma que se importa al software PetroGraph. Se abre el menú *New Triangular Plot* en el cual aparece una nueva ventana en la cual se ubican los valores de cada vértice del triángulo y se los eligió como muestra la ilustración A5-6. Luego se hace click en *T-Plot* y se abre una ventana como la que se muestra en la ilustración A5-7.

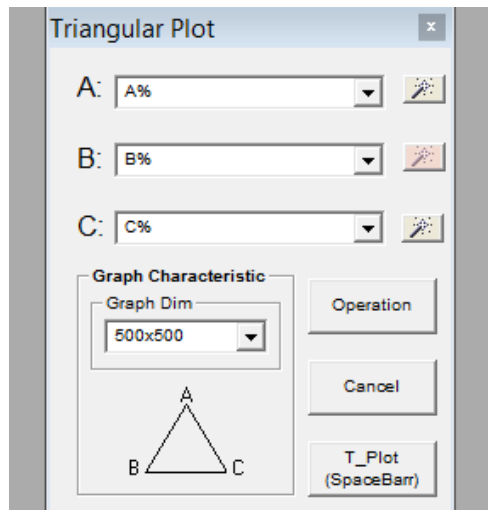


Ilustración A5-6

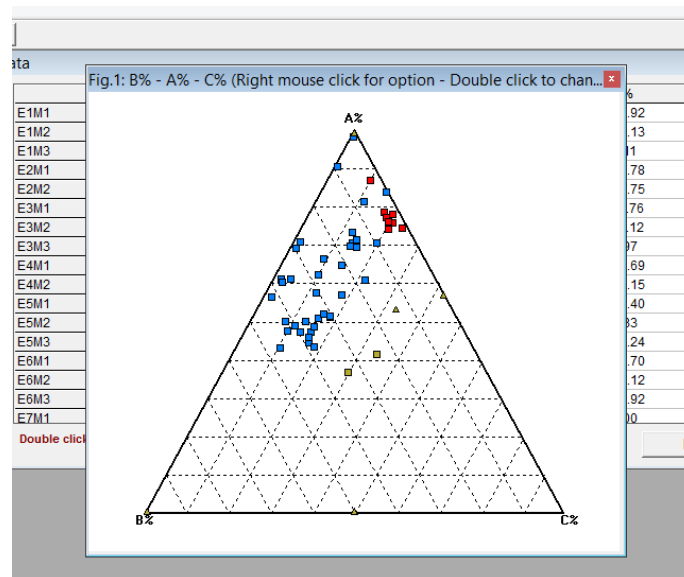


Ilustración A5-7

5. Finalmente se edita el triángulo de la ilustración A5-7 en Paint. Dándonos el siguiente resultado. Ilustración A5-8.

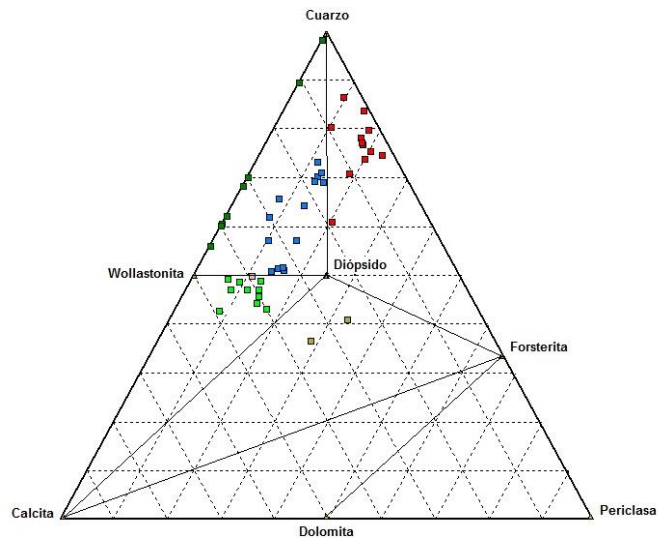


Ilustración A5-8

### Anexo 6. Preparación de Estándares para determinar sodio.

Se calculó el estándar para sodio en una concentración de 1000ppm a 1, 2.5 y 5ppm; en balones de 25ml.

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

Datos:

$$C1 = 1000\text{ppm}$$

$$C2 = 1, 2.5, 5 \text{ ppm}$$

$$V2 = 25\text{ml}$$

$$V1 = ?$$

$$V1 = \frac{C2 \times V2}{C1}$$
$$V1 = \frac{1\text{ppm} \times 25\text{ml}}{1000\text{ppm}}$$
$$V1 = 0.025\text{ml}$$
$$V1 = 0.025\text{ml} \times 1000$$
$$V1 = 25\mu\text{l}$$

$$V1 = \frac{C2 \times V2}{C1}$$
$$V1 = \frac{2.5\text{ppm} \times 25\text{ml}}{1000\text{ppm}}$$
$$V1 = 0.0625\text{ml}$$
$$V1 = 0.0625\text{ml} \times 1000$$
$$V1 = 62.5\mu\text{l}$$

$$V1 = \frac{C2 \times V2}{C1}$$
$$V1 = \frac{5\text{ppm} \times 25\text{ml}}{1000\text{ppm}}$$
$$V1 = 0.125\text{ml}$$
$$V1 = 0.125\text{ml} \times 1000$$
$$V1 = 125\mu\text{l}$$

En base a los tres estándares (1, 2.5, 5 ppm) se obtuvieron volúmenes en  $\mu\text{l}$  los cuales nos sirven para la elaboración de la curva de calibración y el posterior análisis de la muestra.

## Anexo 7. Cálculos para determinar un óxido de un mineral por AAS.

Con la absorción atómica determinamos el catión de sodio.

- Por ejemplo la primera lectura nos dio 3.857ppm, para realizar la digestión se utilizó un peso de 1.5 en 100ml para cada muestra.
- Se calculó el %de Na:

Volumen= 100ml= 0.1 L

Peso= 1.5 gr

$$3.857ppm \left( \frac{mg}{L} \right) \times 0.1L = 0.3857mg$$

$$\frac{0.3857mg \times \frac{gr}{1000mg}}{1.5g} \times 100 = 0.0257\%de Na$$

Se realiza el cálculo del factor gravimétrico:

$$Fg = \frac{PM Na_2O}{PA Na}$$

PM= Peso molecular

PA= Peso atómico

$$Fg = \frac{62}{23} = 2.69$$

$$Na_2O = 0.0257\% \times 2.69$$

$$Na_2O = 0.069\%$$

Este cálculo se lo aplico a las 39 muestras.

### Factor de corrección para Na<sub>2</sub>O.

Se realizó el cálculo del factor en base a:

- Las lecturas de las muestras digeridas por ácidos: fluorhídrico (48%), clorhídrico (6M), nítrico concentrado, perclórico (72%) obteniendo:  
E1M1:1.054  
AF2: 1.229
- Lecturas de las muestras digeridas con ácido salicílico:  
E1M1: 0.069  
AF2: 0.037

Con las lecturas dadas se calculó el factor:

- $Factor 1 = \frac{1.054}{0.069} = 15.27$

- $Factor\ 2 = \frac{1.229}{0.037} = 33.21$

Se multiplica el factor 1 a las lecturas del Na<sub>2</sub>O digestadas en ácido salicílico desde la E1M1 hasta E12M3 y el factor 2 a las lecturas AF1, AF5, AF7, AF12 obteniendo los valores del Na<sub>2</sub>O corregidos como se ven en la Ilustración A7-1.

Muestra	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O valor corregido
E1M1	0.069	1.059
E1M2	-0.003	-0.052
E1M3	0.048	0.729
E2M1	0.042	0.640
E2M2	0.035	0.532
E3M1	0.038	0.586
E3M2	0.040	0.610
E3M3	0.038	0.573
E4M1	0.042	0.642
E4M2	0.040	0.611
E5M1	0.026	0.399
E5M2	0.030	0.458
E5M3	0.042	0.649
E6M1	0.061	0.932
E6M2	0.049	0.749
E6M3	0.055	0.842
E7M1	0.026	0.391
E7M2	0.032	0.484
E7M3(1)	0.031	0.478
E7M3(2)	0.025	0.379
E8M1	0.036	0.555
E8M2	0.048	0.739
E8M3	0.044	0.675
E9M1	0.035	0.528
E9M2	0.026	0.394
E9M3	0.039	0.601
E10M1	0.041	0.629
E10M2	0.026	0.392
E10M3	0.023	0.347
E11M1	0.038	0.584
E11M2	-0.008	-0.115
E11M3	0.050	0.766
E12M1	0.048	0.736
E12M2	0.019	0.295
E12M3	0.032	0.491
Af1	0.056	1.871
Af 5	0.031	1.014
Af 7	0.027	0.891
Af 12	0.018	0.605

Ilustración A7-1.

