

ZONIFICACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA DE LAS ROCAS PUZOLÁNICAS DEL  
MUNICIPIO DE IZA

ELIANA GISSELL ROMERO SALCEDO  
ELIANA MARCELA MEDINA RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
SOGAMOSO  
2015

ZONIFICACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA DE LAS ROCAS PUZOLÁNICAS DEL  
MUNICIPIO DE IZA

ELIANA GISSELL ROMERO SALCEDO  
ELIANA MARCELA MEDINA RODRIGUEZ

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

WILSON ENARIO NARANJO M. Director de tesis  
Docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Seccional Sogamoso

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
SOGAMOSO  
2015

Nota de Aceptación

---

---

---



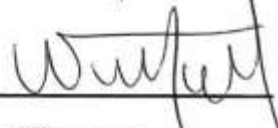
---

Firma jurado



---

Firma jurado



---

Director

Sogamoso 20 de Agosto del 2015

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi hijo Juan Pablo P. por ser ese motor en mi vida que me impulsa a cumplir mis metas, así como lo fue la culminación de mi trabajo de investigación.  
A mi Señora madre Yolanda Rodríguez por su apoyo y colaboración incondicional que necesite a largo de mi carrera. A mi señor Padre Oswaldo Medina por sus valiosas enseñanzas y su apoyo moral, con el cual nunca me dejo decaer.  
A mi Novio Diego Guerrero quien me brindo su compañía incondicional, me apoyo y fortaleció siempre, demostrándome que todo en la vida se puede.  
A mis abuelos Gilma y Miguel por su valiosa confianza depositada en mí. A mis hermanos Dario y Felipe por cada palabra de aliento que tuvieron hacia mí, a mis cuñadas Alba, Lady y mi sobrina por estar siempre cuando más las necesitaba.  
A cada uno de los maestros que aportaron en mi formación como profesional, aquellos que siempre depositaron la confianza en mí.  
A mi amiga del alma y compañera de tesis Eliana Romero por su amistad sincera e incondicional.  
A mis amigos/as que estuvieron apoyándome en la escritura y culminación este trabajo de investigación.  
Eliana M. Medina R.

Dedico este trabajo a Dios en Agradecimiento a todos los milagros que hace en mi vida, a todas las oportunidades que me ha dado, El dueño de mi Felicidad.  
A mi Papi Henry Romero, mi ejemplo a seguir, mi Admiración, mi apoyo incondicional, que Amo con mi Corazón,  
A mi Mami Stellita Salcedo por su Amor incondicional, por ser mi cómplice en todos mis sueños y estudios, la que también trasnocho y se sacrificó conmigo.  
A mi Geris Romero, mi Todo, mi Hermana, mi amiga, por la que doy mi Vida.  
A mi Hermano Diego Romero mi bastón, el que Junto con Eli Salazar me han regalado mi mayor motivación... Mi Primer Sobri.  
A Mis Abuelos, Tíos, Primos porque cada uno hace parte de mi corazón.  
A Enrique Pérez mi Amigo y director espiritual, quien me mostro que con el Amor de Dios todo es posible y los sacrificios se convierten en lindas oportunidades.  
A Eliana Medina, mi amiga y compañera, porque nos demostramos que cuando se camina con alguien en todo momento, los esfuerzos tienen buenos resultados.  
A mis compañeros por el apoyo y el amor compartido por la Ing. Geológica.

Eliana G. Romero Salcedo

## AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecemos a Dios por la compañía y guía que nos brindó en todo el transcurso de nuestra carrera, sin dudar que fue un largo camino de sacrificios y esfuerzos que fortalecieron nuestras vidas.

Agradecemos infinitamente el apoyo incondicional de nuestro director de tesis el Ingeniero Wilson Enario Naranjo, su guía, colaboración y cada una de las oportunidades han sido indispensables en nuestro aprendizaje.

Agradecemos a la Ingeniera Sandra Manosalva por compartirnos parte de sus conocimientos, fue para nosotras un privilegio poder contar con ella como profesional y aun mas como persona.

A Don Carlos Vargas petrógrafo de la Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, quien nos brindó sus conocimientos, siendo una guía primordial en el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

Agradecimiento especial a nuestras familias por su apoyo, comprensión, colaboración y por cada uno de los esfuerzos que hicieron para que pudiéramos llegar al final de esta etapa de nuestras vidas.

Agradecemos de Corazón la ayuda que recibimos de nuestro amigo Felipe Pérez.

Agradecimiento a nuestros valiosos amigos/as, quienes estuvieron siempre dispuestos a colaborarnos y nos mantuvieron con una voz de aliento.

## CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. OBJETIVOS .....	14
3. GENERALIDADES .....	15
3.1. DESARROLLO DE PROYECTO .....	15
3.2 LOCALIZACION .....	16
3.3. ANTECEDENTES .....	17
4. GEOLOGIA.....	19
4.1 GEOLOGIA REGIONAL .....	20
4.1.1. TECTONICA.....	20
4.1.2. ESTRATIGRAFIA.....	22
4.2 TOMA DE MUESTRAS .....	26
4.2.1 MUESTREO EN CAMPO.....	27
4.3 GEOLOGIA LOCAL.....	27
4.3.1 FORMACION ARENISCA TIERNA (K2t) .....	29
4.3.2 FORMACION GUADUAS (K2K6g).....	29
4.3.3 RIOLITA (N2n9).....	30
5. CARACTERIZACION QUIMICA Y MINERALOGICA. ....	35
5.1. REQUISITOS QUÍMICOS DE LA PUZOLANA DENTRO DE LA INDUSTRIA CEMENTERA.....	35
5.2. MÉTODO DE ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X. ....	38
5.3 RESULTADOS QUIMICOS OBTENIDOS .....	42
5.4 GENERALIDADES DE LA PETROGRAFIA EN EL ANALISIS DE PUZOLANAS NATURALES.....	43
5.5 CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS DE LA PUZOLANA .....	45
6. ZONIFICACIÓN. ....	50
6.1 CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR CADA UNA DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS. ....	50
6.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CONCENTRACIONES QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS. ....	75
6.3 ZONIFICACIÓN DE CONCENTRACIONES MINERALÓGICAS FAVORABLES Y NO FAVORABLES EN LA ZONA DE ESTUDIO. ....	96

6.3.1 CORRELACIÓN RESULTADOS QUIMICOS DE ALÚMINA Y RESULTADOS MINERALOGICOS DE MINERALES APORTANTES A $Al_2O_3$ .....	96
6.3.2 CORRELACIÓN RESULTADOS QUIMICOS DE SILICE Y RESULTADOS MINERALOGICOS DE MINERALES APORTANTES A $SiO_2$ .....	98
6.3.3 ZONIFICACIÓN POR LA CLASIFICACIÓN DE MINERALES QUE APORTAN AL SILICE.....	100
6.3.4 CORRELACIÓN RESULTADOS QUIMICOS DE HIERRO Y RESULTADOS MINERALOGICOS DE MINERALES APORTANTES A $Fe_2O_3$ .....	103
CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	108

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Resultados químicos obtenidos.....	42
Tabla 2. Resultados petrográficos obtenidos.....	46
Tabla 3. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1621.....	51
Tabla 4. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1622.....	52
Tabla 5. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1623.....	53
Tabla 6. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1624.....	54
Tabla 7. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1625.....	55
Tabla 8. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1626.....	56
Tabla 9. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1627.....	57
Tabla 10. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1628.....	58
Tabla 11. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1629.....	59
Tabla 12. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1630.....	60
Tabla 13. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1631.....	61
Tabla 14. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1632.....	62
Tabla 15. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1633.....	63
Tabla 16. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1634.....	64
Tabla 17. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1635.....	65
Tabla 18. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1636.....	66
Tabla 19. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1637.....	67
Tabla 20. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1638.....	68
Tabla 21. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1639.....	69
Tabla 21. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1640.....	70
Tabla 22. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1641.....	71
Tabla 23. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1642.....	72
Tabla 24. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1643.....	73
Tabla 25. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1644.....	74

## LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen1. Malla de muestreo.....	26



## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág
Grafica 1. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1621.....	75
Grafica 2. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1622.....	76
Grafica 3. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1623.....	77
Grafica 4. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1626.....	78
Grafica 5. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1628.....	79
Grafica 6. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1629.....	80
Grafica 7. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1630.....	81
Grafica 8. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1631.....	82
Grafica 9. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1632.....	83
Grafica 10. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1633.....	84
Grafica 11. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1634.....	85
Grafica 12. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1635.....	86
Grafica 13. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1636.....	87
Grafica 14. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1637.....	88
Grafica 15. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1638.....	89
Grafica 16. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1639.....	90
Grafica 17. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1640.....	91
Grafica 18. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1641.....	92
Grafica 19. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1642.....	93
Grafica 20. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1643.....	94
Grafica 21. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1644.....	95

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Esquema metodológico del Proyecto.....	15
Figura 2: Localización geográfica de la zona de estudio.....	16
Figura 3. Mapa geológico de la zona.....	20
Figura 4.: Geología Regional.....	22
Figura 5. Panorámica del cuerpo volcánico delza.....	27
Figura 6. Imagen Rapid Eye.....	28
Figura 7. Falla local límite del contacto .....	29
Figura 8. Relieve de la zona de estudio, explotación de puzolana a cielo abierto.....	30
Figura 9. Panorámica cantera de explotación de Puzolana.....	30
Figura 10. Imagen de muestras clasificadas en el rango de Riolita.....	31
Figura 11. Imagen de muestras clasificadas en el rango de Riolita.....	32
Figura 12. Imagen de muestras clasificadas en el rango de Riolita.....	32
Figura 13. Fotografía de punto de extracción de muestra No. 1139.....	33
Figura 14. Mapa Geológico del Área de Estudio a escala 1:1500.....	34
Figura 15. Imagen representativa del efecto álcali- sílice.....	37
Figura 16. Mecanismo de la Fluorescencia de rayos -X.....	39
Figura 17. Representacion del desplazamiento de los electrones FRX.....	40
Figura 18.Representación esquema de fluorescencia de rayos X Clásico.....	41
Figura 19. Clasificación para rocas volcánicas basado en Streckeisen, 1978.....	44
Figura 20. Vista microscópica de los anteriores minerales.....	47
Figura 21. Vista microscópica de minerales.....	48
Figura 22. Vista microscópica de minerales accesorios.....	49
Figura 23. Vista microscopica plagioclasa.....	50
Figura 24. Zonificación por concentraciones de Alúmina $Al_2O_3$ .....	96
Figura 25. Zonificación de minerales aportantes Alúmina $Al_2O_3$ .....	97
Figura 26. Zonificación por concentraciones de Sílice $SiO_2$ .....	98
Figura 27. Zonificación de minerales aportantes a Sílice $SiO_2$ .....	99
Figura 28. Zonificación por concentraciones de Mineral Amorfo.....	101
Figura 29. Zonificación por concentraciones de Mineral Cristalino.....	102
Figura 30.Zonificación por concentraciones de Hierro $Fe_2O_3$ .....	103
Figura 31.Zonificación por concentraciones de Hierro $Fe_2O_3$ .....	104
Figura 32. Zonificación por concentraciones de minerales en fase amorfa contrarrestado con el porcentaje de material arcilloso.....	105

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1621

Anexo B. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1622  
Anexo C. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1623  
Anexo D. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1624  
Anexo E. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1625  
Anexo F. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1626  
Anexo G. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1627  
Anexo H. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1628  
Anexo I. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1629  
Anexo J. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1630  
Anexo K. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1631  
Anexo L. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1632  
Anexo M. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1633  
Anexo N. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1634  
Anexo O. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1635  
Anexo P. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1636  
Anexo Q. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1637  
Anexo R. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1638  
Anexo S. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1639  
Anexo T. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1640  
Anexo V. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1641  
Anexo W. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1642  
Anexo X. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1643  
Anexo Y. Reporte de Análisis petrográfico de la muestra con código 1644  
Anexo Z. Mapa Geológico Zona de estudio  
Anexo A.1 Diagrama de concentración Sílice Químico  $\text{SiO}_2$   
Anexo A.2 Diagrama de concentración Minerales aportantes de Sílice  
Anexo A.3 Diagrama de concentración Minerales aportantes de Sílice Amorfo  
Anexo A.4 Diagrama de concentración Minerales aportantes Sílice Cristalino  
Anexo A.5 Diagrama de concentración Alúmina Química  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
Anexo A.6. Diagrama de concentración Minerales aportantes de Alúmina  
Anexo A.7 Diagrama de concentración Hierro Químico  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
Anexo A.8. Diagrama de concentración Minerales aportantes de Hierro  
Anexo A.9. Diagrama concentraciones de minerales en fase amorfa contrarrestada con el porcentaje de material arcilloso.

## RESUMEN

La Puzolana natural usada en la industria cementera de la región, corresponde a una roca efusiva de composición Riodacítica extraída del domo Volcánico de Iza. La calidad del cemento con la adición de puzolana aumenta en cuanto a su resistencia y durabilidad, puesto que la puzolana tiene la propiedad de reaccionar en presencia de agua y cal para convertirse en un aglomerante. Por ser un yacimiento de origen Volcánico, la materia prima es heterogénea en sus características y no se ha encontrado un método de control que pueda la pueda caracterizar en su totalidad. El presente trabajo correlaciona dos Técnicas Analíticas la Química por fluorescencia de Rayos X y la Mineralógica por Microscópica Óptica, de modo que se pueda contribuir con el conocimiento del yacimiento y ofrecer información a la industria cementera que contribuya con el mejoramiento de su proceso.

De este modo se llegó a la conclusión que del promedio de la concentración total de Sílice aportada por las fases mineralógicas 73,63% Solo el 51,36% pertenece a la fase mineralógica amorfa, que aporta Sílice con una velocidad de reacción mayor a la sílice cristalina. Es decir que el estudio mineralógico proporciona la información necesaria para determinar qué porcentaje de sílice arrojado por el análisis químico es óptimo en el proceso de la fabricación del cemento.

Para el desarrollo de la caracterización se procedió a la extracción de muestras y la aplicación de la técnica analítica química por fluorescencia de Rayos X; cada una de las concentraciones de compuestos químicos presentes se procesaron en un software que grafica en planta la distribución de dichas concentraciones, del mismo modo a estas muestras se le realizó análisis por microscopía óptica, tomando una malla uniforme de 500 puntos.

La información recopilada permitió correlacionar el análisis químico con el análisis mineralógico y por último graficar la Zonalidad de las concentraciones mineralógicas más representativas, así se puede observar la distribución en planta de las muestras con sus fases mineralógicas, determinar las Zonas de Sílice Amorfo y el lugar de ubicación de las muestras que pueden aportar materiales arcillosos y actuar negativamente en proceso de fabricación del cemento puzolánico.

**PALABRAS CLAVE:** Amorfa, Correlación, Sílice, Mineralogía Óptica, Alúmina

---

### 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento se realiza con el fin de exponer el estudio petrográfico de puzolana partiendo de la necesidad de tener un conocimiento más profundo acerca de la mineralogía de esta materia prima en la industria cementera, encontrar algún patrón de correlación entre los minerales encontrados que puedan aportar la composición química relacionada en cada muestra, y la fase en la que se encuentran dichos minerales, con el desarrollo del presente trabajo podemos aportarle a la industria un mayor conocimiento de su cantera de explotación, y generar la necesidad de uso de la petrografía e inclusión del ingeniero Geólogo en este proceso de control.

Inicialmente encontraremos un marco geológico que nos permitirá reconocer las características petrográficas de las rocas riodacíticas, y su proceso de formación. Posteriormente expondremos el trabajo de campo, donde se realizará un análisis macro de la cantera que nos permita darle una caracterización a criterio propio de la geología, para este caso clasificar la riolita en base a las observaciones realizadas.

Se registrarán cada uno de los requisitos químicos que pide la Industria cementera, de modo que sujetos al análisis químico y los resultados de esta técnica, comúnmente utilizada, podamos correlacionar la mineralogía de las muestras y tener un soporte técnico ante la necesidad de incluir la mineralogía óptica como medio de control dentro del Proceso.

Se entregará un informe de los resultados químicos comparados con los petrográficos, de modo que se correlacionen estas técnicas, y podamos realizar un paralelo con la cartografía Geológica.

Finalmente se presentará la Zonificación en planta de concentraciones químicas y las fases mineralógicas presentes que determinan la distribución de la materia prima.

---

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterización de rocas Puzolánicas del municipio de Iza a partir de las técnicas Analíticas Químicas y Mineralógicas.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar Cartografía Geológica de la Zona en estudio.
- Caracterizar química y mineralógicamente las muestras recolectadas.
- Correlacionar las técnicas analíticas químicas y mineralógicas.
- Zonificar Mineralógica y químicamente las rocas puzolánicas del municipio de Iza.

### 3. GENERALIDADES

El estudio se ha realizado por medio de las muestras extraídas de manera superficial de un sector del domo volcánico, ubicada sobre la cordillera Oriental, departamento de Boyacá municipio de Iza, en las coordenadas E 1119799 – 1120175. N 1112188 - 1112452, las muestras analizadas se encuentran en una superficie que abarca 9,92 Hectáreas (ha).

Dentro del proyecto procedimos a realizar el reconocimiento geológico de la zona de estudio, realizando la cartografía geológica de la zona a una escala 1:1500.

Se realizó un muestreo superficial de 24 muestras sobre la cantera de explotación, esto nos garantiza que no existe superficie de roca meteorizada y tampoco materia vegetal que dificulte o afecte la calidad del mismo, se procedió a solicitar la realización de los análisis químicos por medio de fluorescencia de rayos x, alternamente se realizó el muestreo y la preparación de las secciones delgadas para análisis por microscopía óptica, este análisis se desarrolló por medio de microscopio óptico con una malla de conteo de 500 puntos.

Los resultados obtenidos química y mineralógicamente se correlacionan entre sí, de este modo se logró identificar que fases mineralógicas pueden aportar la química presente en cada una de las muestras.

Por ultimo procedemos a graficar las concentraciones químicas y mineralógicas en la zona de manera independiente de modo que visualmente podamos observar la correlación existente entre las dos técnicas y ofrecer la información que la industria Cementera necesita para el mejoramiento de su proceso.

#### 3.1. DESARROLLO DE PROYECTO

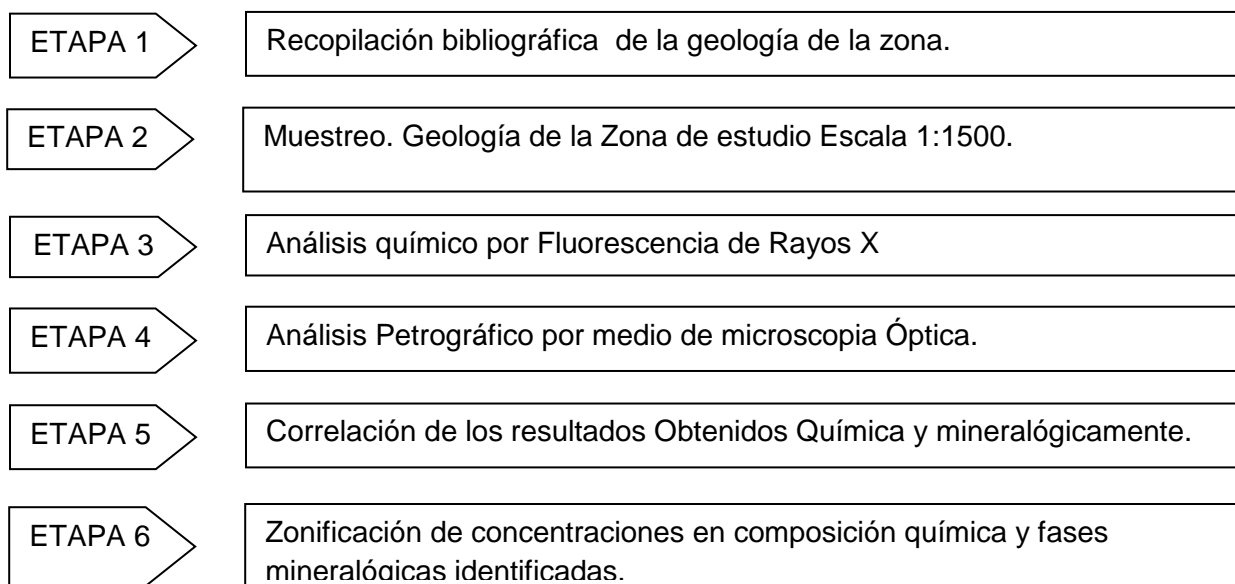


Figura 1. Esquema metodológico del Proyecto

### 3.2 LOCALIZACION

La zona de estudio se restringe a la cantera de puzolana ubicada en el Domo volcánico de Iza en la Vereda Agua caliente, a 0.7 km al occidente del casco urbano del municipio de Iza, Boyacá. Esta estructura volcánica se ubica en la zona Axial de la Cordillera Oriental de Colombia, en el altiplano Cundí-Boyacense.



Figura 2: Localización geográfica de la zona de estudio, se observa en detalle el área que comprende el domo volcánico de Iza, evidenciándose en la parte Norte la cantera de explotación a cielo abierto de puzolana Natural.



---

### 3.3. ANTECEDENTES

Son pocos los trabajos realizados en la zona de estudio en cuanto al tema que nos compete, uno de los principales trabajos ha sido la CARACTERIZACION GEOLOGICA DEL CUERPO VOLCANICO DE IZA, Boyacá – Colombia Por María Luisa Monsalve; Nadia R. Rojas; Francisco A. Velandia P; Iradia Pintor; Lina Fernanda Martínez. Refieren en su Estudio que el domo de Iza es un cuerpo ígneo aflorante en la cordillera oriental, formando un solo conjunto entre las estructuras geotérmicas de Paipa e Iza. Sin embargo la estructura del municipio de Paipa corresponde a un volcán calderico, que varía con las condiciones de formación con respecto al sistema geotérmico de Iza, puesto que en este último el ascenso del magma no alcanzo la superficie en el momento de su emplazamiento, sino que ha sido expuesta por fallamiento y erosión caracterizándose geológicamente esta estructura geotérmica como criptodomo Volcánico, la caracterización diferencia pulsos de ascenso de magma diferentes para el domo expuesto presentándose internamente fracturas y facies Brechosas. Estas facies son explicadas dentro del estudio con sus respectivas características petrográficas.

El Ascenso del magma que genero estos cuerpos volcánicos fue posible gracias a la acción de fallas profundas en dirección NW- SE. Y el afloramiento del mismo Criptodomo a superficie con posibilidad de explotación se le atribuye a la tectónica de la cordillera y posterior erosión.

**RINCON & ROMERO (1990).** Realizaron un análisis petrográfico del domo volcánico de Iza, tomando 8 muestras que clasificaron como Lavas con textura porfirítica, con fenocristales de Sanidina, cuarzo, plagioclasas y Ortoclasa, embebidos en una matriz Vítreo de color Pardo. Encontraron Minerales Accesorios como magnetita, circón, apatito, titanita y leucita. Atribuyen un intenso metasomatismo potásico y una fuerte alteración para las rocas del cuerpo volcánico. Establecen la presencia de tobas en la cercanía del municipio de Cuitiva y un anillo de brechas volcánicas líticas alrededor del domo.

**RODRIGUEZ Y ROJAS (1990)** Realizaron un estudio relacionado con los patrones de fracturamiento de la corteza terrestre, con base en su estudio para la zona SE del cuerpo volcánico de Iza, atribuyen el ascenso del magma a una zona de debilidad, empujando y arrastrando fragmentos de la roca encajante.

**UJUETA (1993)** Hace un estudio acerca del emplazamiento de los cuerpos ígneos en la cordillera oriental, atribuye estos procesos a fallas profundas de la Litosfera en dirección NW-SE, Para el cuerpo Volcánico de Iza relaciona un llamado lineamiento de Paipa.

**MARTINEZ (1989).** En su estudio describe que las rocas ígneas de Iza están compuestas por pequeños cuerpos ácidos, enriquecidos en Potasio K, pero carecen de Na, Ca, Mg, Mn, Fe. De este modo las clasifica como riolitas a riolitas alcalinas.

**VELANDIA (2003,2005).** Relaciona en su estudio la presencia de fallas estructurales en zonas cercanas al Domo Volcánico de Iza, como lo son la falla de Boyacá y la Falla de Soapaga, esta última de suma importancia por poner en contacto rocas de la secuencia sedimentaria cretácea de ambientes marinos con rocas del Terciario de ambientes continentales, relaciona también fallas longitudinales con lineamientos transversales en dirección NW, posiblemente relacionadas con fallas

---

de basamento, otorgándoles un carácter distensivo y explicando de este modo el emplazamiento de los cuerpos de Paipa e Iza.

**CEPEDA Y PARDO (2004).** Con base en estudios realizados en el volcán de Paipa, proponen la existencia del volcán de Iza, a los que relacionan la existencia de los domos y anillos como respuesta de un proceso explosivo, no existe un conocimiento de la edad de emplazamiento de los domos volcánicos de Iza pero se propone una relación con el volcán de Paipa que ha sido datado en el estudio con una edad comprendida entre 2.1 – 2.5 m.a.

**CONTRERAS – FAYAD (2008).** En su estudio usan análisis petrográficos. Metalográficos y de composición química elemental con microsonda EDAX, para caracterizar mineralógicamente rocas del cuerpo volcánico de Iza, determinando que se encuentran afectadas por procesos hidrotermales reflejados en la presencia de ópalo, calcedonia, tridimita y Epidota.

Los estudios adicionales no referencian como tal las características petrográficas del domo Volcánico, pero si estudian la tectónica y estratigrafía de la zona, dentro de los estudios anteriores encontramos:

**DURAN (1968),** realizo un estudio preliminar de los recursos naturales no renovables dentro de la zona asignada a la plancha 192 del INGEOMINAS.

Memoria Explicativa de la geología de la Zona aledaña a la zona de estudio en la Plancha 192 Laguna de Tota escala 1:100.000 del INGEOMINAS 2001. Por ULLOA, C. RODRIGUEZ, E. FUQUEN, A. & ACOSTA, E.

Se tuvo en cuenta la información de la presente plancha con el fin de definir y conocer las condiciones estratigráficas de la Formaciones Labor y pinos (Ksgp), Formación Arenisca Tierna (Ksgp), Formación Guaduas (Tkg), Formación Socha Inferior (Tsi), Formación Socha superior (Tss), Formación Picacho (Tp), aflorantes cerca la zona de Estudio.

---

#### 4. GEOLOGIA

La litosfera es la zona superior de la corteza terrestre, dentro de la que actúan fuerzas físicas y químicas que generan Vulcanismo, y que elevan porciones de la corteza modificando masas terrestres aflorantes.

Existen tres procesos Geológicos que son de importancia entenderlos para conocer la geología de la zona de estudio, estos procesos son los de Gradación, Vulcanismo y Diastrofismo.

Los procesos anteriormente descritos son atribuidos a un proceso macro que parte de la teoría de la tectónica de Placas, según Autores como Passotti (1977) la tierra no es rígida sino que continentes y cuencas oceánicas se derivan lentamente fracturándose, reuniéndose y quizás creciendo.

La tectónica de Placas explica que una placa se destruye de un lado con el mismo valor con que crece en el opuesto. La que se sumerge consta de rocas pesadas (basaltos) mientras que la otra por ser liviana (rocas graníticas y afines) se desliza sobre la primera.

Gracias a la Sismología se han definido tres tipos de límites de placas: separación a lo largo (Divergentes), deslizamiento horizontal una respecto de la otra (Transformantes), y convergentes (zonas de subducción).

Para el desarrollo del presente trabajo se debe tener una noción de los límites de placas convergentes o zonas de subducción, siendo éste un proceso de hundimiento de una placa litósferica bajo otra. Para el caso de nuestro continente es la litósfera oceánica Pacífica (Placa de Nazca) de mayor densidad, la que subduce bajo la litósfera continental (Placa Suramericana), menos densa.

La temperatura y la presión aumentan con la profundidad, en esta medida materiales de la placa en subducción son liberados (incluyendo agua) lo que conlleva la fusión del manto suprayacente, que a su vez, asciende a través de la corteza terrestre continental creando cuerpos ígneos volcánicos.

Para el caso del Domo volcánico de Iza, como su mismo nombre lo indica el vulcanismo es el proceso geológico en donde existe la formación de roca sólida a partir de un estado de fundición, este proceso se puede generar dentro y fuera de la litosfera. Para la zona de estudio el domo volcánico hace referencia a una solidificación del magma bajo la superficie terrestre y por procesos de diastrofismo (fallamiento y plegamiento geológico) fueron expuestos en superficie, Adicional a los dos procesos anteriormente nombrados existe una gradación que por medio del interperismo, la descomposición y disgregación favorece la exposición del cuerpo volcánico, sin embargo puede intervenir en las propiedades tanto físicas como químicas del material.

El área de estudio se ubica en la parte axial de la Cordillera Oriental, donde afloran principalmente rocas sedimentarias del Cretácico y Terciario, y un cuerpo ígneo volcánico de composición riodacítica a riolítica.

La secuencia sedimentaria Cretácea caracterizada por un ambiente marino profundo que va progradando a ambientes más someros, como se ve reflejado en la formación Guaduas de edad Maastrichtiano Superior - Paleoceno inferior, con sus ambientes deltaicos, continúa la secuencia sedimentaria con un ambiente netamente continental durante el Terciario, hasta la Formación Concentración. El cuerpo volcánico de Iza se plantea como criptodomo, expuestos en superficie por fallamiento y erosión. Los espesores y facies de las secuencias sedimentarias que se encuentran a su alrededor son controlados por las fallas Boyacá, Soapaga y algunas fallas longitudinales de carácter transtensivo y distensivo que pueden tener relación con el origen del cuerpo volcánico y fuentes termales en la zona.

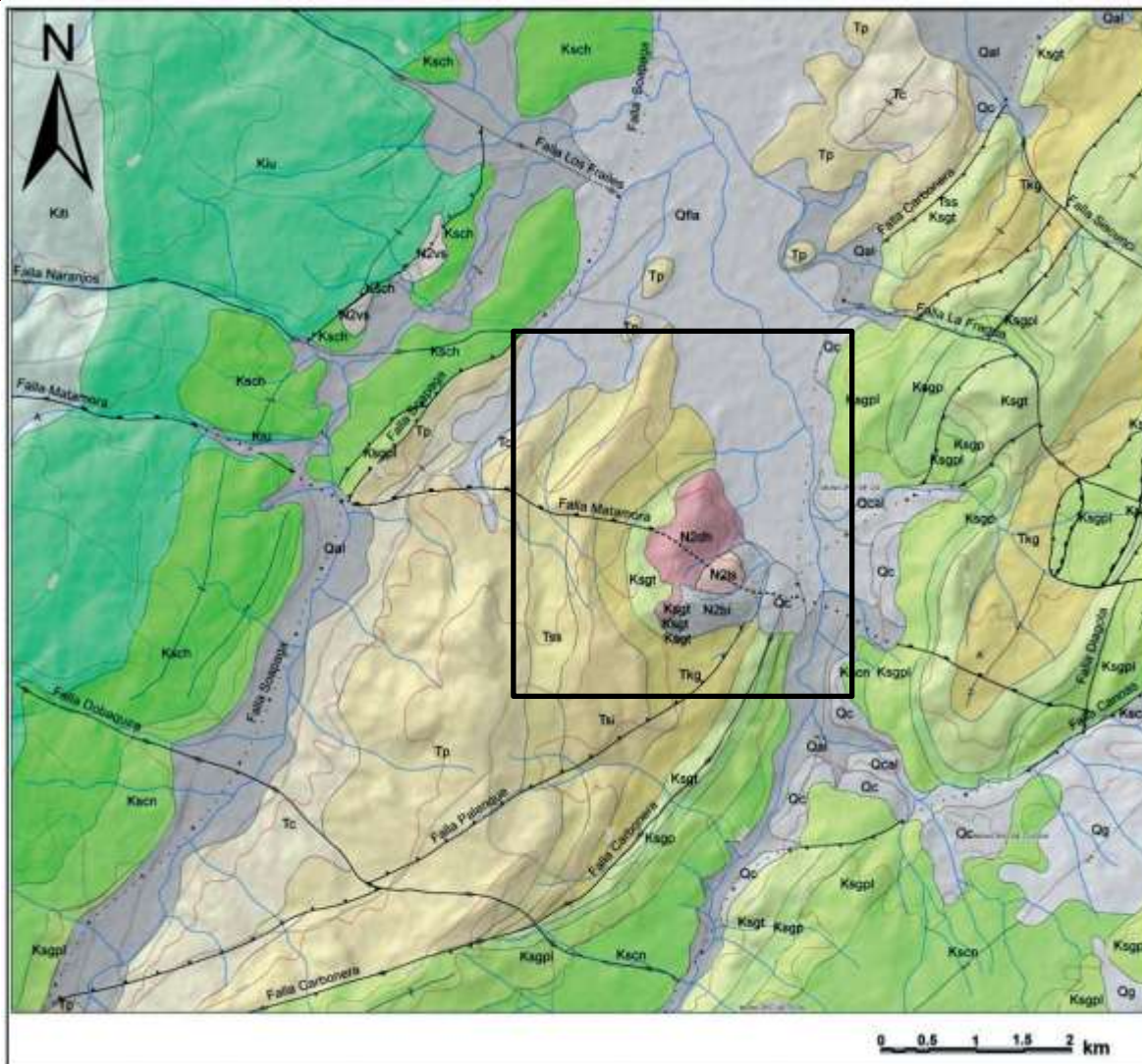


Figura 3. Mapa geológico de la zona (Rojas et al., 2009a) Domo Volcánico en estudio N2dh, Tomado del artículo Caracterización Geológica del cuerpo Volcánico de Iza, Boyacá - Colombia **María Luisa Monsalve; Nadia R. Rojas; Francisco A. Velandia P.; Irida Pintor; Lina Fernanda Martínez.**

#### 4.1 GEOLOGIA REGIONAL

##### 4.1.1. TECTONICA

Teniendo en cuenta la estratigrafía de la zona caracterizada por (ITALO REYES, 1984) la historia de la tectónica inicia con la alteración de la estructura de la Pangea que comenzó a fracturarse luego de la depositación de la rocas Paleozoicas para nuestro caso de las formaciones floresta y cuche, durante el Triásico ( $251.0 \pm 0.4 - 199.6 \pm 6.0$  Ma) y Jurásico ( $199.6 \pm 6.0 - 145.5 \pm 4.0$  Ma), por acción de esfuerzos tensionales a transtensionales se generó un rift continental que según SARMIENTO Y ROJAS (2001-2006) alcanzó a evidenciarse un estiramiento de la litosfera en 63 km de longitud, y según el mismo estudio le otorga al rift una amplitud  $< 150$  km. Este movimiento se detuvo según (DENGO & COVEY, 1991) en el Cretáceo Inferior (Aptiano-Albiano) disminuyendo de



este modo las tasas de subsidencia. Un proceso subducción entre la placa oceánica Pacífica y la suramericana, por ser un límite de placas convergentes, a acreción generada desde el pacífico generó la formación de un terreno oceánico hacia el occidente de Colombia, la acomodación de la litosfera continental, y los esfuerzos generados por dicha acreción, dieron lugar a un frente orogénico del cual se formó la cordillera central.

Según (ETAYO. SERNA, 1976) lo que hace referencia al actual territorio de la cordillera oriental, límite Occidental con una cadena volcánica (cordillera central) y oriental por el escudo de la Guayana, estaba constituido por un mar epicontinental que recibía sedimentos de los límites anteriormente referenciados. La continua acreción y empujes desde la zona occidental del continente Suramericano, Zona de subducción, formaron la cordillera oriental, que históricamente es la última en aparecer en la tectónica Colombiana.

En el momento en que la placa oceánica llega a cierta profundidad por el proceso de subducción bajo la placa continental, se vuelven a fundir las rocas, y el magma comienza a buscar zonas de debilidad ascendiendo a zonas de enfriamiento donde se forman las rocas intrusivas, estas se solidifican en profundidad, en el momento en el que el magma asciende a límites con la superficie terrestre, cambia sus propiedades y se caracteriza como una lava de composición ácida, característica primordial de las rocas efusivas, volcánicas o explosivas.

Para nuestro caso la exposición y formación de rocas efusivas viene relacionada con el movimiento de las placas que han generado en Colombia una serie de fallas de sentido NE-SW como las fallas de Romeral, Cauca- Patía, Soapaga y la del borde este de la cordillera oriental.

Se hace importante referenciar para la Zona de Estudio la Falla de Soapaga, puesto que se encuentra al Oeste del Domo Volcánico de Iza y se une con fallas locales rodean esta formación Volcánica y determinan los principales rasgos estructurales en la Región. Dichos rasgos referencian un conjunto de movimientos compresionales, sin embargo cabe notar que la presencia de cuerpos intrusivos en la región y volcánicos como el domo de Iza y el volcán de Paipa atribuyen ciertas épocas de tectónica distensiva que crearon todas las condiciones necesarias para dichos emplazamientos.

(JULIVERT, 1970) definió la falla de Soapaga como una estructura afectada por inversión, y la denominó como una falla de inversión positiva según la clasificación de (COWARD, 1992), esta falla presenta para la zona una variación de dirección general de N25°E a N35°E con su plano inclinado hacia el NW de 28-30°, según (ITALO REYES, 1984) la falla de Soapaga representa un límite tectónico y geomorfológico de gran importancia puesto que separa el Macizo de Floresta que corresponde a una zona compleja levantada y la serie sedimentaria Neo cretácica- terciaria que corresponde a una cobertera plegada.

Teniendo en cuenta la ubicación del Domo volcánico de Iza, su emplazamiento se encuentra en medio de la serie sedimentaria Neo cretácica – Terciaria que ha sido afectada por fallas locales como la Falla Matamora, falla palenque, falla Carbonera, referenciadas en la figura 3. Sin embargo la estructura Ígnea de Iza no ha sido afectada por estas fallas, lo que indica que han sido este conjunto de fallas las que generaron el afloramiento del domo a superficie

---

#### 4.1.2. ESTRATIGRAFIA

La información suministrada a continuación es la recopilación de estudios anteriormente realizados y consignados en documentos tales como plancha geológica de la zona de Estudio publicada por el Ingeominas, trabajos de Grado y estudios realizados acerca de la cartografía y geología de la región.

Se tomaron en cuenta las nomenclaturas asignadas por la memoria explicativa de la plancha 192 INGEOMINAS para el caso de las formaciones cretácicas, puesto que en la geología expuesta por dichos autores se presenta el grupo Guadalupe en general describiendo tres miembros, para el presente documento se tendrá en cuenta únicamente los miembros de la formación Labor y pinos (Ksgp) y la formación arenisca tierna (Ksgt), puesto que en otros estudios como los que propone (ITALO REYES, 1984) se presentan correlacionables con la formación Ermitaño como una sola formación, a criterio propio del estudio realizado se tomó la división del grupo Guadalupe puesto que en la zona se evidencia litológica y geomorfológicamente el cambio de formaciones dentro del grupo Guadalupe. Según la nomenclatura de la Bibliografía recopilada en la Geología regional de tiene en cuenta a la formación Arenisca Tierna con la nomenclatura (Ksgt), sin embargo para efectos del proyecto en la zona de estudio se tendrá en cuenta la nomenclatura aplicada según (Geologic Time Scale 2008, Commission for the Geological Map of the World), Arenisca Tierna (K2t).

Para el caso de la formación Guaduas (Tkg) (K2K6g), Dentro de la geología Regional se tendrá en cuenta como de edad paleógeno por el cambio de ambiente de formación, que evidencia el paso de la edad cretácea a edad terciaria, expuesta en la nomenclatura de la plancha (192 del 2001), cabe resaltar que en algunas bibliografías consultadas, la formación guaduas es tomada como edad cretácea con la nomenclatura Ktg o Ksg para el caso de la geología expuesta por (ITALO REYES, 1984). Sin embargo para efectos de la geología Local en el estudio nos ceñimos por contemplar como edad de Cretáceo superior Masstrichtiano a la Formación Guaduas que será representado según (Geologic Time Scale 2008, Commission for the Geological Map of the World) con la nomenclatura (K2K6g). Para la formación Socha Inferior (Tsi), Formación Socha superior (Tss), Formación Picacho (Tp), aflorantes en la zona de estudio se tomó la Nomenclatura de (Rojas et al., 2009a), las aclaraciones anteriormente realizadas para lograr identificar la información presentada en la figura 4.



Figura 4.: Geología Regional (Ksgp: Formación Labor y pinos, Ksgt: Formación Arenisca Tierna, Tkg: Formación Guaduas, Tsi: Formación Socha inferior, Tss: Formación Socha superior, Tp: formación Picacho, N2n9: Riolita (edad Neógeno) Fuente: Imagen Satelital. Edición: autores del Proyecto.

En la figura 4 podemos Observar la dirección preferencial NE- SW de las formaciones Ksgp, Ksgt Y Tkg en la parte inferior derecha de la imagen, en la parte central de la imagen observamos la cantera de explotación de la zona de estudio dentro de la delimitación de Riolita de edad Neógeno, y se observa el plegamiento de la roca encajante (ksgt,Tkg,Tsi) que se manifiesta en forma de aureola con la salida del domo Volcánico a superficie.

#### 4.1.2.1 FORMACION LABOR Y PINOS (Ksgp)

Esta formación es caracterizada para el área del cocuy por (FABRE 1985b) y (ETAYO SERNA), ellos la correlacionan con el miembro Los Pinos de las planchas 170 Vélez y 190 Chiquinquirá definidas por (ULLOA & RODRÍGUEZ, 1979). Esta formación presenta a su base un delgado paquete de areniscas no cartografiables a escala 1:100.000, correlacionables con la Formación Arenisca de Labor de la Sabana de Bogotá razón por la cual se le asigna el nombre usado por la plancha 192 del INGEOMINAS en el año 2001 y con la que se referencia el presente proyecto.

Las columnas estratigráficas levantadas en la parte oriental del lago de Tota diferencian dos segmentos de base a techo:

El primero de ellos está compuesto por Areniscas de cuarzo de grano fino a medio, en estratos medios a gruesos, laminación plano paralela a inclinada plana, con intercalaciones de arcillolitas físisiles de color negro en bancos delgados.

El segundo segmento hace relación a un conjunto de Lodolitas y arcillolitas grises oscuras con intercalaciones de areniscas de cuarzo de grano fino a medio de color gris claro, en estratos muy delgados a delgados y calizas (biomicritas) grises oscuras, fosilíferas en estratos delgados.

---

#### 4.1.2.2 FORMACION ARENISCA TIERNA (Ksgt) (K2t)

Hubach (1957a) asignó dicho nombre a esta formación, referenciándola como el techo del grupo Guadalupe. Su morfología se caracteriza por presentarse como lomas alargadas con topografías un poco más abruptas que la formación Guaduas lo que permite fácilmente indicar el techo y contacto límite de la formación.

Su litología está constituida por arenitas de cuarzo de grano fino a grueso, en estratos medios a gruesos, con delgadas intercalaciones de lodolitas gris oscuro; la estratificación es planoparalela y plano no paralela a ondulada, también presenta estratos con láminas inclinadas. La unidad infrayace concordantemente a la Formación Guaduas y su edad ha sido considerada como del Maastrichtiano de acuerdo con su posición estratigráfica y con base en estudios paleontológicos efectuados por (ETAYO SERNA, 1985) y FABRE, 1985 A Y B).

La unidad corresponde a la Formación Arenisca Tierna de la Sabana de Bogotá y se correlaciona con la Formación Mito Juan de la Concesión Barco y con la parte superior de la Formación Ermitaño de Alvarado & Sarmiento (1944)

#### 4.1.2.3 FORMACION GUADUAS (Tkg) (K2K6g).

Según (JULIVERT, 1968) El término de la formación fue asignado por (HETTNER, 1892), representando de este modo a todos los materiales presentes en la zona de Bogotá que suprayacen al grupo Guadalupe, posteriormente se restringe En la parte inferior por el techo del grupo Guadalupe y en su límite superior se determina como la arenisca de Socha según (HUBACH, 1931B, 1945 Y 1957 A, B), para la región de Paz del Rio (ALVARADO & SARMIENTO, 1944) denominan esta formación como la sucesión litológica comprendida entre las areniscas calcáreas fosilíferas del tope de la Formación Ermitaño y el primer conjunto grueso de areniscas de la Formación Socha Inferior.

Esta formación se encuentra cubierta de materia vegetal, sin embargo algunos afloramientos determinan una litología constituida por lodolitas gris oscuras que meteorizan a rojo, detalladamente de base a techo se han encontrado Arcillolitas gris verdosas con intercalaciones de paquetes de arenitas de cuarzo, gris clara, algo micáceas, en paquetes de 2 a 5 m de espesor y capas de carbón de 0,30 a 1,50 m, Arcillolitas grises que meteorizan a rojo, con esporádicas intercalaciones de arenitas de cuarzo en estratos de 0,30 a 1,50 m. El límite inferior corresponde a un contacto concordante con la formación arenisca tierna, y según (SARMIENTO, 1994) el límite superior corresponde a una inconformidad con la Formación Arenisca de Socha.

#### 4.1.2.4 FORMACION ARENISCAS DE SOCHA (Tsi).

Propuesta por (ALVARADO & SARMIENTO 1944), conocida también como Socha inferior, representa una gruesa secuencia de areniscas que reposan sobre la formación guaduas, dado su nombre a la sección tipo aflorante en las cercanías del Socha Viejo, área de Paz del Rio, su morfología se presenta en lomas alargadas contrastantes con las bajas topografías de las formaciones infra y suprayacentes.

Las areniscas se presentan en granos de cuarzo angulares a subangulares moderadamente seleccionados en planos de estratificación paralelos a ondulados no paralelos con variación de color amarillo a rojizo. Se evidencian algunas intercalaciones de lodolitas gris oscuro.



---

#### 4.1.2.5 FORMACION ARCILLAS DE SOCHA (Tss).

Definida así por (ULLOA & RODRÍGUEZ, 1979), se sugiere también como Formación Socha superior correspondiendo a las iniciales expuestas en la nomenclatura del presente trabajo, de acuerdo con (Alvarado & Sarmiento, 1944).

Su morfología se presenta como valles contrastantes con escarpes de la formación infrayacente Socha Inferior y suprayacente Picacho.

Constituida por lodolitas gris oscuro que por meteorización dan tonalidades rojo amarillentas, con intercalaciones de arenitas líticas de grano fino a medio, color gris verdoso, presenta estratificación ondulada a planoparalela y su ambiente de depósito corresponde a llanuras de aluviales de inundación con canales distributarios.

#### 4.1.2.6. FORMACION PICACHO (Tp)

(ALVARADO & SARMIENTO, 1944), utiliza este nombre para designar un potente conjunto de areniscas conglomeráticas cuya localidad tipo es el cerro del Picacho a 1,5 km al noroeste de la población de Paz del Río.

Se presenta morfológicamente como lomas escarpadas, que contrastan con la morfología de valles de Socha Superior y Concentración que la infra yacen y suprayacen, respectivamente. Litológicamente se caracteriza por presentar Areniscas cuarzo feldespáticas de grano medio a grueso, subangulares a subredondeadas, con cemento silíceo. Estas areniscas se encuentran en bancos gruesos a muy gruesos amalgamados, con estratificación ondulada no paralela a planoparalela, aunque en menor proporción presenta también fragmentos de lodolita y chert y delgadas intercalaciones de lodolita.

#### 4.1.2.7. Cuaternario Coluvial (Qc)

Están compuestos por fragmentos de roca de diferentes tamaños y composición, dispuestos de manera caótica dentro de una matriz arcillo arenosa. El material rocoso proviene de las formaciones inmediatamente contiguas al lugar donde se localizan estos depósitos y que se han formado por diferentes procesos se localizan cerca al cuerpo ígneo en la vereda Agua Caliente. Se dice que este cuaternario es más antiguo que la intrusión riolítica puesto que no contiene fragmentos característicos del domo.

#### 4.1.2.8. Riolita (N2n9)

Estas riolitas se encuentran intruyendo en techo del grupo Guadalupe para nuestro caso formación arenisca tierna (Ksgt) o (K<sub>2</sub>t) y están cubiertas discordantemente por depósitos cuaternarios.

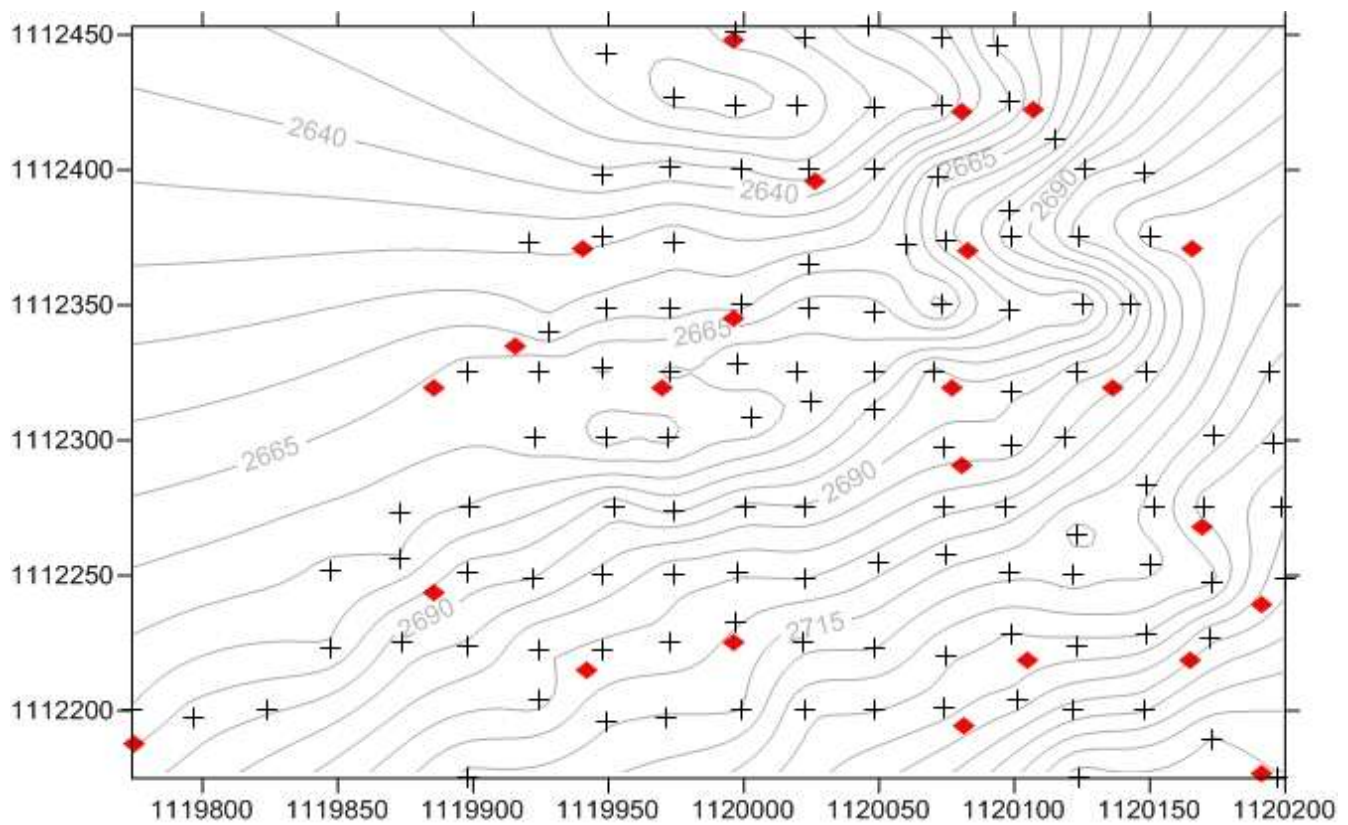
Se observa en un cuerpo volcánico de forma circular, cerca de la población de Iza. Según (RENZONI, 1969) este cuerpo volcánico es de composición riolítica. Macroscópicamente se observa en coloraciones blancas con tonalidades amarillentas a rojas, con textura porfirítica y fenocristales de cuarzo, plagioclasas y anfíbol. Según (RINCÓN & ROMERO, 1990) lavas con textura porfirítica, con fenocristales de sanidina, cuarzo, plagioclasa y ortoclasa, embebidos en una matriz vítrea de color pardo. Como minerales accesorios se encontraron magnetita, circón, apatito, titanita y leucita. Se observaron, además, texturas de flujo, fenocristales euhedrales de feldespatos y cuarcos bipiramidales. En los bordes del cuerpo volcánico se encontraron brechas volcánicas con fragmentos de cuarcitas, chert, areniscas, limolitas y rocas volcánicas.

En cercanías a la población de Cúitiva se encontraron fragmentos de tobas vítreas a vítreo-cristalinas de composición riolítica, con fenocristales de hornblenda, cuarzo, sanidina, opacos y un alto contenido de líticos. Este cuerpo se relaciona con otros presentes en la zona de Paipa difieren en composición, ya que los cuerpos de Paipa son de afinidad andesítica (REZNONI, 1969).

#### 4.2 TOMA DE MUESTRAS

Dentro del desarrollo del proyecto como trabajo investigativo se tuvo una limitación muy relevante en cuanto a la obtención de la información, puesto que por ser una cantera de explotación con título Minero Adjudicado a empresa privada, solamente pudimos tener acceso a la zona de estudio de manera supervisada, del mismo modo la información suministrada por parte de la empresa tiene cierta confidencialidad que no nos permite desarrollar a criterio propio el muestreo.

Sin embargo tenemos conocimiento de la previa observación en el proceso de la materia Prima por parte de la empresa y del mismo modo el estudio interno de su variabilidad que fue desarrollado con un muestreo sistemático graficado a continuación.



**Imagen1. Malla de muestreo**

Para efectos del estudio se atendió la solicitud de análisis de los puntos asignados por parte de ellos y se logró acceder a la zona con su supervisión, de este modo tanto la Geología se desarrolló por medio de la descripción de cada muestra tomada en campo.

#### 4.2.1 MUESTREO EN CAMPO

Teniendo en cuenta que el muestreo se realizó sobre la cantera de explotación, no existió la necesidad de muestrear a mayor profundidad, puesto que no existe materia vegetal y la materia prima no se encuentra expuesta a mayor alteración.

De este modo el muestreo se realizó en los puntos asignados por la solicitud, y se generó de manera manual usando el martillo, se extrajo por cada punto de muestreo aproximadamente 3 Kilos, de los cuales se necesitaron 500 Gramos para el desarrollo de la Técnica de Análisis por Fluorescencia de rayos X.

Para el desarrollo de la Técnica por medio de Microscopia Óptica, Se tomaron 2 Kilos y medio aproximadamente y se desarrolló un cuarteo manual, cuarteo tras cuarteo se logró obtener una muestra representativa con un peso aproximado de 100 gramos los cuales se usaron para la elaboración de la sección delgada, inicialmente se tomó la muestra y por medio de la técnica de prensado hidráulico con adición de aglomerantes se generó la probeta que permite lograr la densidad de puntos necesaria para el análisis Petrográfico, que exige una malla de 500 puntos de observación.

#### 4.3 GEOLOGIA LOCAL

La solidificación de rocas provenientes del magma está principalmente compuesta de silicatos en la corteza continental. Estas rocas pueden ser de dos tipos: intrusivas y extrusivas.

Para el trabajo realizado se hará un enfoque Rocas extrusivas puesto que son aquellas que se han formado por el enfriamiento de la lava en la superficie terrestre o cerca de ella.

Las rocas ígneas extrusivas que pueden ser expulsadas a la superficie mediante varias maneras y aunque las erupciones volcánicas representan tan solo un 0.1 % del volumen conocido de rocas ígneas, son de significado relevante en el estudio de la geología. Tienen su origen en los cambios que ocurren al interior de la tierra debido a la forma en la cual esta libera calor, para nuestro caso hablamos de erupciones.

El domo Volcánico de Iza se encuentra en las coordenadas geográficas (5°36'20"N – 72°59'33" W) entre los 2.600 y 2.950 m.s.n.m, y su explotación ha permitido identificar rocas grises con textura porfírica cristalinas y algunas con mayor grado de alteración en la que varían rocas de tonalidades entre blancas, amarillentas y rosadas.

El cuerpo volcánico de Iza se compone de tres cuerpos dómicos definidos como: domo de Holcim, caracterizado por ser una roca porfírica de composición riolítica, con zonas de brechas en rompecabezas, y contenido de xenolitos entre un 5-30%; domo Los Sauces caracterizado por su composición riolítica y ausencia de fragmentos líticos; y brecha definida como una brecha intrusiva, la cual se forma por la disrupción del magma frente a un nivel de acuífero ubicado en la secuencia sedimentaria Cretácica-Terciaria, arrastrando en su ascenso un gran contenido de fragmentos sedimentarios, en posteriores ascensos del magma la incorporación de estos líticos disminuye. Se presume por tanto un ascenso inicial de la brecha y posteriormente el ascenso de los domos. La figura 5. Muestra una fotografía panorámica donde se identifican los domos denominados por los estudios anteriores (CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL CUERPO VOLCÁNICO DE IZA, BOYACÁ – COLOMBIA) por Monsalve, M. Rojas, N. Francisco A. Velandia, P. Pintor, I. Martínez, L., además de estos domos, se referencia el cuaternario Coluvial, que determina la intrusión de la riolita

posteriormente a su formación, puesto que no existe evidencia dentro de este cuaternario de líticos de composición riolítica proveniente del Domo.



Figura 5. Panorámica del domo volcánico de Iza, Fuente: Autor.

Dentro del área de estudio, comprendido en las coordenadas E1119799 – 1220175, N1112188 – 1112452 ubicado en la parte Norte del Domo Holcim. Figura 6. Se encontraron dos formaciones diferentes: La formación Arenisca Tierna (K2t) (Ksgt), la Formación Guaduas (K2K6g) (Tkg), y El cuaternario Riolitico que es objeto de estudio para el presente proyecto.



Figura 6. Imagen Rapid Eye, en la parte izquierda se muestra en planta el domo volcánico de Iza, a la derecha se referencia el área de zona estudio.

La formación a Arenisca Tierna K2t, a pesar de tener un contacto concordante con la formación Guaduas K2k6g que la suprayace, en este caso específico para la zona de estudio se encuentra una falla local que pone en contacto las dos formaciones evidenciada en la Figura 7. Morfológicamente se evidencia un cambio de pendiente entre las dos formaciones, en forma de quebrada,





Figura 7. Fuente: Autor, Falla local límite del contacto entre Arenisca tierna (K2t) y la formación Guaduas (K2K6g)

#### 4.3.1 FORMACION ARENISCA TIERNA (K2t)

En la zona encontramos bancos de areniscas cuarzosas de grano medio, con estratificación paralela en secuencias de bancos con variación de espesor de medio a grueso la dirección de esta formación es  $N47^{\circ}E$ , difiere de la dirección preferencial dentro de las rocas expuestas de este mismo tipo, ya que la intrusión fue generando un plegamiento en forma de aureola, las formaciones presentan una variación en dirección de  $N35^{\circ}E$ - $N47^{\circ}E$  rodeando la parte Este del domo Volcánico. Para la formación expuesta en el área de estudio se logró medir un dato estructural de  $N47^{\circ}E/37NW$ .

#### 4.3.2 FORMACION GUADUAS (K2K6g)

Esta formación se encuentra expuesta en la zona de estudio, le infrayace la formación arenisca Tierna, que tiene como contacto la falla local anteriormente nombrada, la litología localmente se caracteriza por ser arcillolitas amarillentas fisibles con evidencia en la zona aledaña de mantos de carbón. A pesar de estar la zona demasiado cubierta de vegetación lo que dificultaba la toma de datos estructurales, se logró medir un dato estructural con dirección  $N42^{\circ}E/35NW$ .

#### 4.3.3 RIOLITA (N2n9)

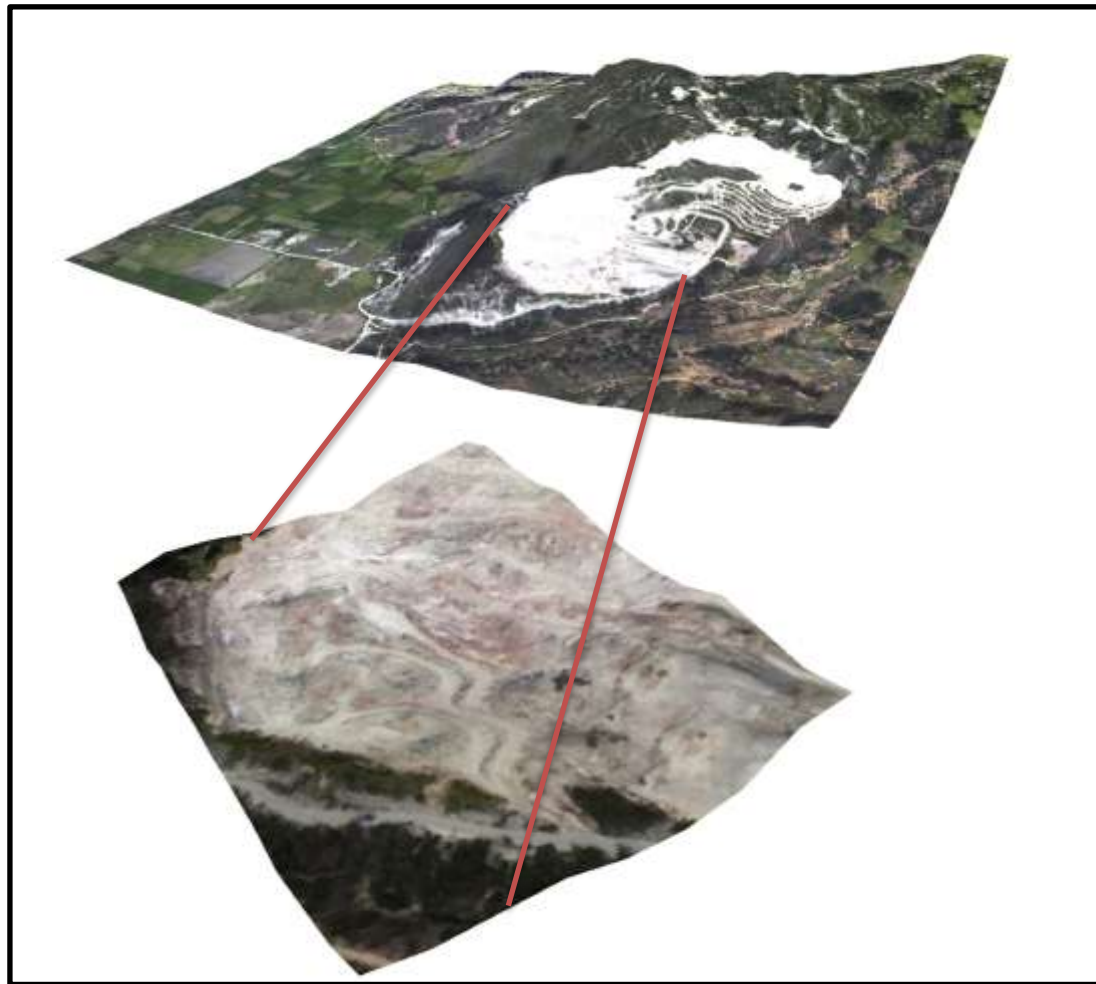


Figura 8. Relieve de la zona de estudio, explotación de puzolana a cielo abierto.



Figura 9. Panorámica cantera de explotación de Puzolana

Dentro del area de estudio se procedio a realizar geologia de campo y una caracterizacion general de la roca expuesta en superficie por explotacion a cielo abierto, se tomaron en cuenta las propiedades de la roca en cuanto a su consistencia, resistecia al martillo, y comportamiento en presencia de Agua, de este modo se clasificaron las muestras en tres rangos con base en la dureza presentada en el

muestreo, ya que las muestras en macro no permitían observar su mineralogía y características como el color no determinan una característica común.

### **RIOLITA CON BAJO GRADO DE ALTERACION (N2n9rb)**

Es el primero de los criterios asumidos en el presente trabajo para observaciones macro, es el conjunto de las muestras que presentaron una fuerte y muy fuerte resistencia al martillo, asumido así una buena consistencia de la roca, en macro se evidenciaron minerales tabulares con apariencia de feldespatos sin confirmar, las coloraciones de la roca son variadas, entre todos amarillentos a rosáceos, presentan en común un brillo vítreo a graso Tenue.



Figura 10. Imagen de muestras clasificadas en el rango de Riolita con Bajo Grado de Alteración. Coordenadas A: E 1120034 N 1122366, B: E 11200074 – N 1112332.

### **RIOLITA CON MODERADO GRADO DE ALTERACION (N2n9rm)**

Para este grupo se tuvo en cuenta la riolita que presentaba una débil resistencia al martillo, en este conjunto de riolitas no se identificaban minerales macroscópicamente, algunas muestras presentaban formas tabulares, posiblemente feldespatos, pero se caracterizaban por tener coloraciones variadas entre blancos y grises, no presentan brillo, ni se muestran afectadas en su consistencia en presencia de agua.





Figura 11. Fotografía de muestras clasificadas como riolita con moderado grado de alteracion. Coordenadas origen Bogota: E1120175 N1112181

#### **RIOLITA CON ALTO GRADO DE ALTERACION (N2n9ra)**

Hace referencia a riolitas con debil resistencia al martillo, se observa ablandamiento de las mismas en presencia de agua, manifestandose una consistencia plastica, no presentan brillo y sus coloraciones varian entre blancos y grises.



Figura 12. Fotografía representativa de muestras con alto grado de alteracion. Coordenadas E1120076 N1112205.

Dentro de la geología realizada en campo se observo un punto con bastante presencia de minerales de Hierro, sin la identificación específica de su nombre, se registra una imagen de esta en la figura 13. Evidenciandose como manchas rojizas.





Figura 13. Fotografía de punto de extracción de muestra No. 1139, con presencia marcada de minerales de Hierro ubicada en las coordenadas E1119899 N1112327

La clasificación propuesta anteriormente nos permite identificar las zonas del área de estudio que presentan riolitas con mayor resistencia y macroscópicamente nos determinan una aproximación de las rocas que presentan mayor favorabilidad en el proceso de fabricación del cemento. La representación en planta de las unidades propuestas se muestra en el mapa de la figura 14.

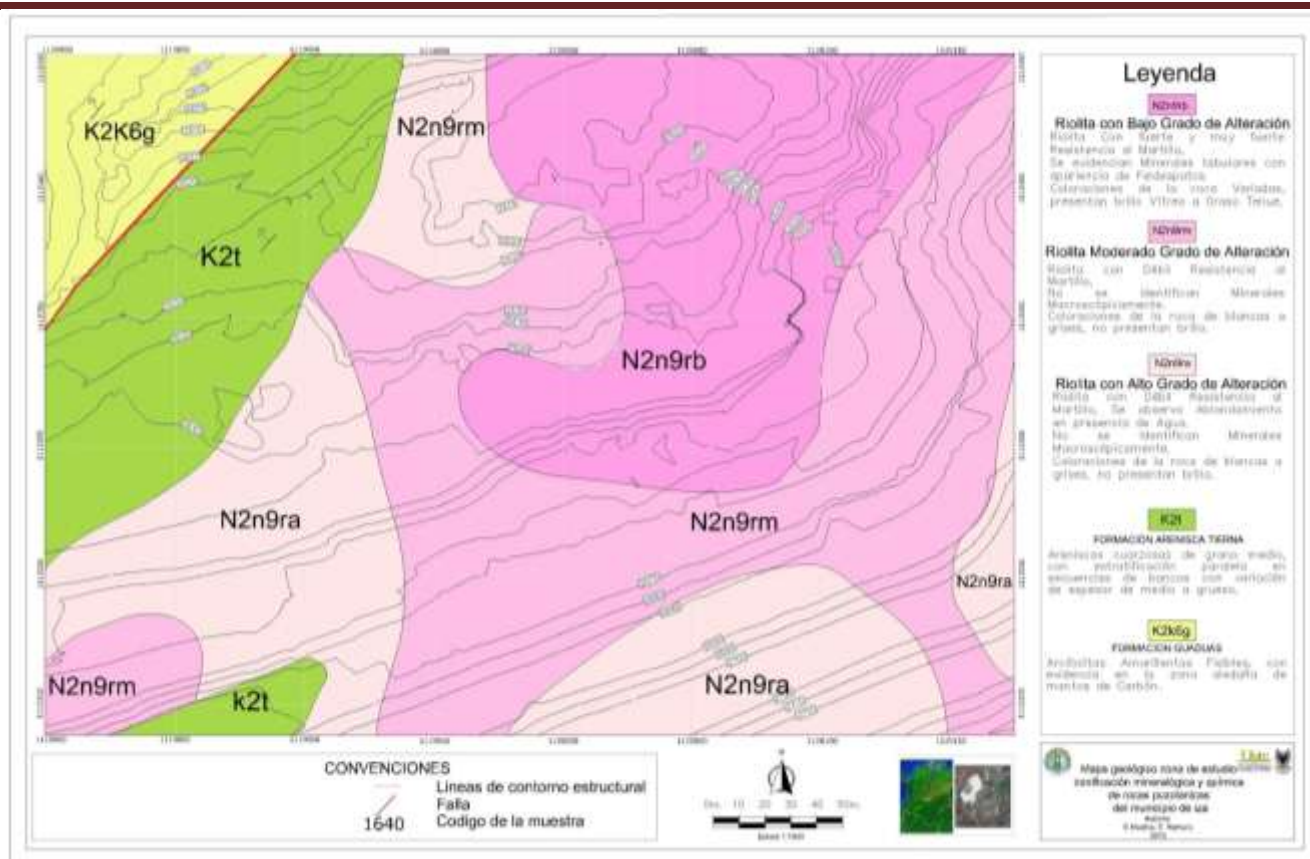


Figura 14. Mapa Geológico del Área de Estudio a escala 1:1500.

Teniendo en cuenta la geología expuesta anteriormente y basados en el conocimiento previo del proceso de reacción de la puzolana en presencia de agua y cal, sabemos que los materiales arcillosos pueden afectar de manera negativa el equilibrio de la mezcla al absorber agua, de este modo podemos determinar que las riolitas con alto grado de alteración (Q2ra) tienen un comportamiento plástico en presencia de agua y se determinan como las menos óptimas para el proceso, y las Riolitas con Bajo Grado de Alteración (Q2rb) Son las que el estudio en campo aportarían un buen comportamiento en el fraguado del cemento.

---

## 5. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA.

### 5.1. REQUISITOS QUÍMICOS DE LA PUZOLANA DENTRO DE LA INDUSTRIA CEMENTERA.

Inicialmente tenemos que tener claro que el cemento es un ingrediente principal en el proceso de la fabricación del concreto y por el momento industrialmente no ha sido reemplazado por otro material que resulte de la misma efectividad en el campo de la construcción. El cemento hace referencia a la sustancia que le proporciona la propiedad adhesiva al concreto, proveniente de un proceso de transformación de las calizas y arcillas sometidas a altas temperaturas.

En Colombia se manejan Varios tipos de cemento, sin embargo en lo que compete al uso de la puzolana como aditivo y basados en la norma NTC 30 industrialmente se conocen dependiendo de sus cualidades y usos como:

Cemento Portland tipo 1. Cemento Gris para estructuras y obras en general, Sin especificaciones especiales.

Cemento Portland tipo 2. Para obras expuestas a la acción moderada de sulfatos y donde se requiera moderado calor de Hidratación.

Cemento Portland tipo 3. Se desarrolla en altas resistencias iniciales.

Cemento Portland tipo 4. Se desarrolla bajo calor de hidratación.

Cemento Portland tipo 5. Ofrece alta resistencia a la acción de sulfatos.

El presente estudio se enfocará en el cemento portland tipo 1. Puesto que es el cemento fabricado con aditivo Puzolanico Natural, materia prima del estudio presentado.

Este cemento es Producto de la molienda en conjunto de Clinker, Yeso y adiciones (puzolana), la unión de estas materias primas le permite al cemento ser usado de manera eficiente en la fabricación de concretos y morteros para estructuras y acabados generales de construcción, sus propiedades son suficientes para usar en lugares que requieran un moderado calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos, es decir es apto para obras marinas y de gran magnitud.

Estos cementos tipos Portland se diferencian de los otros por aditivos que aumentan su resistencia y durabilidad, comúnmente es usada la escoria para este fin, pero las puzolanas generan un efecto positivo mayor en la calidad del cemento.

La puzolana es el principal aditivo en el proceso de fabricación del cemento tipo Portland, puesto que sus propiedades hidráulicas y aglomerantes en el momento de reaccionar con el Clinker generan un ensanchamiento en su volumen, otorgándole adicional al aumento de la calidad, y un aumento en la producción de la planta cementera.

Las mediciones de calidad del cemento se realizan posterior al fraguado, llevando un seguimiento del comportamiento en cuanto durabilidad y resistencia a medida que pasa el tiempo y bajo condiciones similares a las expuestas en las construcciones, estas mediciones han demostrado que el cemento Portland tipo 1. Muestra un incremento de las resistencias finales aun después de los 28 días, este

---

incremento es directamente relacionado con la reacción entre la puzolana y la cal Libre. De este modo el aumento de la calidad del cemento puede verse representado con la optimización en el uso de la materia prima para nuestro caso la puzolana como aditivo, ya que se puede incluir un ahorro energético en la sustitución de cierta cantidad de Clinker por la puzolana.

Con la adición de la puzolana al cemento, se busca un mejor tiempo de fraguado, lo que aumenta la capacidad de transporte, colocación, compactación y afinado, disminuyendo la posibilidad de pérdida por movilidad prematura, aumentando de este modo la durabilidad y manejabilidad.

Mecánicamente con la adición de puzolanas se pretende que el concreto aumente la resistencia a la tracción, se incremente la impermeabilidad por reducción de grietas en el fraguado, mejore la resistencia a la abrasión.

Disminuye el calor de hidratación puesto que la actividad puzolanica es una reacción Lenta, a diferencia de la reacción generada en la hidratación del cemento que se genera de forma rápida, en consecuencia, la velocidad en la que se libera calor y el desarrollo de resistencias se evidencian en procesos más lentos.

La reacción química que se genera entre la puzolana y la cal en presencia de Agua, genera una estructura aglomerante muy estable lo que resulta ser un producto muy uniforme y tiene menor propensión a la reacción álcali- agregado.

Se conoce a la reacción álcali-agregado o álcali-sílice como un fenómeno químico, producido entre minerales reactivos provenientes del agregado y los álcalis disueltos en forma de hidróxidos provenientes de la pasta de cemento hidratado. En sí, esta reacción se genera en forma lenta, pero la inclusión de factores tales como la humedad y la temperatura pueden acelerar la reacción, generando una degradación en el Hormigón manifestándose en forma de Fisuras, deformaciones excesivas, reducción de propiedades mecánicas, exudación de gel (elevación de agua con mezcla fresca de concreto), disminución de la vida útil de la estructura. Para evitar todos los efectos negativos nombrados anteriormente se usa la puzolana natural que es objeto de estudio en el presente trabajo.

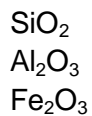


Figura 15. Imagen representativa del efecto álcali- sílice en la fabricación del cemento. Fuente: Artículo Hess Pozz reduce la reacción álcali-sílice de Brian Jeppsen.

Entre mejor sea la calidad de la puzolana agregada al cemento, el resultado es un hidrato estabilizado, que además de generar una pasta fuerte también es menos permeable a los ataques químicos, estos ataques son comunes en el cemento sin aditivos como la puzolana, evidenciándose en la vulnerabilidad a los ácidos de carbono y dióxido de sulfatos solubles.

Teniendo en cuenta el aumento de la calidad del cemento con la adición de puzolana, las industrias cementeras continúan con el mejoramiento del producto terminado, analizando de manera específica la composición de dichas puzolanas como aditivo, de este modo se evidencia el hecho que la composición mineralógica de las puzolanas es un factor determinante en la actividad puzolanica y de modo consecuente en las propiedades de los cementos mezclados, un factor que influye de manera importante en la mezcla de concreto es el menor requerimiento de agua, sobre todo cuando en la puzolana predomina la fase vítrea o también llamada en este estudio como fase amorfa.

Químicamente según la norma ASTM C618 en la industria cementera se requiere que la puzolana cuente con un porcentaje mayor al 70 % en sumatoria entre los óxidos más importantes que generan reacción con la cal como lo son:



De este modo la actividad puzolanica que requiere la industria cementera se refiere a la capacidad de reacción entre el hidróxido de Calcio (Clinker) y la Puzolana en presencia del agua y así mismo la velocidad con la que esta pueda ocurrir, para finalmente producir Silicatos y Aluminatos de Calcio Hidratados.





Como vemos en las anteriores reacciones químicas la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y la Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) Son Componentes Ácidos provenientes de materiales puzolánicos, en las dos reacciones estos compuestos reaccionan con la cal ( $\text{CaCO}_3$ ) que ha sido previamente sometida al altas temperaturas obteniendo como tal el Clinker que es sometido a trituración y molienda en conjunto con la puzolana. En el momento de adicionarse al cemento la mezcla con Agua, se generan las reacciones representadas anteriormente, estas uniones son lábiles, es decir tienen una velocidad de descomposición elevada.

A pesar de representar estas dos reacciones de forma independiente, no se pueden considerar como tal de este modo, ya que es de vital importancia tanto la presencia de Sílice, como la Presencia de Alúmina al aportar un mayor contenido de álcalis, estos dos productos representados de forma independiente pero generados en conjunto en el fraguado del cemento presentan un comportamiento de pseudogeles.

El tercer oxido de vital importancia en la composición suministrada por la puzolana al cemento Portland es el Óxido de Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) que en una forma lenta y atenuada en la reacción termina actuando del mismo modo que la alúmina.

La calidad del cemento aumenta con la calidad de la puzolana, de este modo la industria cementera busca por medio de estas adiciones refinar el tamaño de poro en el concreto ya fraguado, lo que se ve directamente afectado por la composición química de las puzolanas y la actividad que estas generen dentro de la reacción, la formación de productos secundarios de hidratación, (Específicamente CSH Silicatos de Calcio Hidratados) tiende a rellenar las cavidades con un material microporoso, en este sentido si vemos a relación en el volumen ocupado por la masa, podríamos decir que estas cavidades se rellenan con partículas de baja densidad. La transformación de grandes cavidades capilares a poros muy finos es lo que se llama en la calidad del cemento como refinamiento del tamaño de poro.

La reacción entre la puzolana y el Clinker ya triturados, reemplaza los grandes y orientados cristales de Hidróxido de Calcio ( $\text{CaOH}$ ) por numerosos, pequeños cristales de menor orientación y menor cristalinidad dando paso a la transformación de granos grandes iniciales en granos más pequeños, generando un refinamiento en el tamaño de grano, que en conjunto con el refinamiento del tamaño del poro aumentan la resistencia de la pasta del cemento.

## 5.2. MÉTODO DE ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X.

El método para el análisis químico de las muestras en solicitud se basa en fluorescencia de rayos X, este método consiste en aprovechar la naturaleza y ubicación de los electrones en la materia. Químicamente es de conocimiento que los electrones se encuentran distribuidos en distintos niveles y subniveles de energía dentro del átomo. Se sitúan en forma ascendente de menor a mayor energía respectivamente, hasta ubicarse todos en los niveles del átomo, el estado de mínima energía se conoce como estado fundamental.

El método de análisis Químico por fluorescencia de rayos X consiste en bombardear estos átomos con un haz de electrones o como la técnica se denomina con fotones de rayos x, de este modo una parte de la energía suministrada se usa en la producción del espectro propio de rayos X que pueden componer la muestra en análisis o bombardeada.

Este proceso de producción del espectro se esquematiza de la siguiente manera para efectos de mayor entendimiento.

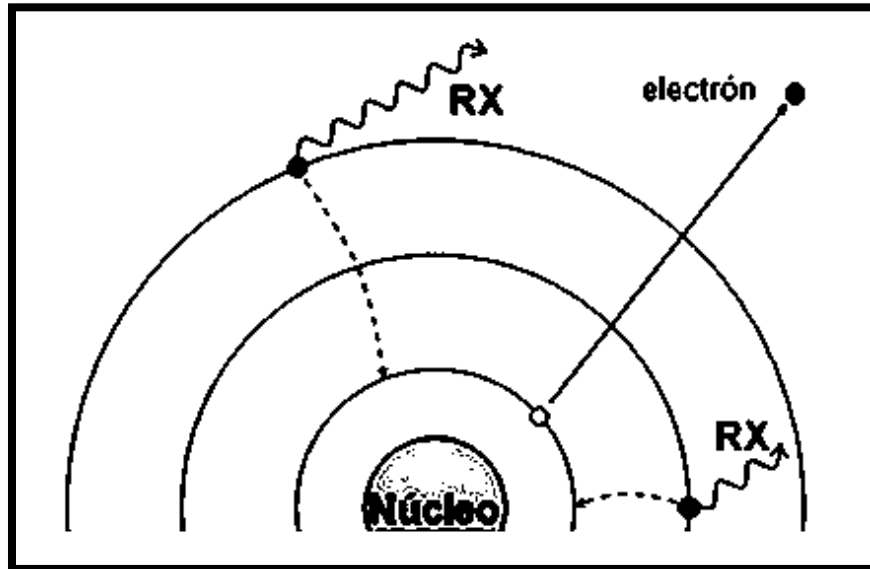


Figura 16. Mecanismo de la Fluorescencia de rayos – X Fuente: Artículo Métodos no destructivos para análisis químico. Dra Celia R Tomachuk

De este modo es clave entender dos procesos generados en el desarrollo del espectro.

El primero de ellos es la Excitación: Que es producida por el choque entre un electrón o fotón X incidente con un electrón de las capas internas del átomo, este choque produce la expulsión de dicho electrón dejando de este modo el átomo en estado excitado.

El segundo fenómeno que se desarrolla en la generación del espectro hace referencia a la Emisión: En el momento que el átomo queda en estado de excitación su naturaleza hace que tienda a volver de forma inmediata a sus estado fundamental, pero para que este proceso se genere, se producen obligatoriamente saltos de niveles más externos para cubrir el hueco producido, de este modo se genera un desprendimiento de energía. La energía liberada es representada por la diferencia de energía de los niveles entre los que se ha producido el salto electrónico, esta energía se libera en forma de radiación electromagnética a lo que se conoce como región de rayos X.

Este proceso de excitación que ha sido producida por el bombardeo de electrones es llamado como excitación primaria, y así mismo la radiación obtenida, se denomina radiación X primaria. Los tubos de rayos X son provenientes de la radiación X primaria.

Pero el proceso real del análisis se genera con la excitación de otra radiación X, que se conoce como radiación X secundaria o radiación de fluorescencia. Es la radiación X secundaria la que se utiliza realmente para análisis químico por fluorescencia de rayos X.

Ahora bien teniendo en cuenta la radiación X secundaria, vemos que las energías de los diferentes niveles electrónicos son características para cada tipo de átomo, esto quiere decir que la radiación X emitida por cada tipo de átomos será única y diferente a los demás átomos.

El proceso de Excitación hace que se generen desplazamiento de los electrones, por lo tanto cuando la energía de los electrones que inciden sobre un átomo es igual o de mayor energía que la del nivel K, es posible la expulsión de un electrón de dicha capa K, estas transiciones dan lugar a una serie de radiaciones de ondas similares que dan lugar a la serie K (se denominan  $K\alpha, K\beta, \dots$ ). Esta serie es la serie de mayor energía por el hecho de encontrarse más cerca del núcleo del átomo pero inversamente se genera una longitud de onda menor.

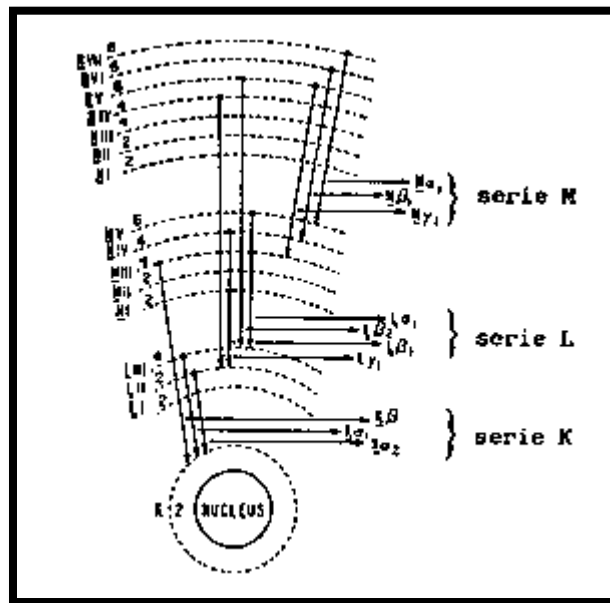


Figura 17. Representación de grafica del desplazamiento de los electrones en el proceso de excitación para análisis por fluorescencia de rayos X. Fuente: Artículo Métodos no destructivos para análisis químico. Dra. Celia R Tomachuk

Así mismo se pueden generar transiciones desde los subniveles de la capa L, dando lugar a la serie L (se denominan  $L\alpha, L\beta, \dots$ ). O del mismo modo se puede generar esta misma excitación y transición a la serie M como se ve en la figura anterior.

El Equipo de fluorescencia de Rayos X lo que hace es aprovechar el hecho de poder identificar la longitud de onda o energía de las radiaciones características, de este modo al tener la variación estimada para cada elemento, es posible conocer los elementos que se encuentran conformando la muestra, medir las intensidades presentes permite que podamos tener el valor de las concentraciones de dicho elemento.



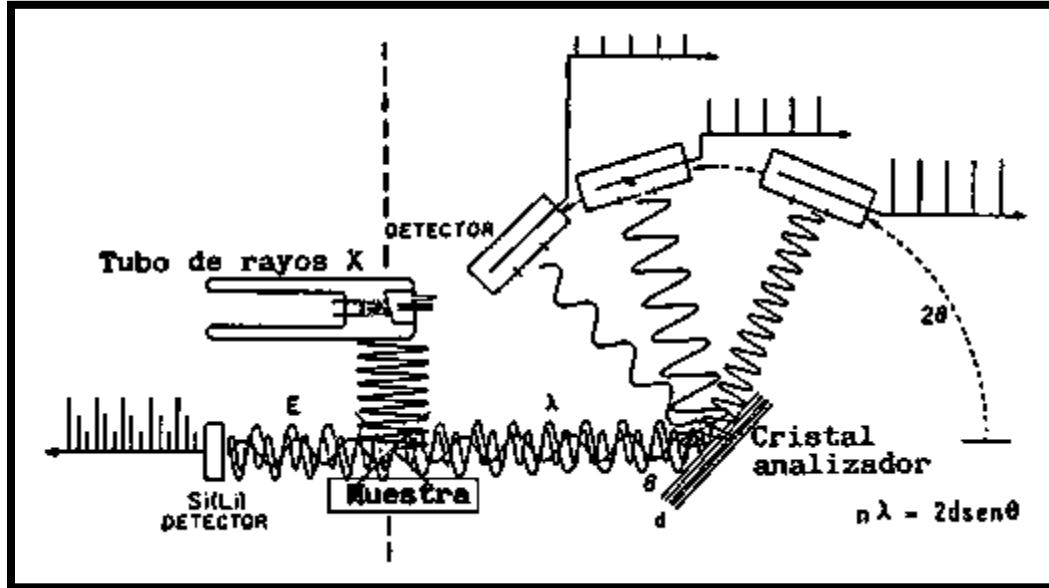


Figura 18. Representación esquema de fluorescencia de rayos X Clásico, Fuente: Artículo Métodos no destructivos para análisis químico. Dra. Celia R Tomachuk.

La Anterior Figura representa en su parte derecha un espectrómetro de fluorescencia de rayos X Clásico, mostrando el fundamento de este análisis químico, de este modo el espectro de fluorescencia policromático emitido por la muestra al ser excitada por un haz de radiación producido por el tubo de rayos X. De acuerdo a las longitudes de onda es descompuesto monocromáticamente. El haz que se ha difractado para cada posición angular del monocristal, incide sobre un detector, que convierte los fotones en impulsos eléctricos, mostrados en la intensidad de cada elemento químico para el caso representado en óxidos de Aluminio, Óxidos silicio y óxidos de Hierro.

### 5.3 RESULTADOS QUÍMICOS OBTENIDOS

Teniendo en cuenta los estudios que se realizaron a las muestras obtenidas en campo por medio de fluorescencia de rayos X (método de longitud de onda), los cuales nos arrojaron los porcentajes de sus respectivos componentes químicos, y de esta manera poder obtener la correlación necesaria y zonificación del domo de Iza.

CODIGO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ESTE	NORTE
	%	%	%	%	%	%	%	%		
1631	83,64	5,99	2,01	0,28	0,27	0,25	0,95	0,15	1119999	1112452
1632	47,15	16,47	2,10	0,13	0,15	10,21	6,15	0,21	1120075	1112426
1633	90,98	1,17	0,45	0,15	0,10	0,15	0,29	0,14	1120099	1112427
1634	48,46	15,57	2,88	0,11	0,16	7,85	7,32	0,16	1120026	1112401
1635	90,88	0,55	0,36	0,11	0,10	0,17	0,30	0,09	1120077	1112376
1636	61,75	17,09	3,15	0,20	0,71	0,42	4,65	0,21	1120152	1112377
1637	90,56	2,43	0,96	0,15	0,09	0,07	0,32	0,10	1119926	1112342
1638	91,35	1,78	0,76	0,09	0,08	0,22	0,35	0,09	1119999	1112352
1639	67,01	21,05	2,37	0,08	0,36	0,50	2,02	0,07	1119899	1112327
1640	44,19	11,87	8,56	0,09	0,11	10,01	5,78	0,07	1119975	1112327
1641	90,35	0,99	0,20	0,30	0,09	0,25	0,31	0,09	1120072	1112327
1642	93,75	0,84	0,10	0,06	0,08	0,02	0,19	0,07	1120125	1112327
1643	52,27	16,15	0,19	0,14	0,13	9,10	5,43	0,10	1120075	1112299
1644	55,89	22,30	1,32	0,10	0,20	3,45	3,45	0,10	1119949	1112377
1628	91,02	2,20	0,25	0,17	0,12	0,05	0,20	0,11	1120155	1112277
1629	61,25	23,67	0,82	0,10	0,21	0,72	2,34	0,20	1119899	1112253
1630	64,01	23,76	1,86	0,12	0,41	0,70	0,87	0,13	1120175	1112249
1621	17,02	26,98	0,33	0,09	0,18	17,34	9,27	0,19	1119950	1112225
1622	90,05	2,50	0,38	0,15	0,10	0,00	0,15	0,32	1119999	1112235
1627	65,71	22,16	0,80	0,08	0,45	0,75	3,15	0,15	1120999	1112229
1623	90,30	2,85	0,31	0,12	0,09	0,12	0,17	0,41	1120151	1112229
1624	90,72	1,05	0,40	0,08	0,10	0,03	0,16	0,10	1119799	1112199
1625	66,85	17,99	0,90	0,22	1,00	0,09	5,76	0,19	1120076	1112205
1626	91,34	3,45	0,67	0,09	0,11	0,01	0,32	0,09	1120175	1112188

Tabla 1. Resultados químicos obtenidos.

---

### 5.4 GENERALIDADES DE LA PETROGRAFIA EN EL ANALISIS DE PUZOLANAS NATURALES.

Las rocas ígneas se forman por el enfriamiento y la solidificación de magma, dependiendo de cómo haya sido este proceso cada roca puede generar una textura diferente y por tal razón se pueden generar diferentes tipos de rocas.

Las rocas plutónicas o intrusivas fueron formadas a partir de un enfriamiento lento y en profundidad del magma. El magma se enfrió lentamente, permitiendo así el crecimiento de grandes cristales de minerales puros. Ejemplos: granito y sienita.

Las rocas volcánicas o extrusivas, se forman por el enfriamiento rápido y en superficie, o cerca de ella, del magma. Se formaron al ascender magma fundido desde las profundidades llenando grietas próximas a la superficie, o al emerger magma a través de los volcanes. El enfriamiento y la solidificación posteriores fueron muy rápidas, dando como resultado la formación de minerales con grano fino o de rocas parecidas al vidrio, en esta clasificación se encuentra el yacimiento a estudio, siendo más exactos hablamos de riolita.

Existe una correspondencia mineralógica entre las rocas plutónicas y volcánicas, de forma que la riolita y el granito tienen la misma composición química, así como el gabro y el basalto. Sin embargo, la textura y el aspecto de las rocas plutónicas y volcánicas son diferentes.

Las rocas ígneas, compuestas casi en su totalidad por silicatos, pueden clasificarse según su contenido de sílice. Las principales categorías son ácidas o básicas. En el extremo de las rocas ácidas o silíceas están el granito y la riolita, mientras que entre las básicas se encuentran el gabro y el basalto. Son de tipo intermedio las dioritas y andesitas.

Las rocas ígneas ácidas tienen un contenido de silicio que está entre 65 y 75%, incluye rocas intrusivas como: Granito, Cuarzomonzonita, Granodiorita y Tonalitas; así como extrusivas de nombre: Riolita, Cuarzolatita y Dacita. En Colombia las rocas graníticas se presentan preferencialmente en las partes centrales y orientales de la cordillera central, en la cordillera oriental. Para poder dar una clasificación más precisa utilizamos la siguiente figura, en la cual se tiene en cuenta el porcentaje de Cuarzo, Alcalinos, Feldespatos, Plagioclasas y Minerales Máficos.

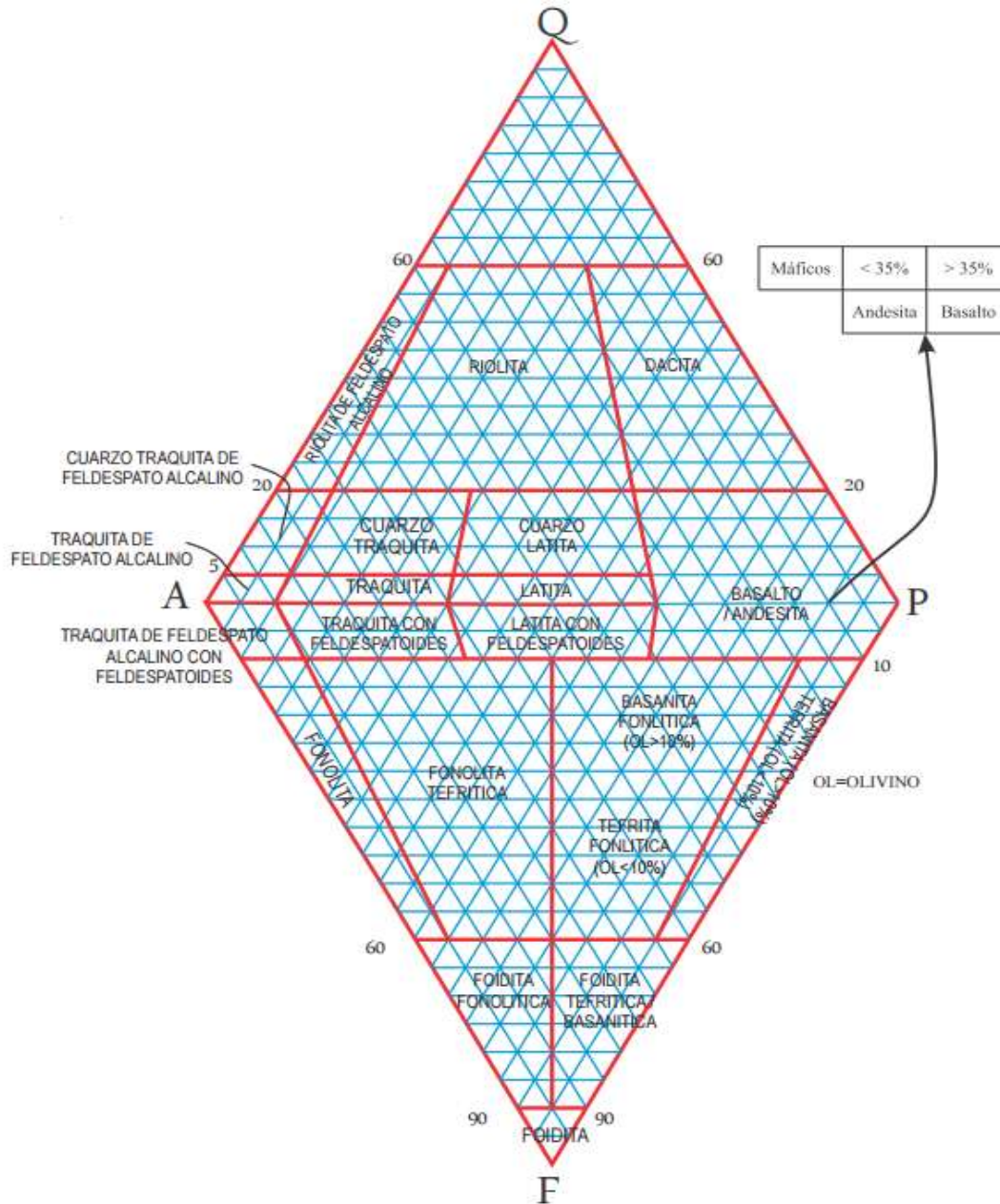


Figura 19. Clasificación para rocas volcánicas basado en Streckeisen, 1978, en Le Maitre, 2002, p. 31.

Fuente. Clasificación de Rocas ígneas Ácidas, Intermedias, Básicas y Ultrabásicas. Ing. Sandra Manosalva.

En nuestra zona de estudio hablamos de Roca Hipobasal teniendo en cuenta que se formaron más en profundidades entre las plutónicas y las volcánicas, esto debido a que fueron formadas por una intrusión ígnea de pequeñas proporciones, tales como un sill o un dique de tamaño intermedio.

---

## 5.5 CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS DE LA PUZOLANA

La puzolana explotada en el domo Iza, en muestra de mano presenta colores blancos, grises claro y rosados, una consistencia débil, se rompe con facilidad con el martillo y no se le observan cristales a simple vista. En el microscopio se determina que está compuesta por material amorfo (Ópalo) y por materiales cristalinos. Se mostraran las características de la puzolana encontrada.

Se elaboraron las 24 secciones delgadas para análisis petrográfico, se realizó un análisis por medio de conteo de puntos (500) Obteniendo como resultado los porcentajes de concentración de los minerales encontrados. Según el procedimiento con menos porcentaje del 5% en concentración se cuentan como minerales accesorios y no se toman en cuenta para la clasificación streckeisen (1966) sin embargo para efectos de correlación química se tomaron todas las fases mineralógicas presentes así sea en menor proporción y así poder determinar que fases mineralógicas aportan estas concentraciones químicas.

RESULTADOS ESTUDIOS PETRÓGRAFICOS

CODIG	Opalo	Cuarzo	P.Opalo	Circón	Rutilo	Clorita	Tridimita	Epidota	Limonita	Cristobalita	M. arcilloso	Sanidina	Goethita	Plagioclasas	P.Alterada
1621	6	0,3	5	0,5	2	0	3,8	0,2	0,5	50,2	31	0	0,5	0	0
1622	41,7	1,3	37,5	1,5	3	2	13	0	0	0	0	0	0	0	0
1623	42	2	42	0,5	1	0,5	12	0	0	0	0	0	0	0	0
1624	0	30	0	1,5	1,5	0	0	0,3	1,2	2,5	0	0	0	0	62
1625	18	1,4	0	0,6	2	0	9	6,2	0	0	0	0	0	0,3	62,5
1626	50	0	32	0	2	2	13,9	0	0	0	0	0,1	0	0	0
1627	0	5,1	0	0,1	1,5	3	4,1	0,4	0	0	0	1,2	0	0	83,8
1628	48,2	2,5	23	1,3	4	3	16	0	0	2	0	0	0	0	0
1629	0	2,2	35	1	5	5	13,9	0	1,9	0	27	6	3	0	0
1630	43,5	1,5	0	0,5	4	0,5	11	0	0	26	13	0	0	0	0
1631	45,2	3,8	21	0,3	2,7	2	5	0	3	0,9	8	0	2,1	0	0
1632	34,7	2,5	18	2	0	0	5	0	0,2	24	0	0	6	0	0
1633	52	2	28,5	0,5	1	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0
1634	17	1,5	41,8	0	0	0	3,1	0	0	25,6	0	0	7	0	0
1635	70,4	1,6	6,8	1	5	0	14	0,6	0	0	0	0	0,6	0	0
1636	5	2	20	1	2	1,5	15,8	9,3	6,9	12	20	0	3	0	0
1637	42,5	2,2	17,8	0,5	0,5	2,5	16	0	0	7,8	10,2	0	0	0	0
1638	56,5	1,8	12,5	2	2,5	0	13,2	0,6	0	0	8,8	0	0	2,1	0
1639	8	0,5	10	1	4,7	1	15	0	7	12,9	27,8	0	10,1	0	0
1640	34	0,6	11	0	0	0	23,4	19	4,1	7,8	0	0	0	0	0
1641	70,5	1,4	15,6	0,5	3	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
1642	31,2	6	42	3	3,8	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0
1643	35,2	1,7	30	0,8	0,5	0,5	21,7	1,1	0	2	0	4,5	0	2	0
1644	21,6	1	10	2	2	0,8	9	0	0,7	16,5	32,5	0	0	0	0

Tabla 2. Resultados petrográficos obtenidos.



A continuación se relacionan los minerales encontrados, con cada una de sus fórmulas químicas y aspectos generales de su génesis, que usaremos para nuestra correlación química y mineralógica.

**OPALO:** Es Amorfo aporta Sílice ( $\text{SiO}_2$  más  $\text{H}_2\text{O}$  de (1-21%), se forma como producto de de descomposición y deshidratación de silicatos, rocas eruptivas modernas.

**TRIDIMITA:** ( $\text{SiO}_2$ ) se evidencia ópticamente del color del cuarzo con la diferencia de encontrarse en forma de laminillas superpuestas como escamas de peces. En cumplimiento con la teoría se encuentra en rocas acidas efusivas. Es estable a temperaturas inferiores a  $117^\circ\text{C}$ .

**CRISTOBALITA:** ( $\text{SiO}_2$ ) Estable a temperaturas inferiores de  $200^\circ\text{C}$ , se presenta como la red en escamas de peces como la tridimita pero con tamaño de cristales inferior. Se encuentra en los poros de rocas volcánicas como la tridimita.

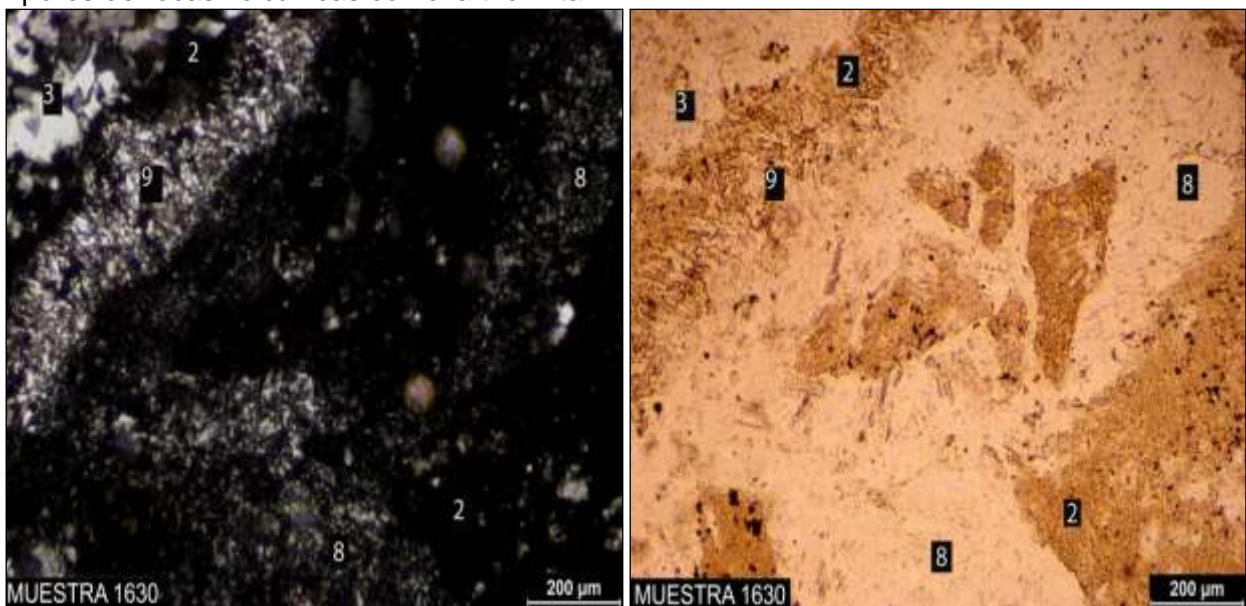


Figura 20. Vista microscópica de los anteriores minerales.

Izquierda: Nicoles Cruzados 2.Opalo 3.Tridimita 8.Material Arcilloso 9. Cristobalita.

Derecha: Nicoles Paralelos 2.Opalo 3.Tridimita 8.Material Arcilloso 9. Cristobalita.

**SEMIOPALO O VIDRIO OPALIZANDOSE:** Granoso Opaco, Vidrio Resinoso. Sin irisaciones. ( $\text{SiO}_2$  más  $\text{H}_2\text{O}$  de (1-21%),

**CALCEDONIA:** ( $\text{SiO}_2$ ) Es una variedad del cuarzo con estructura criptocristalina, se evidencia fibras paralelas entre si ubicadas de forma aciculares. Tentativamente estable a temperaturas inferiores a  $573$  grados.

**CUARZO:** ( $\text{SiO}_2$ ) El cuarzo se encuentra estable por debajo de una temperatura inferior a  $573$ , puesto que contiene una estructura Trigonal Trapezoedro, encontramos el cuarzo primario en ocasiones redondeado evidenciando transporte, por lo tanto hablaríamos de un emplazamiento volcánico con contactos de rocas sedimentarias, este cuarzo es  $\text{SiO}_2$  puro fenocristalino.

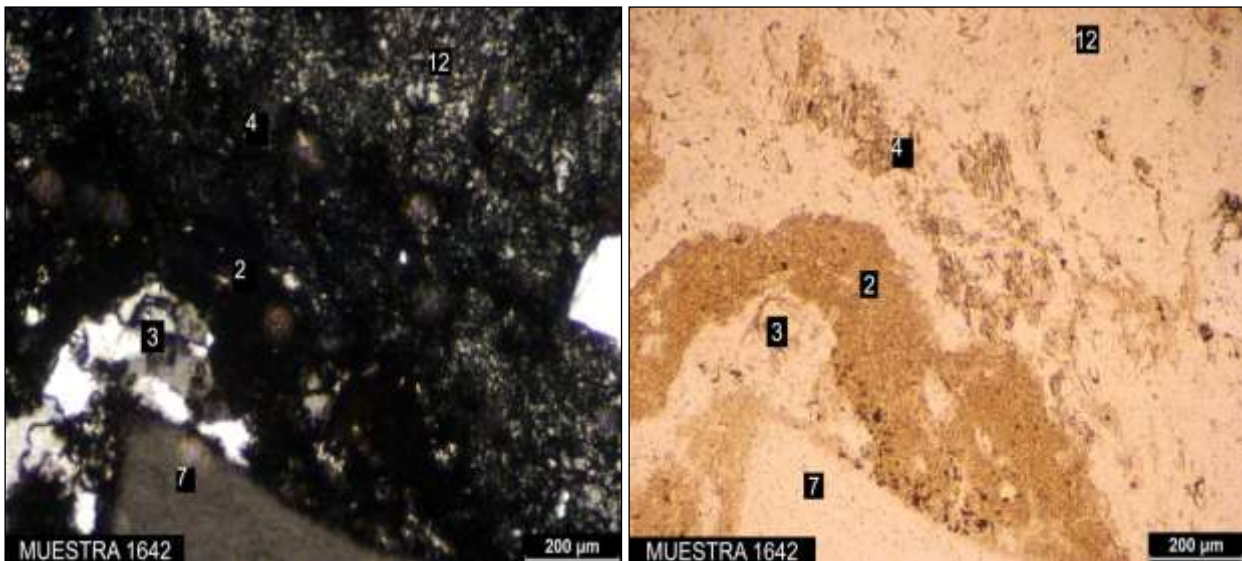


Figura 21. Vista microscópica de minerales.

Izquierda. Nícoles Cruzados 2.Opalo 3.Tridimita 4.Parcialmente Opalizado 7. Cuarzo.  
Derecha. Nícoles Paralelos 2.Opalo 3.Tridimita 4. Parcialmente Opalizado 7. Cuarzo.

#### MINERALES QUE APORTAN ALÚMINA

Minerales arcillosos no identificados por su diminuto tamaño en el microscopio exceptuando la caolinita.

**CAOLINITA:**  $Al_4 [(OH)_8/Si_4O_{10}]$  Trazas de  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $BaO$ ,  $SiO_2$ , etc.) Se encuentra en formaciones hidrotermales a partir de feldespatos, moscovita, topacio, escapolita, leucita, andalucita, pirofilita.

Se encuentra por meteorización de rocas metamórficas y eruptivas ricas en Al.

#### MINERALES ACCESORIOS COMO:

**PIRITA:** ( $FeS_2$ ) Reconocimiento por su sistema Cubico opaco, En macro se evidencio su brillo metálico, de color amarillo oro, puede tener superficies limonitizadas. Se encuentra en yacimientos metasomaticos y de contacto hidrotermal o sedimentario. Su fórmula química es  $FeS_2$ .

**RUTILO:**  $TiO_2$  (Con  $Fe^{2+}$ , Sn) Es un mineral accesorios en filones de cuarzo o con otros minerales (oligisto, ilmenita, etc.)

**ANATASA:** Red parecida a la del rutilo  $TiO_2$  (Contiene  $Fe_2O_3$ ) Es un elemento microscópico de rocas eruptivas alteradas.

**ALUNITA:**  $KAl_3[(OH)_6](SO_4)_2$  Contiene Algo de Sodio (Na), se encuentra por lo general en traquitas y andesitas alteradas. Rellenando drusas, acompañada de sulfuros de Zn y Ag. Es concoide astillosa.

**CIRCON:** Celdilla tetragonal centrada en el interior  $Zr [SiO_4]$  con impurezas normales  $Al_2O_3$  y  $CaO$ , tiene estructura Di tetragonal Dipiramidal

**EPIDOTA:**  $[Ca_2 (Fe^{3+}, Al) Al_2 [O/OH/SiO_4/SiO_7]$  Tetraedros Aislados de  $SiO_4$  y Dobles tetraedros de  $SiO_7$  se unen en combinación Octaédrica con (Fe y Al). Los átomos de Ca están Rodeados irregularmente por oxígenos.

Los octaedros  $[AlO_6]$  y  $[AlO_4(OH)_2]$  Se unen por aristas comunes

Se da en las grietas de Cloritas, horblendas, Dioritas, sienitas, granitos, junto a cristal de roca, adularia

**CLORITA**  $(Mg, Fe)_3 (Si, Al)_4 O_{10} (OH)_2 \cdot (Mg, Fe)_3 (OH)_6$  Se forman por transformación y alteración de la Augita, la biotita y la Horblenda.

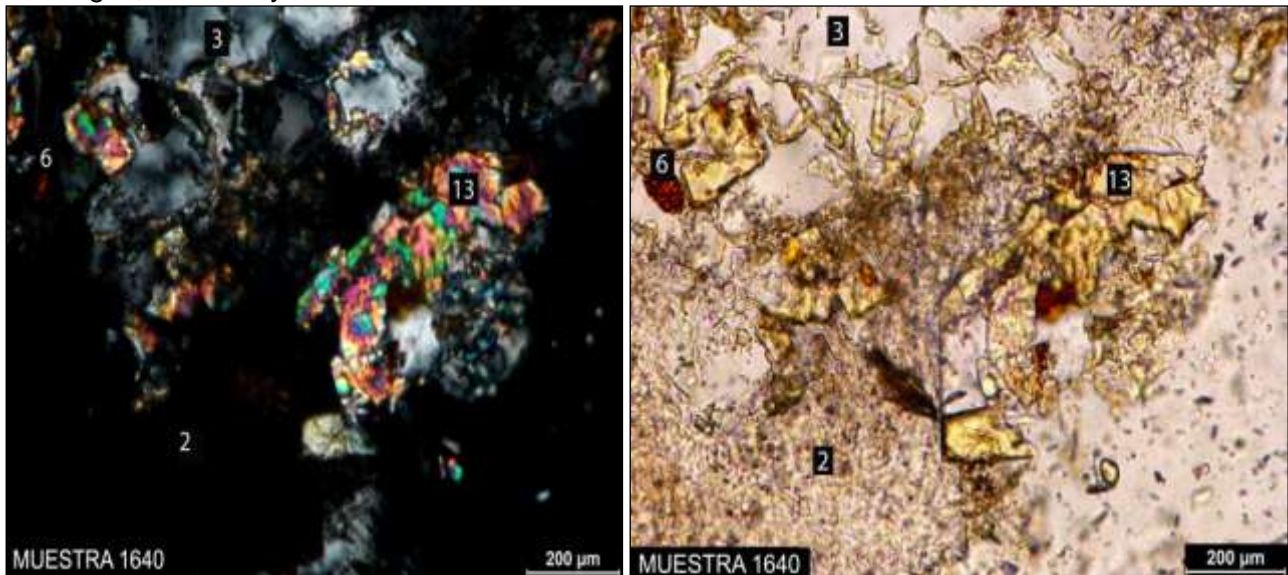


Figura 22. Vista microscópica de minerales accesorios.

Izquierda. Nícoles Cruzados 2.Opalo 3.Tridimita 6. Rutilo 13. Epidota.

Derecha. Nícoles Paralelos 2.Opalo 3.Tridimita 6. Rutilo 13. Epidota.

#### FELDESPATOS

**ORTOSA:**  $K [AlSi_3O_8]$  Con frecuencia  $Na_2O$  e impurezas de  $BaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ . Etc. Se genera en los granitos, pegmatitas, pórfidos, Sienitas, Traquitas, Neis.

**SANIDINA:**  $K [AlSi_3O_8]$  Con impurezas de  $Na_2O$  y raras veces  $BaO$

**PLAGIOCLASAS:**



ALBITA (Ab):  $\text{Na} [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  Componente de Rocas Ígneas Alcalinas: Granitos, Sienitas Eleolíticas, Dioritas etc.

LABRADORITA: Ab: 50-30% An: 50-70% Componente de Basalto Dolerita, Andesita, Gabro, Norita, Diabasa, Diorita. Suele estar asociada a piroxenos y anfíboles.

BITOUNITA: Ab: 30-10% An: 70-90% En rocas muy Básicas como la labradorita.

ANORTITA (An):  $\text{Ca} [\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$  Gabros Olivínicos, Norita, Andesita, Basalto Etc.

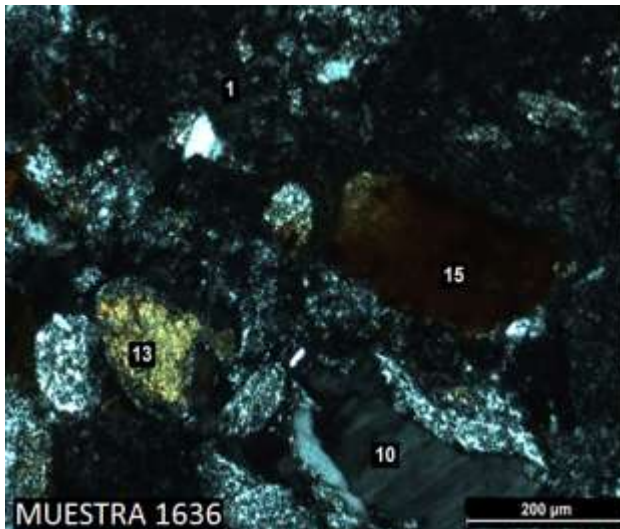


Figura 23. Vista microscopica plagioclasa.

Nicoles Cruzados 1. Clorita 10. Plagioclasa 13. Epidota 15. Goethita.

Nota: Para el caso de la clasificación de rocas volcánicas basado en Streckeisen, 1978, en Le Maitre, 2002, se debe realizar un recalcu omitiendo los minerales accesorios y secundarios, sin embargo para efectos del objeto de estudio se tomó el 100% de los minerales presente de manera que se logre evidenciar la correlación entre los resultados químicos y los resultados petrográficos.

## 6. ZONIFICACIÓN.

### 6.1 CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR CADA UNA DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS.

En el contenido de este capítulo se dará a conocer la correlación de los porcentajes obtenidos químicamente y petrográficamente, de cada una de las muestras analizadas. Tendremos en cuenta los minerales que aportan al contenido de sílice, al contenido de Alúmina y al contenido de Hierro. En las tablas esta relación se hará por medio de colores que identificaran la correlación de

dichos elementos. Por cada muestra se generara una gráfica que indicará si esta muestra es o no favorable para la Cementera, esto se realizará en el siguiente capítulo.

### MUESTRA 1621

CODIGO CEMENTERA:1621										
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)		
17,02	26,98	0,33	0,09	0,18	17,34	9,27	0,19			
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	M. arcilloso	Epidota [Ca <sub>2</sub> (Fe <sub>3+</sub> ,Al)Al <sub>2</sub> [O/OH/SiO <sub>4</sub> /SiO <sub>7</sub> ]	Goethita FeO(OH)	Limonitas FeO(OH)·nH <sub>2</sub> O	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2+</sub> ,Sn)	Circon Zr [SiO <sub>4</sub> ]
6,0	0,3	5,0	3,8	50,2	31,0	0,2	0,2	0,5	2,0	0,5

Ópalo + P.Opalizado = 11.0 % Fase Amorfa reactiva.  
La Alúmina es aportada Por el material Arcilloso y puede generarse efecto negativo en la calidad del cemento.El análisis determina una puzolana de baja Calidad.

**Tabla 3. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1621.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes a la Alúmina marcados con color amarillo, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 31,2 aportado por el Material Arcilloso y la Epidota, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 26,98 de Alúmina, evidenciamos similitud en dichos resultados.

**MUESTRA 1622**

CODIGO CEMENTERA:1622								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
90,05	2,50	0,38	0,15	0,10	0,0	0,15	0,32	
Opalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe2+, Sn)	Clorita (Mg, Fe) <sub>3</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg, Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)	
41,7	1,3	37,5	13,0	3,0	2,0	1,5		
<p>Ópalo + P.Opalizado = 79,2 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.            14,3 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por el Cuarzo y la Tridimita. Circón y Clorita pueden aportar la concentración existente de Alúmina pero no genera efecto negativo.</p>								

**Tabla 4. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1622.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 93,5 aportado por Ópalo, Cuarzo, Parcialmente Opalizado y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 90,05 de Sílice, evidenciamos similitud en dichos resultados.

El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, ya que este no es aportado por material Arcilloso sino por la Clorita.



**MUESTRA 1623**

CODIGO CEMENTERA:1623								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
90,30	2,85	0,31	0,12	0,09	0,12	0,17	0,41	
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> , Sn)	Clorita (Mg, Fe) <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)	
42,0	2,0	42,0	12,0	1,0	0,5	0,5		
<p>Ópalo + P.Opalizado = 84.0 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.                      12,0 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por la Tridimita.                      El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo por no ser aportado por material Arcilloso.La Clorita puede aportar la concentración existente de Alúmina pero no genera efecto negativo.</p>								

**Tabla 5. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1623.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 96,0 aportado por Ópalo, Cuarzo, Parcialmente Opalizado y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 90,30 de Sílice, evidenciamos similitud en dichos resultados.

El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, ya que este no es aportado por material Arcilloso sino por la Clorita.

**MUESTRA 1624**

CODIGO CEMENTERA:1624								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
90,72	1,05	0,40	0,08	0,10	0,03	0,16	0,10	
Cuarzo SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> , Sn)	M. arcilloso Con Ópalo	Epidota [Ca <sub>2</sub> (Fe <sup>3+</sup> , Al)Al <sub>2</sub> [O/OH/SiO <sub>4</sub> /SiO <sub>7</sub> ]	Limonitas FeO(OH)•nH <sub>2</sub> O	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Opacos	
30,0	2,5	1,5	62,0	0,3	1,2	1,5	1,0	
Muestra Alterada con un alto contenido de matriz isotrópica, que podría ser sin confirmar Un proceso de Opalización.								

**Tabla 6. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1624.**

El análisis químico no coincide con la mineralogía identificada, sin embargo si hablamos de un posible proceso de Opalización se le podría atribuir el porcentaje alto de sílice que se evidencia el Análisis Químico. En el análisis petrográfico se logró identificar un porcentaje de Cuarzo alto del 30,0%, este es un aporte al Sílice, sin embargo la muestra en resultados petrográficos no evidencio dicha correlación, ya que presentaba un grado de alteración muy significativo.

**MUESTRA 1625**

CODIGO CEMENTERA:1625								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
66,85	17,99	0,90	0,22	1,00	0,09	5,76	0,19	
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> , Sn)	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Epidota Ca <sub>2</sub> (Fe <sup>3+</sup> , Al)Al <sub>2</sub> [O/OH/SiO <sub>4</sub> /SiO <sub>7</sub> ]	Plagioclasas (Na, Ca)(Si, Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	P.Alterada	
18,0	1,4	0,6	2,0	9,0	6,2	0,3	62,5	
<p>Muestra muy alterada con alto porcentaje de Material arcilloso, para este caso es muy difícil poder identificar los minerales que aportan el alto contenido de Sílice que arrojan los resultados químicos.</p> <p>Puzolana de muy baja Calidad.</p>								

**Tabla 7. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1625.**

El análisis químico no coincide con la mineralogía identificada, sin embargo si hablamos de un posible proceso de Opalización se le podría atribuir el porcentaje de sílice que se evidencia el Análisis Químico.

La muestra en resultados petrográficos no evidencio correlación en los resultados Químicos, ya que presentaba un grado de alteración muy significativo.

**MUESTRA 1626**

CODIGO CEMENTERA:1626								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
91,34	3,45	0,67	0,09	0,11	0,01	0,32	0,09	
Ópalo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Clorita (Mg, Fe) <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>		Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> , Sn)	Sanidina K [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]		Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
50,0	32,0	13,9	2,0		2,0	0,1		
<p>Ópalo + P.Opalizado = 82,0 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.            13,9 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por la Tridimita.            El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo por no ser aportado por material Arcilloso.</p>								

**Tabla 8. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1626.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 95,9 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 91,34 de Sílice, evidenciamos similitud en dichos resultados.

El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, ya que este no es aportado por material Arcilloso sino por la Clorita y Sanidina.

**MUESTRA 1627**

CODIGO CEMENTERA:1627									
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)	
65,71	22,16	0,80	0,08	0,45	0,75	3,15	0,15		
Bytownita (Na,Ca)(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2+</sub> ,Sn)	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> , (Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Alunita KAl <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> /(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Epidota Ca <sub>2</sub> (Fe <sub>3+</sub> ,Al) <sub>2</sub> [O/OH/SiO <sub>4</sub> /SiO <sub>7</sub> ]	Sanidina K [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	Pasta Altera
Trazas	5,1	4,1	0,1	1,5	3,0	0,8	0,4	1,2	83,8
La muestra se encuentra muy Alterada, no es posible identificar la matriz de la roca, solo se puede evidenciar 9,2% de sílice en fases cristalinas no reactivas para la función de la puzolana en la calidad del cemento									

**Tabla 9. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1627.**

El análisis químico no coincide con la mineralogía identificada, la muestra en resultados petrográficos no evidencio correlación, ya que presentaba un grado de alteración muy alto. Se hicieron 3 mediciones de plagioclasas no encontradas dentro de la malla de conteo de puntos, dos de ellas indicaron ser Bytownita y una de ellas labradorita, este resultado amerita de una investigación más exhaustiva puesto que esta composición hace referencia a rocas básicas, y la puzolana es una roca Riodacítica o roca acida. De este modo Geológicamente se presentan interrogantes.

Se presentan cristales de figura rómbica, alterados a arcilla probablemente (Anfíboles). La muestra 1627 es de baja calidad para la Cementera.

**MUESTRA 1628**

CODIGO CEMENTERA:1628								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
91,02	2,20	0,25	0,17	0,12	0,05	0,20	0,11	
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2+</sub> , Sn)	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> * (Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
48,2	2,5	23,0	1,3	4,0	3,0	16,0	2,0	
<p>Ópalo + P.Opalizado = 71,2 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.                  20,5 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por el Cuarzo, Tridimita y Cristobalita.                  No provenir de material Arcilloso.</p>								

**Tabla 10. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1628.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 91,7 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cristobalita, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 91,02 de Sílice, se genera similitud en dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, ya que este no es aportado por material Arcilloso sino por la Clorita.



**MUESTRA 1629**

CODIGO CEMENTERA:1629										
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en		
61,25	23,67	0,82	0,10	0,21	0,72	2,34	0,20	Porcentaje (%)		
Tridimita SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	M. Arcilloso	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> , Sn)	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Goethita FeO(OH)	Limonitas FeO(OH)*nH <sub>2</sub> O	Sanidina K [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	
13,9	2,2	35,0	27,0	5,0	5,0	1,0	3,0	1,9	6,0	
<p>P.Opalizado = 35,0 % Fase Amorfa reactiva en menor proporción que el ópalo.            15,9 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por el cuarzo y la Tridimita.            El porcentaje alto de Alúmina Puede Afectar la calidad de la puzolana por provenir de material arcilloso.</p>										

**Tabla 11. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1629.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 51,1 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 61,25 de Sílice, evidenciamos similitud en dichos resultados.

El Porcentaje de Alúmina es de 23.67 puede presentar una muestra de Calidad Media, ya que este es aportado por material Arcilloso, Sanidina y Clorita.

**MUESTRA 1630**

CODIGO CEMENTERA:1630								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones Expresadas en Porcentaje (%)
64,01	23,76	1,86	0,12	0,41	0,70	0,87	0,13	
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe2+, Sn)	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	M. arcilloso	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
43,5	1,5	26,0	11,0	4,0	0,5	0,5	13,0	
<p>Ópalo + P. Opalizado = 43,5 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.            38,5 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por el Cuarzo, Tridimita, Cristobalita.            Presenta alto contenido de Sílice en fase Mineralógica cristalina no favorable.</p>								

**Tabla 12. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1630.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 82,0 aportado por Ópalo, Cristobalita, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 64,01 de Sílice. El Porcentaje de Alúmina es 23.76 puede presentar una muestra de Buena Calidad, ya que este es aportado por material Arcilloso y Clorita.

**MUESTRA 1631**

CODIGO CEMENTERA:1631											
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)			
83,64	5,99	2,01	0,28	0,27	0,25	0,95	0,15				
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ·x(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> ,Sn)	Limonitas Fe(OH)·nH <sub>2</sub> O	Goethita Fe(OH)	M. arcilloso	Grahuaca
45,2	3,8	21,0	5,0	0,9	2,0	0,3	2,7	3,0	2,1	8,0	6,0
<p>Ópalo + P.Opalizado = 66,2 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.9,7 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por el cuarzo, Tridimita, Cristobalita.Presenta Líticos, Material sedimentario que puede indicar contacto entre la roca volcánica y roca sedimentaria encajante.</p>											

**Tabla 13. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1631.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 75,9 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cristobalita, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 83,64 de Sílice, se genera similitud en dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina genera un efecto mínimo Negativo en la muestra, ya que este es aportado por material Arcilloso.

**MUESTRA 1632**

CODIGO CEMENTERA:1632										
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)		
47,15	16,47	2,10	0,13	0,15	10,21	6,15	0,21			
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Sericita	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Alunita KAl <sub>3</sub> [(OH) <sub>6</sub> ]/(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Goethita FeO(OH)	Limonitas FeO(OH)•nH <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
34,7	2,5	18,0	24,0	5,0	4,0	2,0	3,6	6,0	0,2	
<p>Ópalo + P. Opalizado = 52,7 % Fase Amorfa reactiva en menor proporción que el ópalo.            31,5 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por el cuarzo, la Tridimita y Cristobalita.            El porcentaje de alúmina representado en los análisis químicos no se identifica en la composición Mineralógica.</p>										

**Tabla 14. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1632.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 84,2 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cristobalita, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 47,15 de Sílice, la similitud en dichos resultados es mínima. El Porcentaje de Alúmina genera un efecto mínimo Negativo en la muestra, este porcentaje es aportado en poca cantidad por la Sericita.

**MUESTRA 1633**

CODIGO CEMENTERA:1633								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
90,98	1,17	0,45	0,15	0,10	0,15	0,29	0,14	
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2</sub> +, Sn)	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)		
52,0	2,0	28,5	16,0	1,0	0,5			
P.Opalizado = 80,5 % Fase Amorfa reactiva en menor proporción que el ópalo. 18,0 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por el cuarzo y la Tridimita. Puzolana de Muy Buena Calidad.								

**Tabla 15. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1633.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 98,5 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 90,98 de Sílice, se genera similitud en dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, ya que no se identifica en la composición Mineralógica.

**MUESTRA 1634**

CODIGO CEMENTERA:1634								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
48,46	15,57	2,88	0,11	0,16	7,85	7,32	0,16	
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Calcedonia SiO <sub>2</sub>	Pirita FeS <sub>2</sub>	Goethita FeO(OH)	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
17,0	1,5	41,3	3,0	25,6	1,0	4,0	7,0	
<p>Ópalo + P. Opalizado = 58,8 % Fase Amorfa reactiva en menor proporción que el ópalo. 30,1 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por el Cuarzo, Tridimita, Calcedonia y Cristobalita.</p>								

**Tabla 16. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1634.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 89,4 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cristobalita, Calcedonia, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 48,46 de Sílice, no se genera similitud en dichos resultados. El porcentaje de alúmina es de 15,57 representado en los análisis químicos, este no se identifica en la composición Mineralógica.



**MUESTRA 1635**

CODIGO CEMENTERA:1635								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
90,88	0,55	0,36	0,11	0,10	0,17	0,30	0,09	
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> , Sn)	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Epidota Ca <sub>2</sub> (Fe <sup>3+</sup> , Al)Al <sub>2</sub> [O/(OH)/Si <sub>0,4</sub> /SiO <sub>7</sub> ]	Goethita FeO(OH)	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
70,4	1,6	6,8	14,0	5,0	1,0	0,6	0,6	
Ópalo + P.Opalizado = 77,2 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento. 15,6 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por la Tridimita.								

**Tabla 17. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1635.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 92,8 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 90,88 de Sílice, se genera similitud en dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, ya que este no es aportado por material Arcilloso sino por la Epidota.

**MUESTRA 1636**

CODIGO CEMENTERA:1636												
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)				
61,75	17,09	3,15	0,20	0,71	0,42	4,65	0,21					
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> , Sn)	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Limonitas FeO(OH)*nH <sub>2</sub> O	Goethita FeO(OH)	M. arcilloso	Epidota [Ca <sub>2</sub> (Fe <sup>3+</sup> , Al)Al <sub>2</sub> [O/OH/SiO <sub>4</sub> /SiO <sub>7</sub> ]	Vermiculita Mg <sub>0,7</sub> (Mg,Fe,Al) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>8</sub> O <sub>21</sub> (OH) <sub>2</sub> ..8H <sub>2</sub> O
5,0	2,0	20,0	12,0	15,8	1,5	2,0	1,0	6,9	3,0	20,0	9,3	1,5
<p>Ópalo + P. Opalizado = 25,0 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.            29,8 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por Cuarzo, Tridimita, Cristobalita.            El Porcentaje de Alúmina es alto y puede generar un efecto Negativo por ser aportado por material Arcilloso.</p>												

**Tabla 18. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1636.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 51,1 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cristobalita y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 54,8 de Sílice, evidenciamos similitud en dichos resultados.

El Porcentaje de Alúmina es de 17,09 puede presentar una muestra de Calidad Media, ya que este es aportado por material Arcilloso, Clorita, Epidota y Vermiculita.

**MUESTRA 1637**

CODIGO CEMENTERA:1637									
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)	
90,56	2,43	0,96	0,15	0,09	0,07	0,32	0,10		
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> * (Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	M. arcilloso	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> , Sn)	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
42,5	2,2	17,8	16,0	7,8	2,5	10,2	0,5	0,5	
<p>Ópalo + P. Opalizado = 61,3 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.            26,8 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por Cuarzo, Tridimita, Cristobalita.            El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo.</p>									

**Tabla 19. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1637.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 86,3 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cristobalita, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 90,56 de Sílice, se genera similitud en dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, sin embargo evidenciamos que en análisis petrográfico hay un aporte de Material Arcilloso del 10,2 por ciento.

**MUESTRA 1638**

CODIGO CEMENTERA:1638									
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)	
90,05	2,50	0,38	0,15	0,10	0,00	0,15	0,32		
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2+</sub> ,Sn)	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Plagioclasas (Na,Ca)(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Epidota [Ca <sub>2</sub> (Fe <sub>3+</sub> ,Al)Al <sub>2</sub> [O/OH/SiO <sub>4</sub> /SiO <sub>7</sub> ]	M. arcilloso	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
56,5	1,8	12,5	13,2	2,5	2,0	2,1	0,6	8,8	
<p>Ópalo + P. Opalizado = 69 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.                      15,0 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por Cuarzo, Tridimita.                      El porcentaje de alúmina representado en los análisis químicos no se identifica en la composición Mineralógica.</p>									

**Tabla 20. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1638.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 83,7 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 90,05 de Sílice, se genera similitud en dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, sin embargo evidenciamos que en análisis petrográfico hay un aporte de Material Arcilloso del 8,8 por ciento.

**MUESTRA 1639**

CODIGO CEMENTERA:1639											
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)			
67,01	21,05	2,37	0,08	0,36	0,50	2,02	0,07				
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Goethita FeO(OH)	Limonitas FeO(OH)*nH <sub>2</sub> O	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2+</sub> , Sn)	Alunita KAl <sub>3</sub> [(OH) <sub>6</sub> ](SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	M. arcilloso
8,0	0,5	10,0	15,0	12,9	1,0	1,0	10,1	7,0	12,9	2,0	27,8
<p>Ópalo + P. Opalizado = 18,0 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento. 20,2 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por Cuarzo, Tridimita y Cristobalita. El Porcentaje de Alúmina es alto y puede generar un efecto Negativo por ser aportado por material Arcilloso.</p>											

**Tabla 21. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1639.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 12,9 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cristobalita, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 67,01 de Sílice, la similitud en dichos resultados es mínima. El Porcentaje de Alúmina es de 21,05 puede presentar una muestra de Calidad Media, ya que este es aportado por material Arcilloso.

**MUESTRA 1640**

CODIGO CEMENTERA:1640								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
44,19	11,87	8,56	0,09	0,11	10,01	5,78	0,07	
Opalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Calcedonia SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Epidota (Ca <sub>2</sub> (Fe <sub>3+</sub> ,Al)Al <sub>2</sub> [O/OH/SiO <sub>4</sub> /SiO <sub>7</sub> ])	Limonitas FeO(OH)•nH <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)
34,0	0,6	11,0	7,8	0,1	23,4	19,0	4,1	
<p>Ópalo + P. Opalizado = 45,0 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento. 31,9 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por Cuarzo, Cristobalita, Calcedonia y Tridimita. El Porcentaje de Alúmina es alto y puede generar un efecto Negativo pero no es identificado en la mineralogía.</p>								

**Tabla 22. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1640.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 76,9 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cristobalita, Calcedonia, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 44,19 de Sílice, la similitud en dichos resultados es mínima. El Porcentaje de Alúmina es de 11,87 puede presentar una muestra de Calidad Media, se evidencia que este porcentaje es aportado por la Epidota.



**MUESTRA 1641**

CODIGO CEMENTERA:1641								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en
90,35	0,99	0,20	0,30	0,09	0,25	0,31	0,09	Porcentaje (%)
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2</sub> +, Sn)	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Concentraciones expresadas en		
70,5	1,4	15,6	9,0	3,0	0,5	Porcentaje (%)		
Ópalo + P. Opalizado = 86,1 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento. 10,4 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por Cuarzo, Tridimita.								

**Tabla 23. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1641.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 96,5 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 90,35 de Sílice, se genera similitud en dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, ya que este no es aportado por material Arcilloso, presentando una muestra de Muy Buena Calidad.

**MUESTRA 1642**

CODIGO CEMENTERA:1642								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en
93,75	0,84	0,10	0,06	0,08	0,02	0,19	0,07	Porcentaje (%)
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2</sub> +, Sn)	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Concentraciones expresadas en	
31,2	6,0	42,0	6,0	3,8	8,0	3,0	Porcentaje (%)	
<p>Ópalo + P. Opalizado = 73,2 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.                      15,0 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por Cuarzo, Tridimita.El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo por no ser aportado por material Arcilloso.</p>								

**Tabla 24. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1642.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 88,2 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cuarzo y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 93,75 de Sílice, se genera similitud en dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo en la muestra, ya que este no es aportado por material Arcilloso, sino por Clorita.

**MUESTRA 1643**

CODIGO CEMENTERA:1643										
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en		
52,27	16,15	0,19	0,14	0,13	9,10	5,43	0,10	Porcentaje (%)		
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Epidota (Ca <sub>2</sub> (Fe <sup>3+</sup> ,Al) <sub>2</sub> [O/OH/SiO <sub>4</sub> /SiO <sub>7</sub> ])	sanidina K [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	Clorita Mg, Fe <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Plagioclasas (Na,Ca)(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2</sub> ,Sn)	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]
35,2	1,7	30,0	21,7	2,0	1,1	4,5	0,5	2,0	0,5	0,8
<p>Ópalo + P. Opalizado = 65.2 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento.            25,4 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por Cuarzo, Cristobalita y Tridimita.            El Porcentaje de Alúmina es mínimo y no genera un efecto Negativo por no ser aportado por material Arcilloso.</p>										

**Tabla 25. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1643.**

En la tabla anterior se puede resaltar, los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 90,6 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cuarzo, Cristobalita y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 52,27 de Sílice, evidenciamos poca correlación dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina es de 16,5 este resultado podría tener un efecto Negativo en la muestra, sin embargo este porcentaje es aportado por Epidota, Plagioclasas Sanidina y por Clorita.

**MUESTRA 1644**

CODIGO CEMENTERA:1644										
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Concentraciones expresadas en Porcentaje (%)		
55,89	22,30	1,32	0,10	0,20	3,45	3,45	0,10			
Ópalo SiO <sub>2</sub>	Cuarzo SiO <sub>2</sub>	P. Opalizado SiO <sub>2</sub>	Cristobalita SiO <sub>2</sub>	Tridimita SiO <sub>2</sub>	Clorita Mg, Fe) (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> *(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	Circón Zr [SiO <sub>4</sub> ]	Caolinita Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	Limonitas FeO(OH)•nH <sub>2</sub> O	Rutilo TiO <sub>2</sub> (Fe <sub>2</sub> +, Sn)	M. arcilloso
21,6	1,0	10,0	9,0	16,5	0,8	2,0	4,4	0,7	2,0	32,5
<p>Ópalo + P. Opalizado = 31,6 % Fase Amorfa reactiva y favorable en la calidad del cemento. 26,5 % de Sílice Cristalina No Reactiva Aportada por Cuarzo, Tridimita, Cristobalita.</p>										

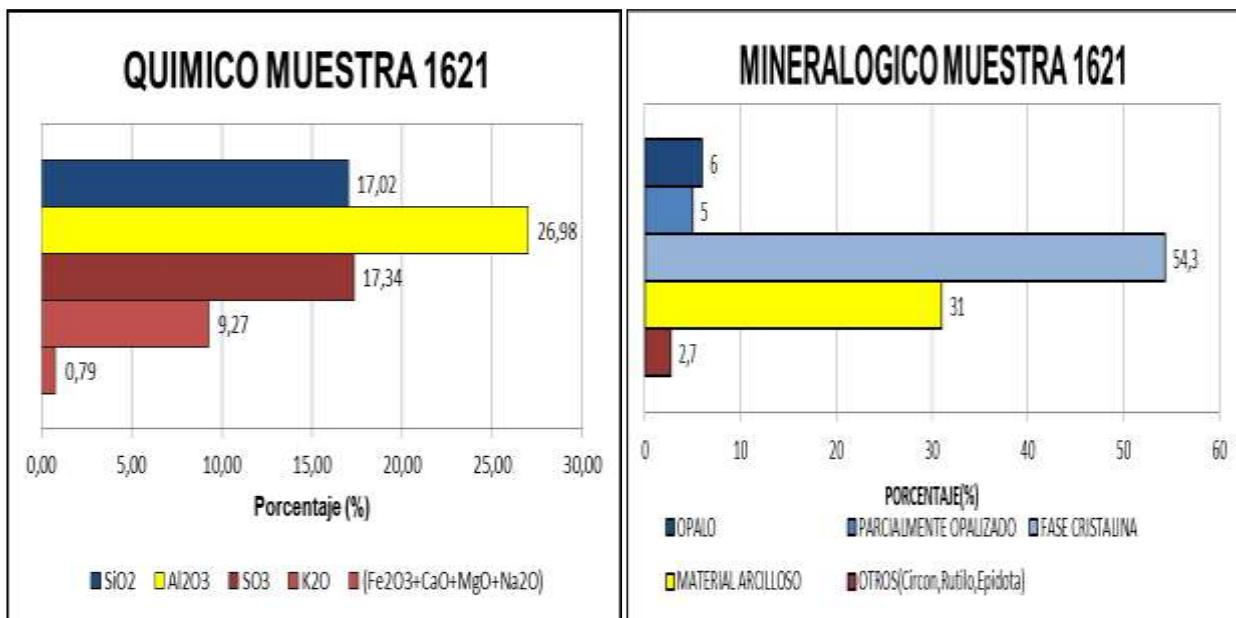
**Tabla 26. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1644.**

En la tabla anterior se puede resaltar, la correlación que hay de los minerales aportantes al Sílice marcados con color azul, en el conteo de puntos nos arroja un porcentaje de 58,1 aportado por Ópalo, Parcialmente Opalizado, Cuarzo, Cristobalita y Tridimita, en el resultado Químico nos arroja un porcentaje de 55,89 de Sílice, se genera similitud en dichos resultados. El Porcentaje de Alúmina es de 22,30 este resultado podría tener un efecto Negativo en la muestra, ya que este porcentaje es aportado por Material arcilloso el cual arrojo un porcentaje alto.

## 6.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CONCENTRACIONES QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS.

Como se comentó anteriormente se en este capítulo se elaboró una gráfica en donde se muestra por cada muestra sus resultados químicos y mineralógicos, de tal manera que en estos se puedan evidenciar la correlación. Para analizar cada muestra se tuvo en cuenta los minerales que aportaban positiva y negativamente, según los porcentajes encontrados, hay muestras en las cuales no se evidencio dicha correlación, ya que contenían una pasta muy alterada y no fue posible identificar minerales.

### MUESTRA 1621



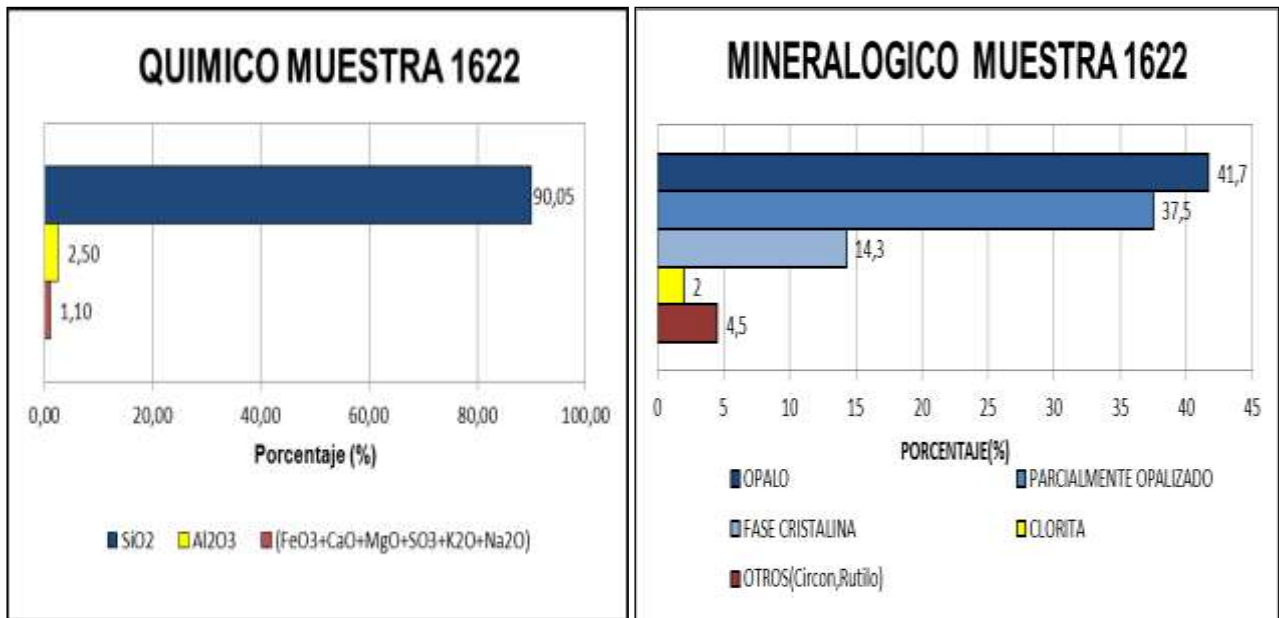
**Grafica1. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1621.**

Analizando las gráficas de la muestra 1621, es más clara la relación de los minerales aportantes a la alúmina. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, sin embargo podemos notar que el porcentaje de material arcilloso no es nada despreciable, lo que nos lleva a determinar que es una muestra de puzolana de baja calidad para la cementera.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO:  $\text{SiO}_2$   
 PARCIALMENTE OPALIZADO:  $\text{SiO}_2$   
 FASE CRISTALINA:  $\text{SiO}_2$   
 RUTILO:  $\text{TiO}_2$  (Con  $\text{Fe}^{2+}$ , Sn)  
 CIRCON: Zr  $[\text{SiO}_4]$   
 EPIDOTA:  $[\text{Ca}_2 (\text{Fe}^{3+}, \text{Al}) \text{Al}_2 [\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4/\text{SiO}_7]$

### MUESTRA 1622



**Grafica 2. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1622.**

Analizando las gráficas de la muestra 1622, es más clara la relación de los minerales aportantes a sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 93,5 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Muy Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es despreciable.

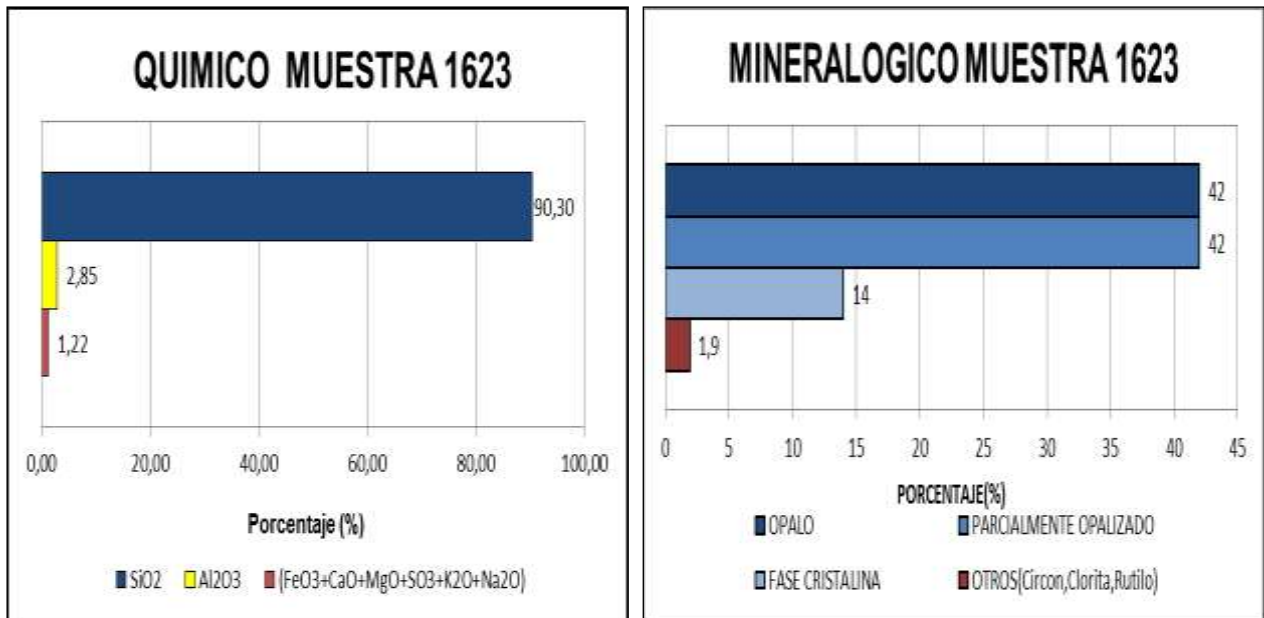
Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO:  $\text{SiO}_2$   
 PARCIALMENTE OPALIZADO:  $\text{SiO}_2$   
 FASE CRISTALINA:  $\text{SiO}_2$



RUTILO:  $\text{TiO}_2$  (Con  $\text{Fe}^{2+}$ , Sn)  
CIRCON: Zr  $[\text{SiO}_4]$   
CLORITA:  $(\text{Mg}, \text{Fe})_3 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2^* (\text{Mg}, \text{Fe})_3 (\text{OH})_6$

### MUESTRA 1623



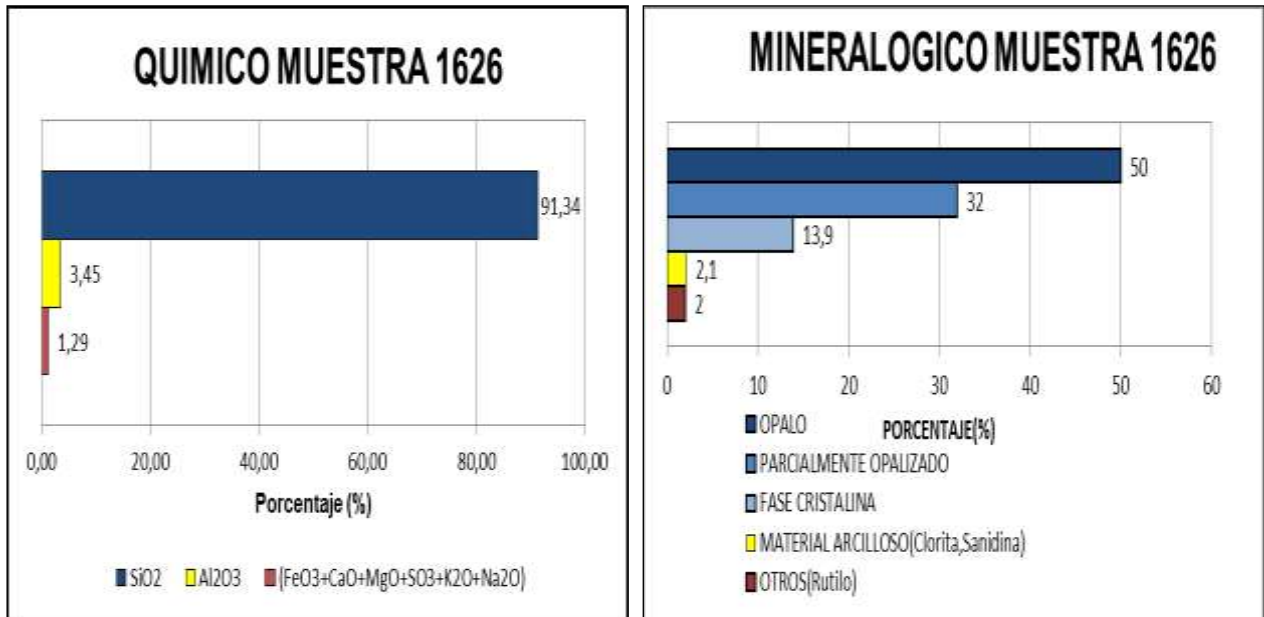
**Grafica 3. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1623.**

Analizando las gráficas de la muestra 1623, es más clara la relación de los minerales aportantes a sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 96,0 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Muy Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es nulo.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice y Otros.

OPALO:  $\text{SiO}_2$   
PARCIALMENTE OPALIZADO:  $\text{SiO}_2$   
FASE CRISTALINA:  $\text{SiO}_2$   
RUTILO:  $\text{TiO}_2$  (Con  $\text{Fe}^{2+}$ , Sn)  
CIRCON: Zr  $[\text{SiO}_4]$

**MUESTRA 1626**



**Grafica 4. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1626.**

Analizando las gráficas de la muestra 1626, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 95,9 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Muy Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es despreciable.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

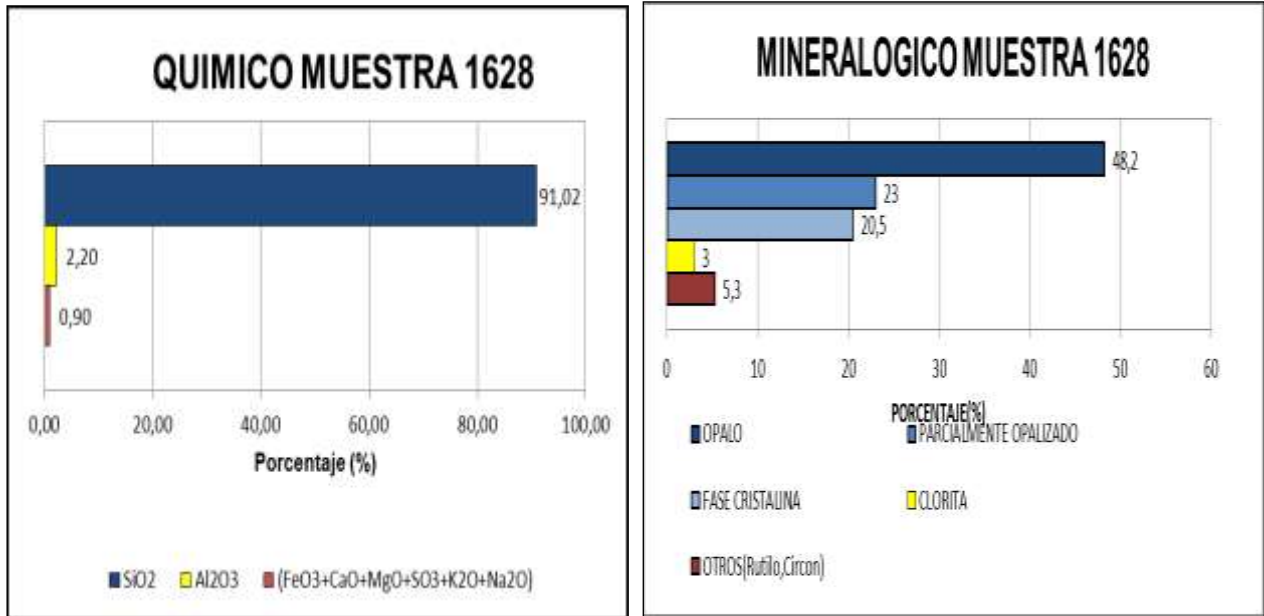
FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub> (Si, Al)<sub>4</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub> \* (Mg, Fe)<sub>3</sub> (OH)<sub>6</sub>

SANIDINA: K [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]

**MUESTRA 1628**



**Grafica 5. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1628.**

Analizando las gráficas de la muestra 1628, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 91,7 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Muy Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es despreciable.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

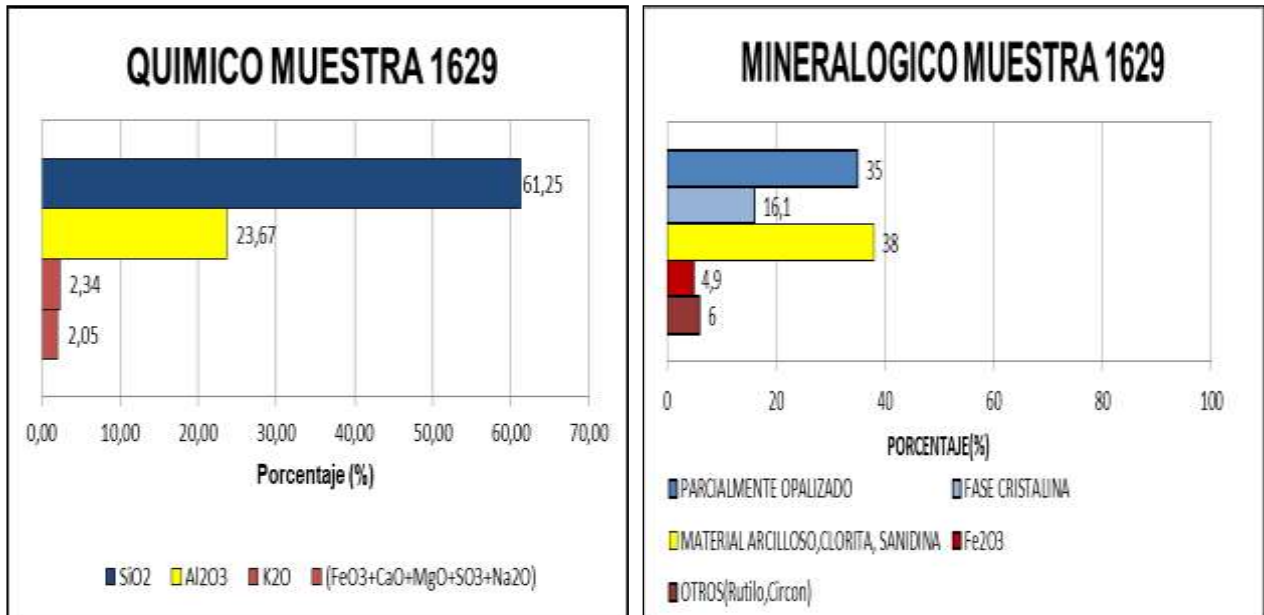
FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

RUTILLO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub>(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>\*(Mg, Fe)<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

**MUESTRA 1629**



**Grafica 6. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1629.**

Analizando las gráficas de la muestra 1629, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 51,1 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de calidad Media, este resultado se reafirma analizando el porcentaje de Material Arcillo que es equivalente a un 38,0 Por ciento.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Hierro, Alúmina y Otros.

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub> (Si, Al)<sub>4</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub> \* (Mg, Fe)<sub>3</sub> (OH)<sub>6</sub>

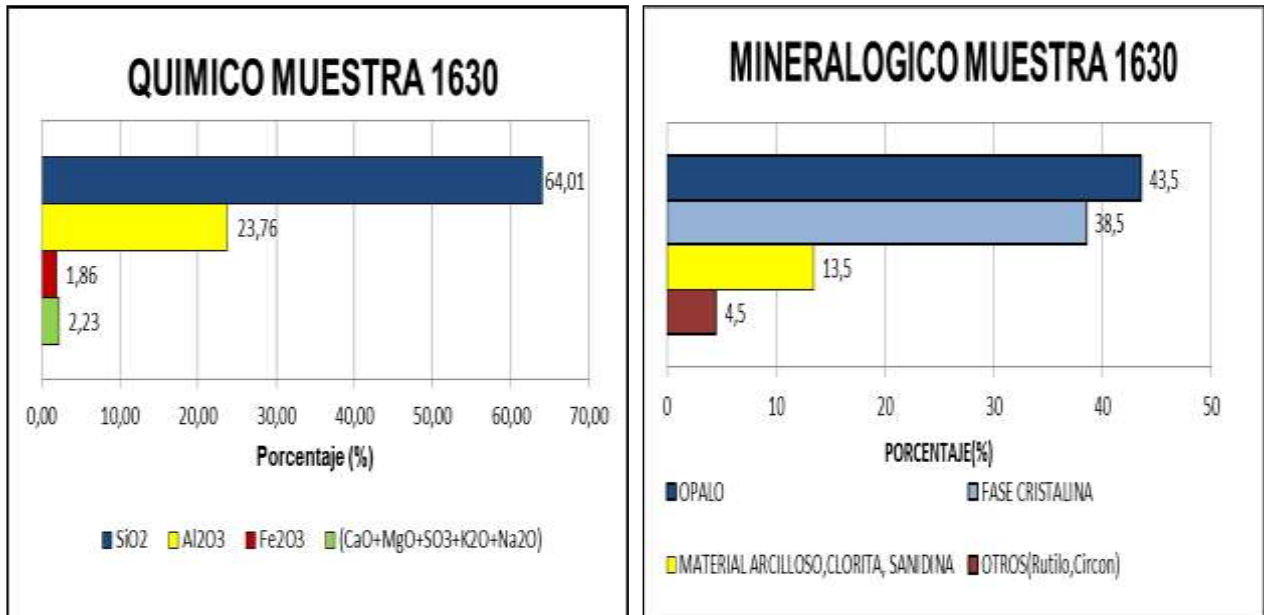
SANIDINA: K [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]

LIMONITA: FeO(OH)•nH<sub>2</sub>O

GOETHITA: FeO(OH)

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

**MUESTRA 1630**



**Grafica 7. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1630.**

Analizando las gráficas de la muestra 1630, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 82,0 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Buena Calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es 13,5 el cual no es despreciable.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

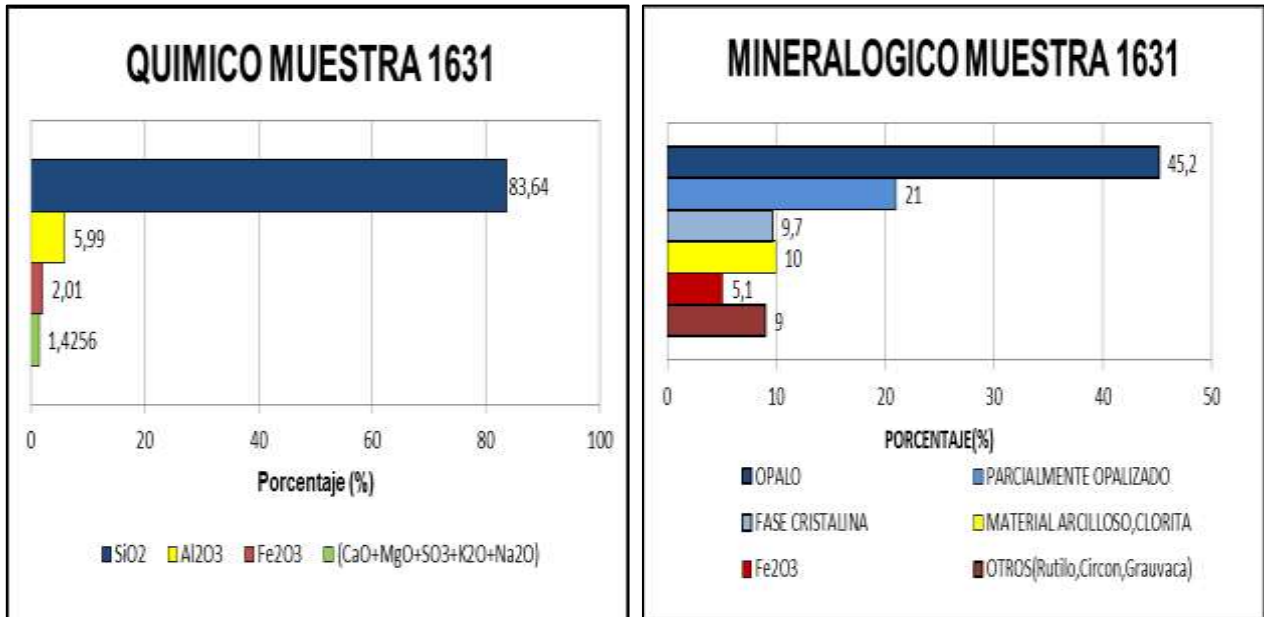
CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub> (Si, Al)<sub>4</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub> \* (Mg, Fe)<sub>3</sub> (OH)<sub>6</sub>

SANIDINA: K [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

**MUESTRA 1631**



**Grafica 8. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1631.**

Analizando las gráficas de la muestra 1631, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 75,9 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es 10,0 el cual no es despreciable.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Hierro, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub>(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>\*(Mg, Fe)<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>

SANIDINA: K [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

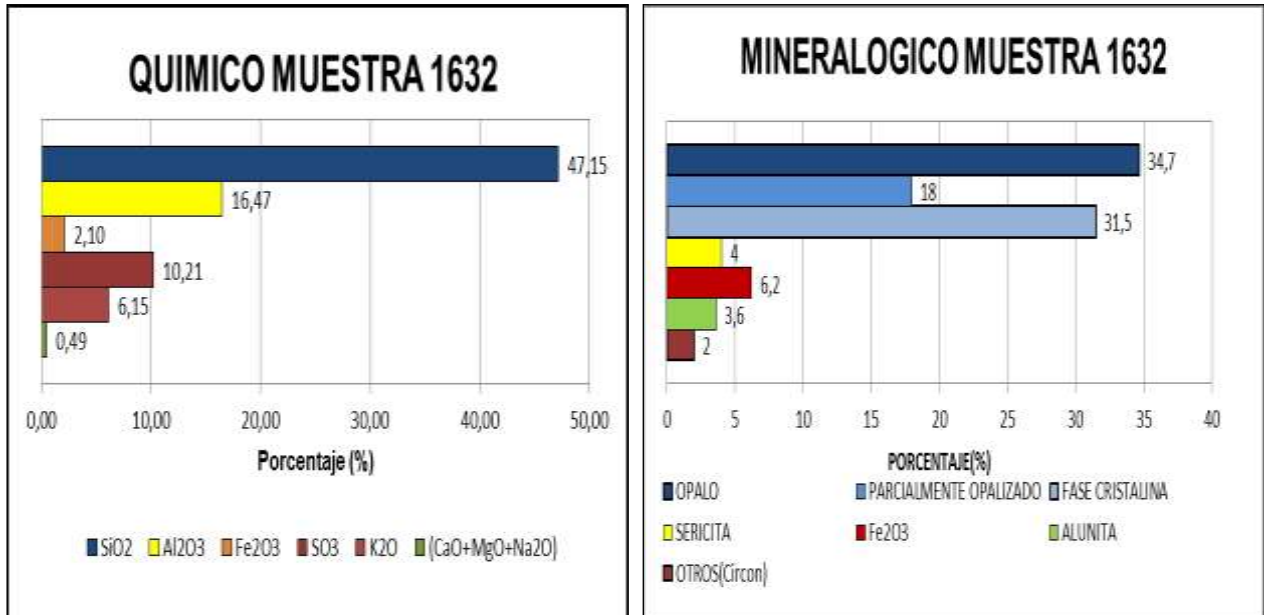
RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

LIMONITA: FeO(OH)•nH<sub>2</sub>O

GOETHITA: FeO(OH)



**MUESTRA 1632**



**Grafica 9. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1632.**

Analizando las gráficas de la muestra 1632, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 84,2 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo no se evidencia en el estudio petrográfico.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Hierro, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

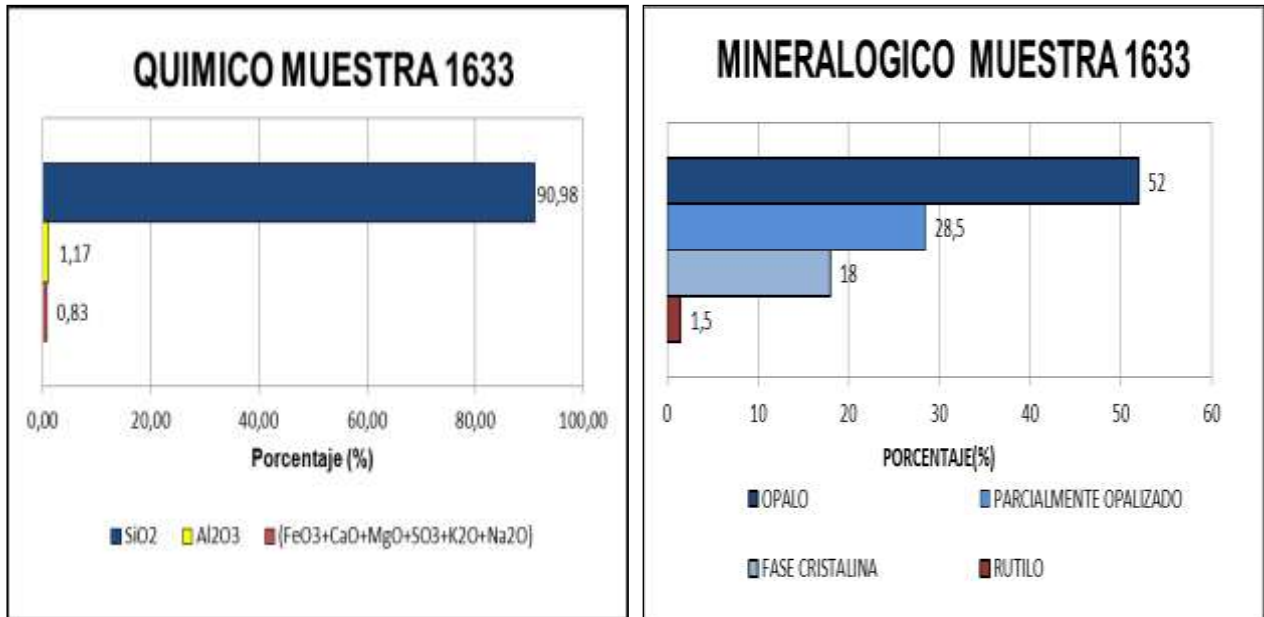
LIMONITA: FeO(OH)•nH<sub>2</sub>O

GOETHITA: FeO(OH)

ALUNITA: KAl<sub>3</sub>[(OH)<sub>6</sub>]/(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>

La SERICITA no es propiamente un mineral, sino un término que hace referencia a un agregado de grano fino de micas blancas del tipo moscovita u otros minerales con una estructura similar a estos, como son los del grupo de la illita (minerales del grupo de la arcilla).

**MUESTRA 1633**



**Grafica 10. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1633.**

Analizando las gráficas de la muestra 1633, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 98,5 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Muy Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es nulo.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice y Otros.

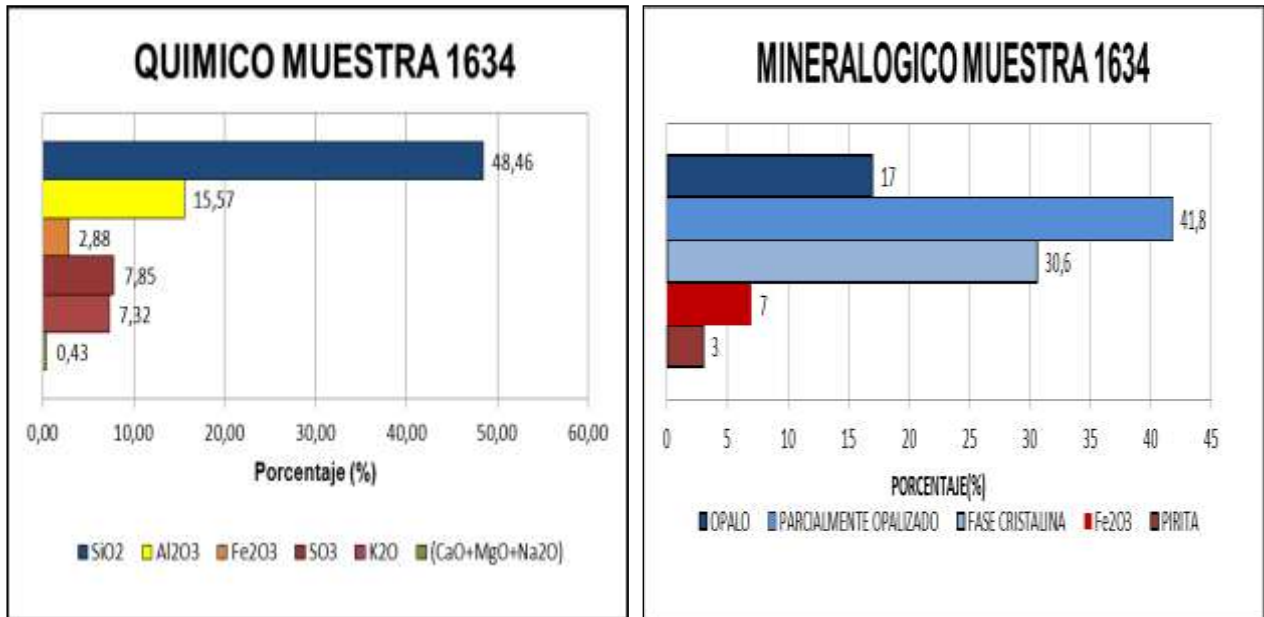
OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

RUTILLO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>,Sn)

**MUESTRA 1634**



**Grafica 11. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1634.**

Analizando las gráficas de la muestra 1634, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 89,4 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Muy Buena calidad, este resultado se genera teniendo en cuenta que en el estudio mineralógico no se evidencio ningún minera aportante a Material Arcilloso.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Hierro y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

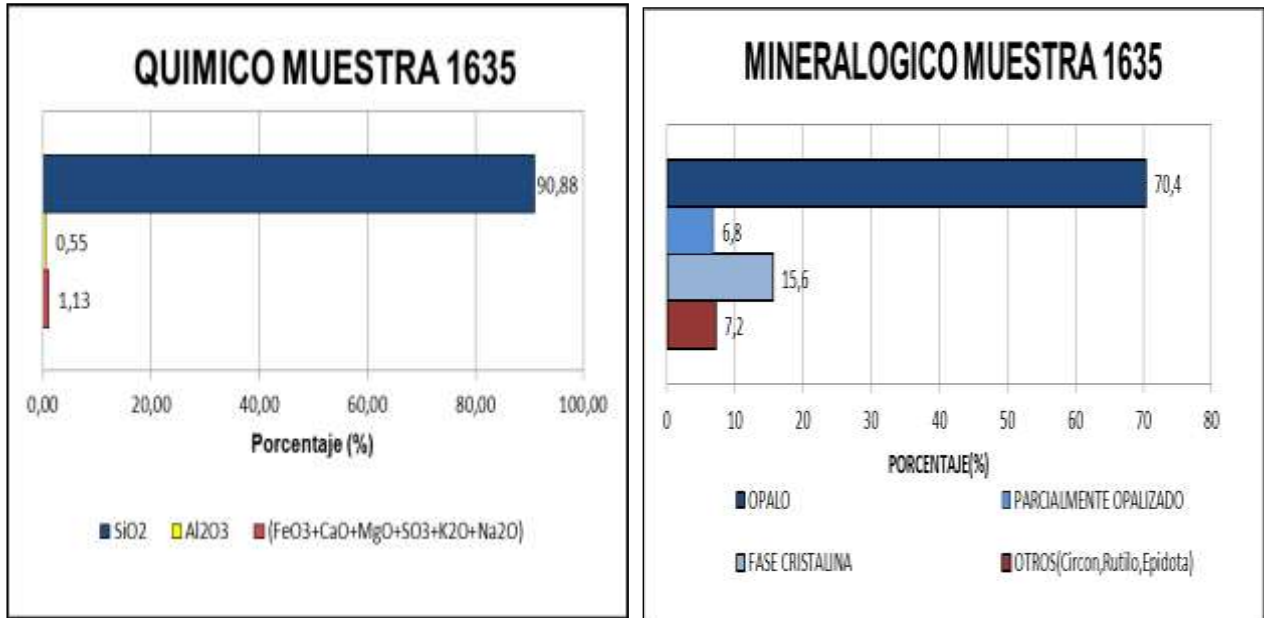
PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

PIRITA: (FeS<sub>2</sub>)

GOETHITA: FeO(OH)

**MUESTRA 1635**



**Grafica 12. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1635.**

Analizando las gráficas de la muestra 1635, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 92,8 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Muy Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es nulo.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

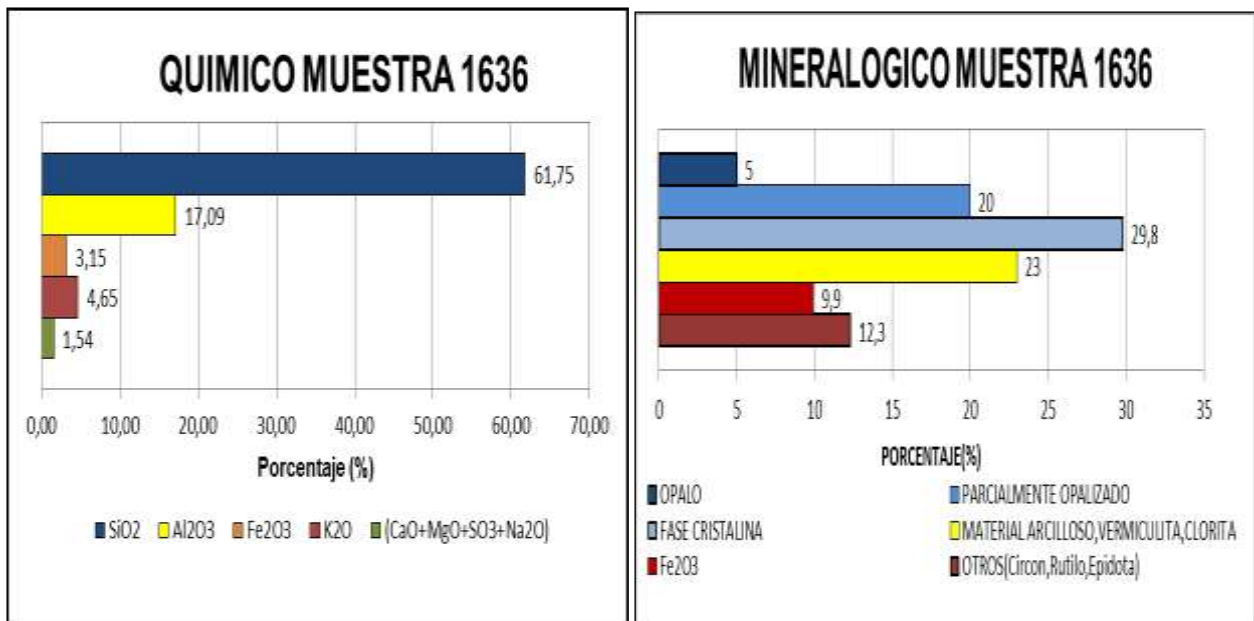
FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

EPIDOTA: [Ca<sub>2</sub> (Fe<sup>3+</sup>, Al) Al<sub>2</sub> [O/OH/SiO<sub>4</sub>/SiO<sub>7</sub>]

**MUESTRA 1636**



**Grafica 13. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1636.**

Analizando las gráficas de la muestra 1636, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 54,8 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de calidad Media este resultado se reafirma analizando el porcentaje de Material Arcillo el cual corresponde a un 23,0 por ciento.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Hierro, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

EPIDOTA: [Ca<sub>2</sub> (Fe<sup>3+</sup>, Al) Al<sub>2</sub> [O/OH/SiO<sub>4</sub>/SiO<sub>7</sub>]

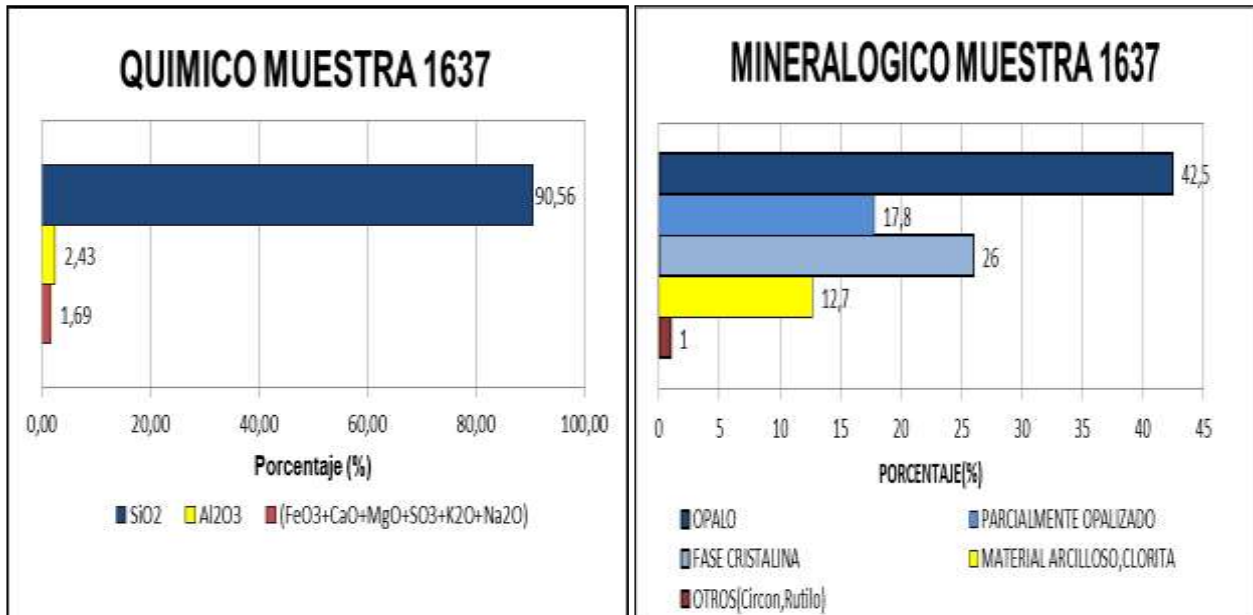
CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub> (Si, Al)<sub>4</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub> \* (Mg, Fe)<sub>3</sub> (OH)<sub>6</sub>

VERMICULITA. Mg<sub>0,7</sub> (Mg, Fe, Al)<sub>6</sub> (Si, Al)<sub>8</sub> O<sub>20</sub> (OH)<sub>4</sub> · 8H<sub>2</sub>O

LIMONITA: FeO(OH)·nH<sub>2</sub>O

GOETHITA: FeO(OH)

**MUESTRA 1637**



**Grafica 14. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1637.**

Analizando las gráficas de la muestra 1637, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 86,3 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es significativo.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

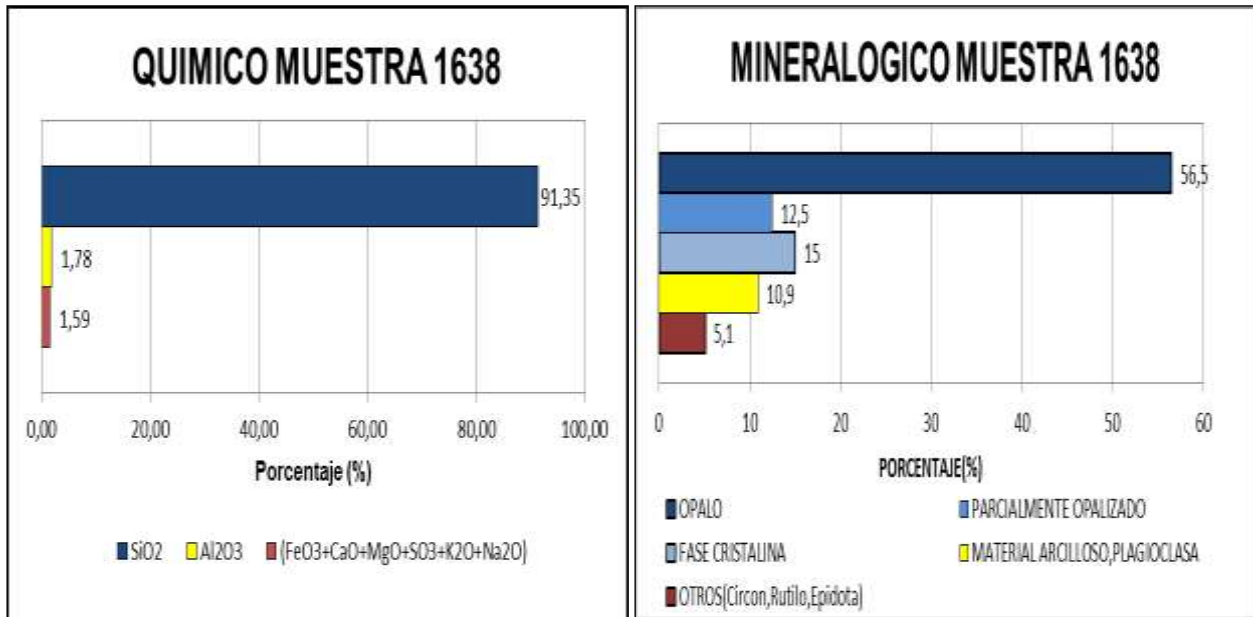
CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>\*(Mg,Fe)<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]



**MUESTRA 1638**



**Grafica 15. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1638.**

Analizando las gráficas de la muestra 1638, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 83,7 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es significativo.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

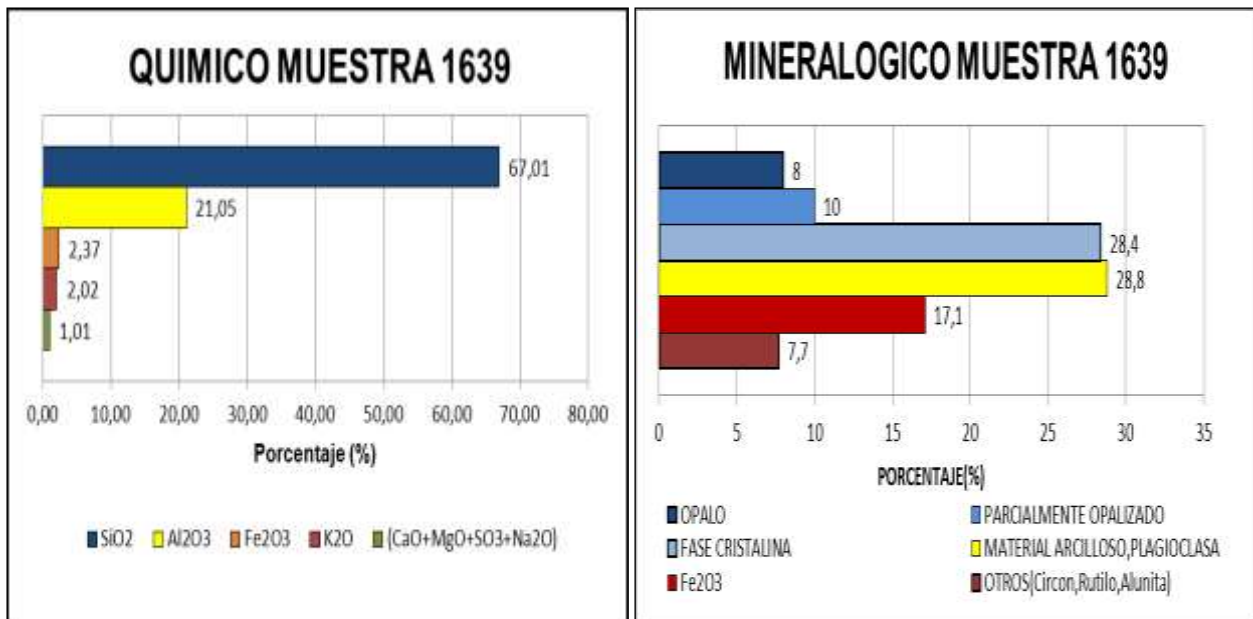
RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

EPIDOTA: [Ca<sub>2</sub> (Fe<sup>3+</sup>, Al) Al<sub>2</sub> [O/OH/SiO<sub>4</sub>/SiO<sub>7</sub>]

PLAGIOCLASA: (Na,Ca)(Si,Al)<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

**MUESTRA 1639**



**Grafica 16. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1639.**

Analizando las gráficas de la muestra 1639, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 46,4 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de calidad Media, este resultado se reafirma analizando el porcentaje de Alúmina y Material Arcillo los cuales evidencian similitud con porcentajes considerables.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Hierro, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

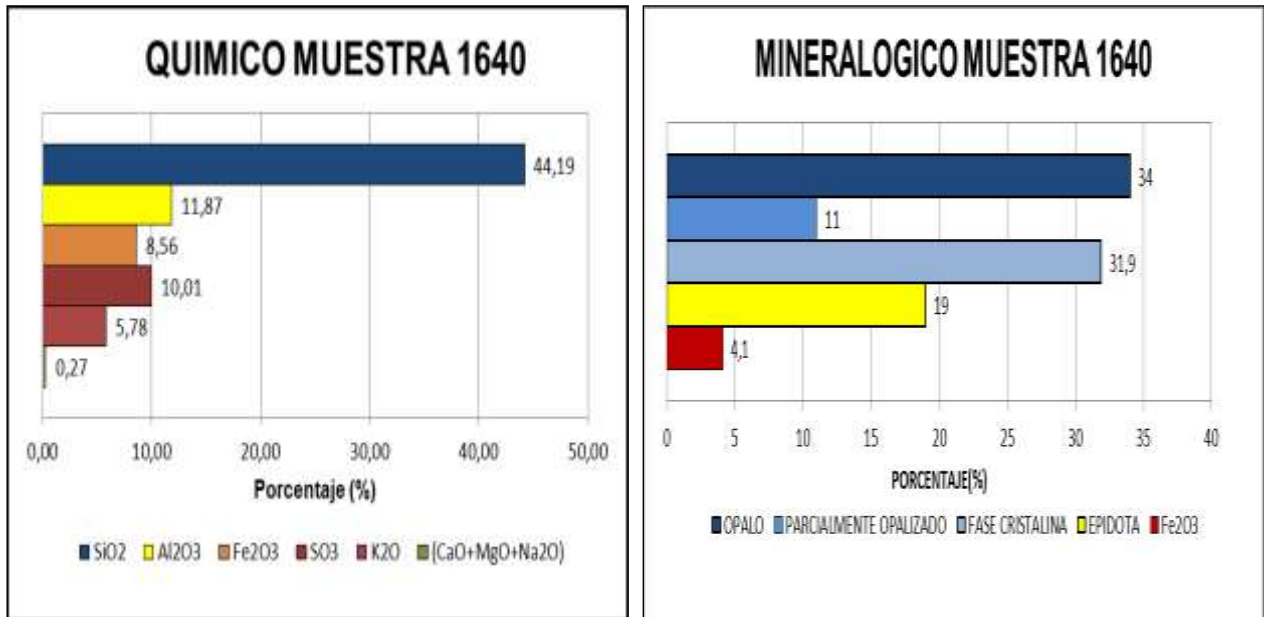
ALUNITA: KAl<sub>3</sub>[(OH)<sub>6</sub>](SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>

PLAGIOCLASA: (Na,Ca)(Si,Al)<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

LIMONITA: FeO(OH)•nH<sub>2</sub>O

GOETHITA: FeO(OH)

**MUESTRA 1640**



**Grafica 17. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1640.**

Analizando las gráficas de la muestra 1640, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 76,9 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de calidad Media, este resultado se reafirma analizando el porcentaje de Alúmina el cual es aportado por el alto porcentaje de Epidota.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Hierro, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

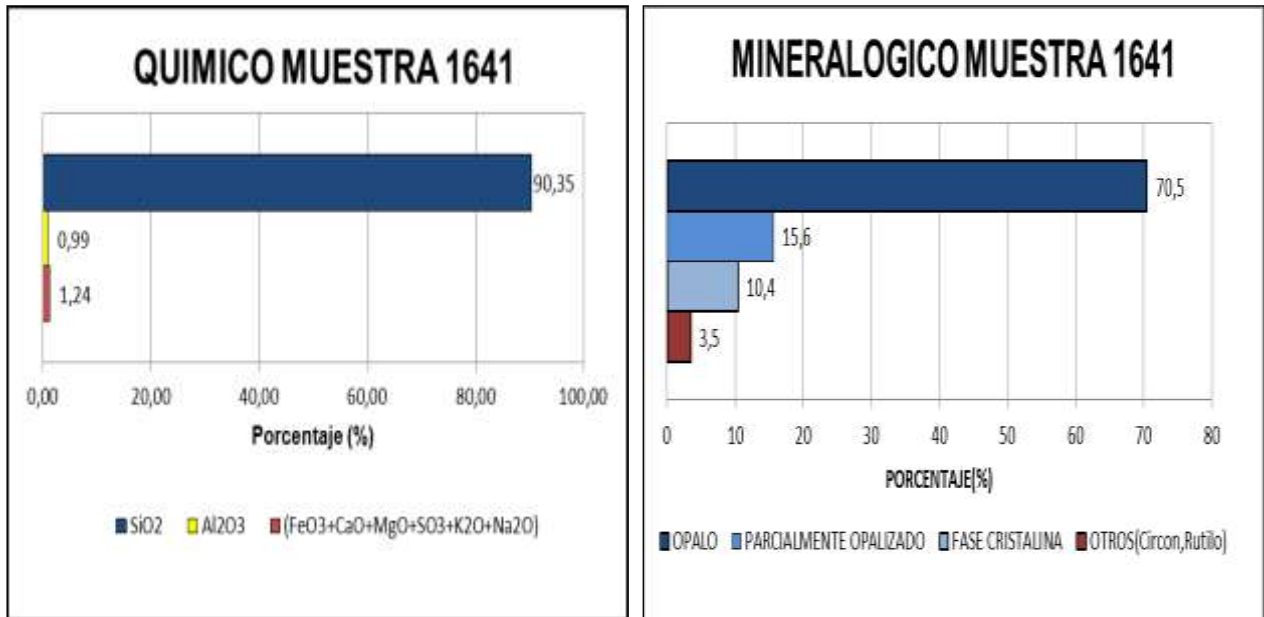
PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

EPIDOTA: [Ca<sub>2</sub> (Fe<sup>3+</sup>, Al) Al<sub>2</sub> [O/OH/SiO<sub>4</sub>/SiO<sub>7</sub>]

LIMONITA: FeO(OH)•nH<sub>2</sub>O

**MUESTRA 1641**



**Grafica 18. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1641.**

Analizando las gráficas de la muestra 1641, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 96,5 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Muy Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es nulo.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

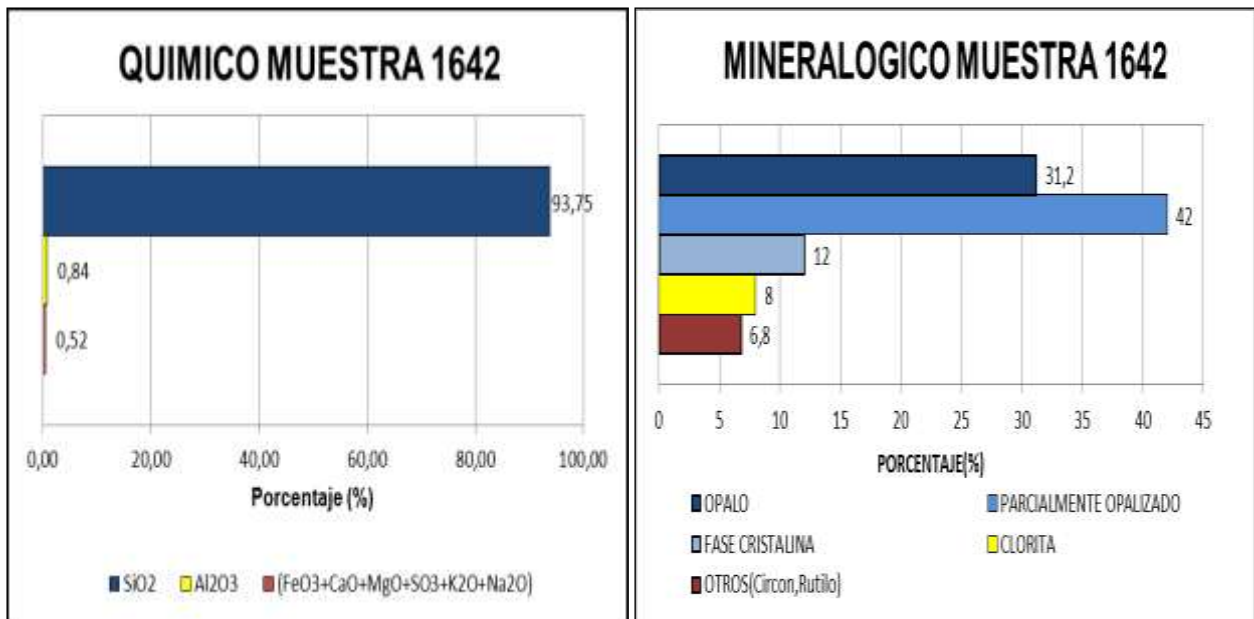
PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

**MUESTRA 1642**



**Grafica 19. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1642.**

Analizando las gráficas de la muestra 1642, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 85,2 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Muy Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es nulo.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

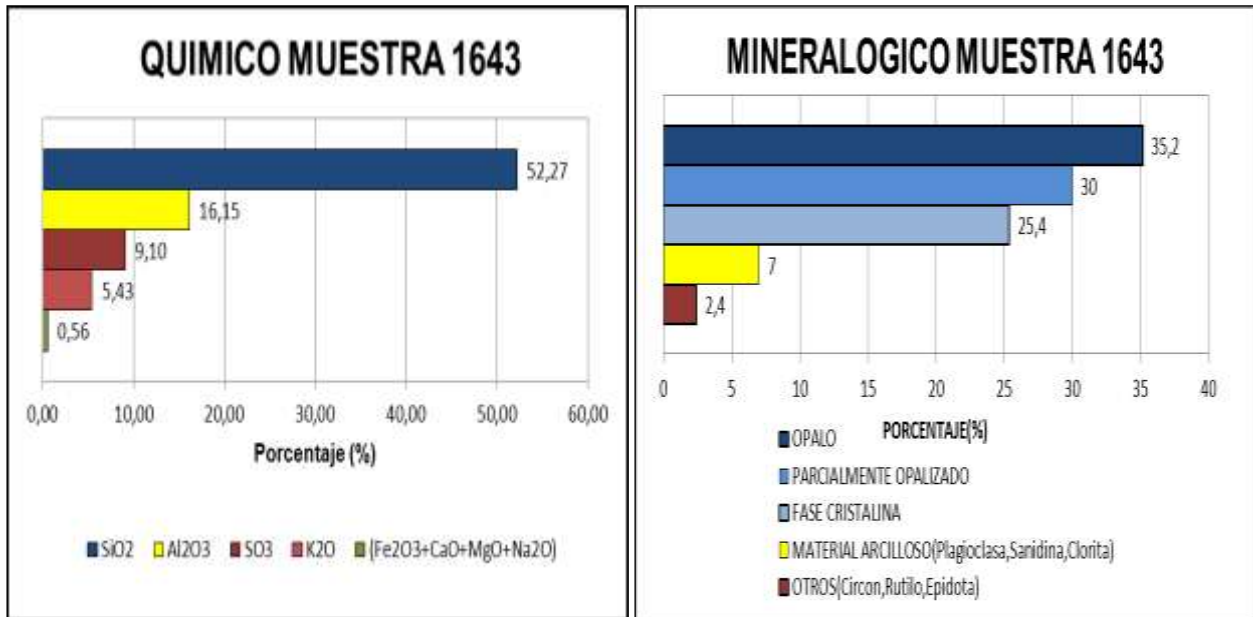
FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub> (Si, Al)<sub>4</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub> \* (Mg, Fe)<sub>3</sub> (OH)<sub>6</sub>

**MUESTRA 1643**



**Grafica 20. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1643.**

Analizando las gráficas de la muestra 1643. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 90,6 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Buena calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo que es considerable.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

PLAGIOCLASA: (Na,Ca)(Si,Al)<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>\*(Mg,Fe)<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>

SANIDINA: K [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]

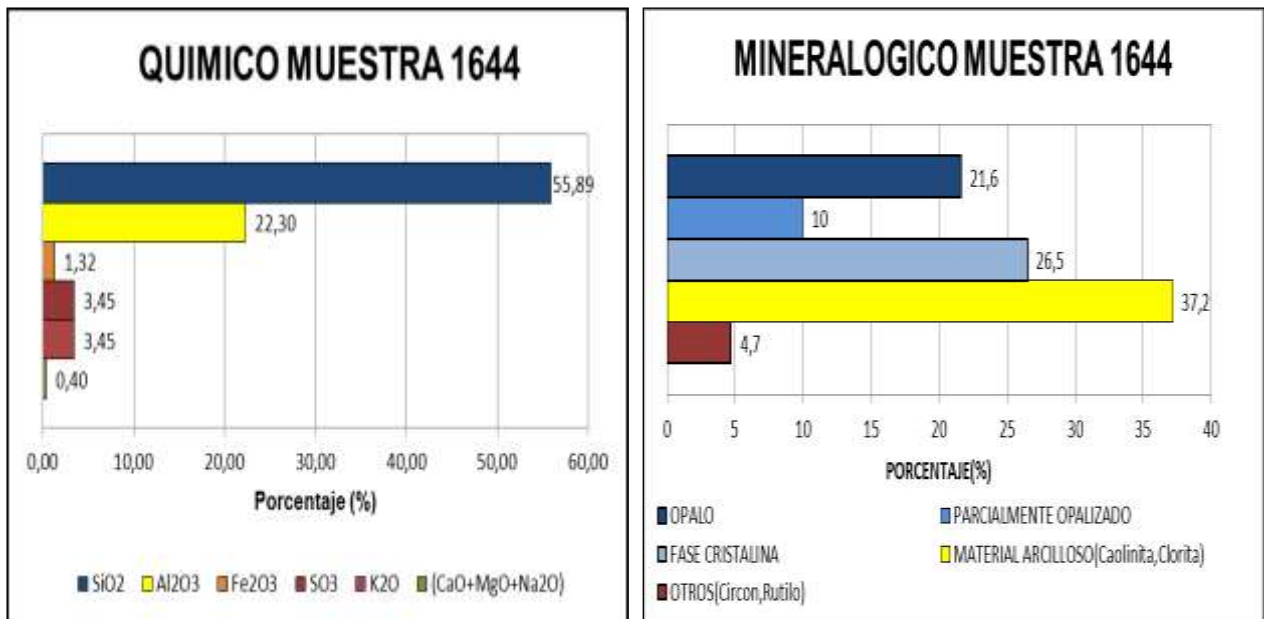
CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

EPIDOTA: [Ca<sub>2</sub>(Fe<sup>3+</sup>, Al) Al<sub>2</sub>[O/OH/SiO<sub>4</sub>/SiO<sub>7</sub>]



**MUESTRA 1644**



**Grafica 21. Correlación química y mineralógica de la muestra con código 1644.**

Analizando las gráficas de la muestra 1644, se evidencia la relación de los minerales aportantes a la sílice. A nivel petrográfico se hizo una separación del aporte del Sílice, es decir el Ópalo es el mineral que aporta mejor calidad a la muestra, esto no quiere decir que el porcentaje de parcialmente opalizado y de la fase cristalina no aporte positivamente, solo que en el proceso de fabricación del cemento lo hace un poco más complejo ya que la parte cristalina por su estructura no reacciona de la misma manera con presencia de agua y cal, este porcentaje es de 58,1 lo que nos conlleva a decir que esta es una muestra de puzolana de Media calidad, este resultado se reafirma analizando el aporte de Material Arcillo este alto y genera un efecto Negativo a la muestra.

Formulas químicas asociadas a los minerales que aportan a las concentraciones de Sílice, Alúmina y Otros.

OPALO: SiO<sub>2</sub>

PARCIALMENTE OPALIZADO: SiO<sub>2</sub>

FASE CRISTALINA: SiO<sub>2</sub>

CLORITA: (Mg, Fe)<sub>3</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>\*(Mg,Fe)<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>

CAOLINITA: Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>

CIRCON: Zr [SiO<sub>4</sub>]

RUTILO: TiO<sub>2</sub> (Con Fe<sup>2+</sup>, Sn)

### 6.3 ZONIFICACIÓN DE CONCENTRACIONES MINERALÓGICAS FAVORABLES Y NO FAVORABLES EN LA ZONA DE ESTUDIO.

Teniendo en cuenta que la zona de estudio presenta variabilidad en su composición, es necesario identificar dichas concentraciones de tal manera que a nivel visual podamos identificar en que sitios están las más altas concentraciones tanto de material favorable como de material no favorable, debido a lo anterior este capítulo se basara en mostrar estas figuras , esto se hará teniendo en cuenta los materiales más relevantes para la Cementera, en el caso de los estudios químicos lo más importante es analizar los resultados de porcentaje obtenidos para el contenido de Alúmina, Sílice y Hierro para cada muestra, se tendrá también presente los resultados obtenidos en estudios mineralógicos de cada una de las muestras, los minerales aportantes a cada componente químico son: para la Alúmina encontramos Clorita, Sericita, Material Arcilloso, Epidota Plagioclasas, Sanidina; para Sílice encontramos los siguientes minerales que aportan: Parcialmente Opalizado, ópalo, Cuarzo, Cristobalita, Tridimita; para el Hierro encontramos los siguientes minerales que aportan: Limonitas, Goethita todo esto con el fin de analizar las correlaciones entre cada uno de los componentes y así identificar las muestras que son y no son favorables para el proceso de elaboración del cemento.

#### 6.3.1 CORRELACIÓN RESULTADOS QUIMICOS DE ALÚMINA Y RESULTADOS MINERALOGICOS DE MINERALES APORTANTES A $Al_2O_3$ .

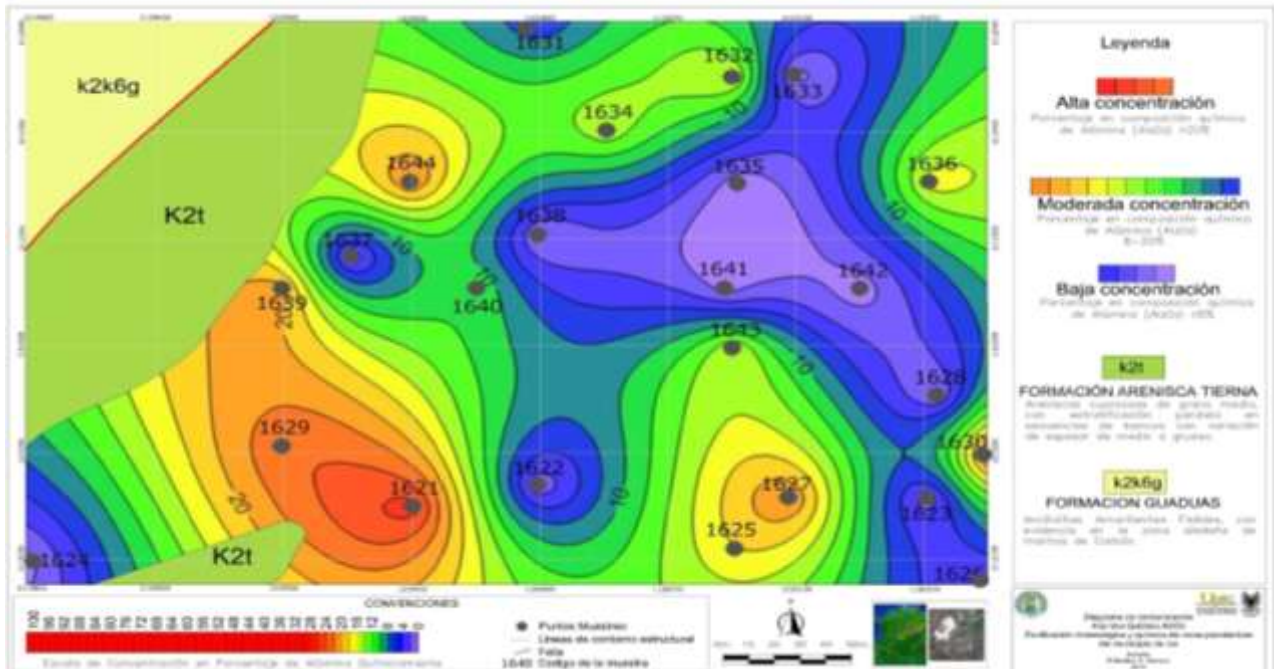
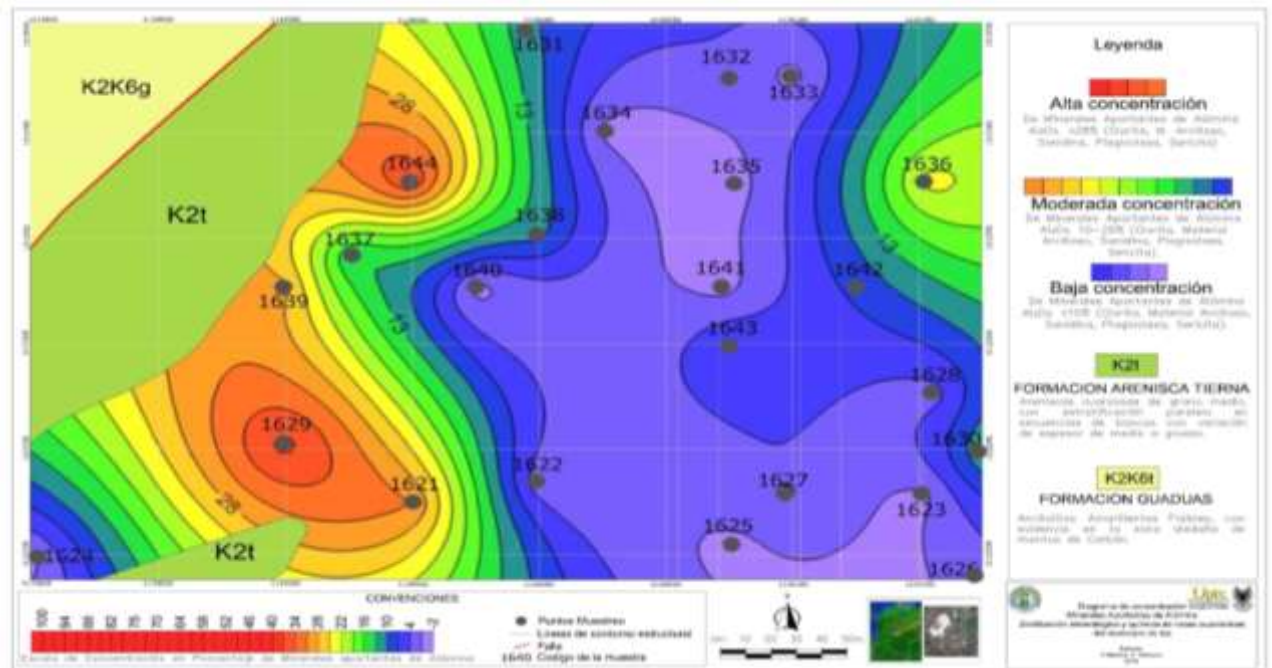


Figura 24. Zonificación por concentraciones de Alúmina  $Al_2O_3$ .



**Figura 25. Zonificación por concentraciones de minerales aportantes a Alúmina  $Al_2O_3$ .**

La Figura 24 y la Figura 25 nos muestran las concentraciones de Alúmina y de los minerales aportantes a este componente químico respectivamente. Estas concentraciones son clasificadas en alta concentración identificadas con color rojo y naranja, moderada concentración identificadas con color amarillo y tonos verdes; y con baja concentración identificada con colores azules a morado claro. Con respecto a la concentración de Alúmina, notamos que hay una alta concentración en la parte Sur-Oeste de la zona de estudio, logramos identificar que las muestras presentadas con código 1621 y 1629 presentan alta concentración de Alúmina, podemos evidenciar que en la Figura 25 la cual muestra la Concentración de minerales aportantes a la Alúmina, se genera similitud en dichos resultados, ya que las muestras presentadas con código 1621, 1629 también reflejan una alta concentración, a estas se le suma la muestra presentada con código 1644, también se puede identificar que en la Figura 24 las muestras presentadas con código 1627, 1630, 1639, 1644, 1625 y 1636 presentan una moderada concentración de Alúmina, existe correlación con los resultados mineralógicos, ya que las muestras presentadas con código 1639, 1636, y 1630 de la figura 25 también presentan concentración moderada de minerales aportantes a la Alúmina; al analizar las bajas concentraciones se refleja una similitud en el centro de la zona como lo es en las muestras presentadas con código 1641, 1635 y 1622 mostrando la correlación existente.

Se puede concluir que en el Norte-Oeste y Sur-Oeste de la zona de estudio genera resultados desfavorables para la cementera, presentando altos contenidos de Alúmina y altos contenidos de minerales aportantes a la Alúmina, los cuales traen un efecto negativo en la reactividad de las puzolanas y disminución de propiedades de resistencia y durabilidad en el producto cementero,

por tal motivo no es recomendable extraer material de dicha zona, si va a hacer así la mejor alternativa es buscar la manera de mezclar el material de tal forma que no se altere el proceso de elaboración del cemento.

### 6.3.2 CORRELACIÓN RESULTADOS QUIMICOS DE SILICE Y RESULTADOS MINERALOGICOS DE MINERALES APORTANTES A $\text{SiO}_2$ .

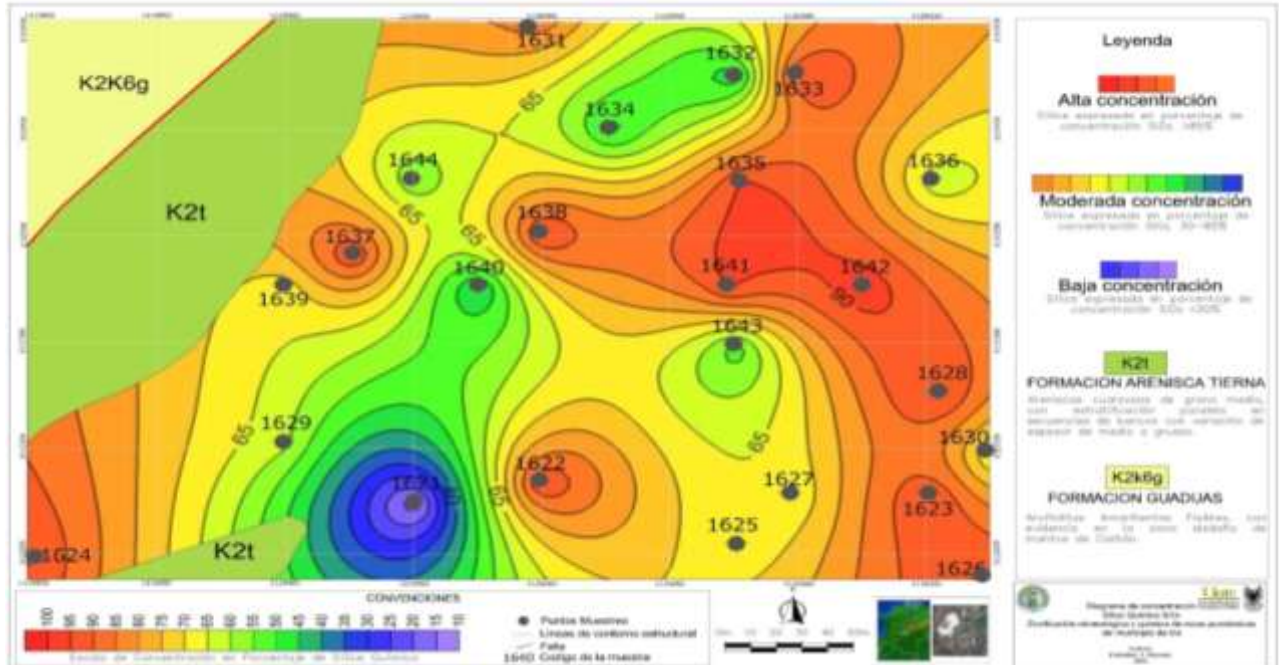
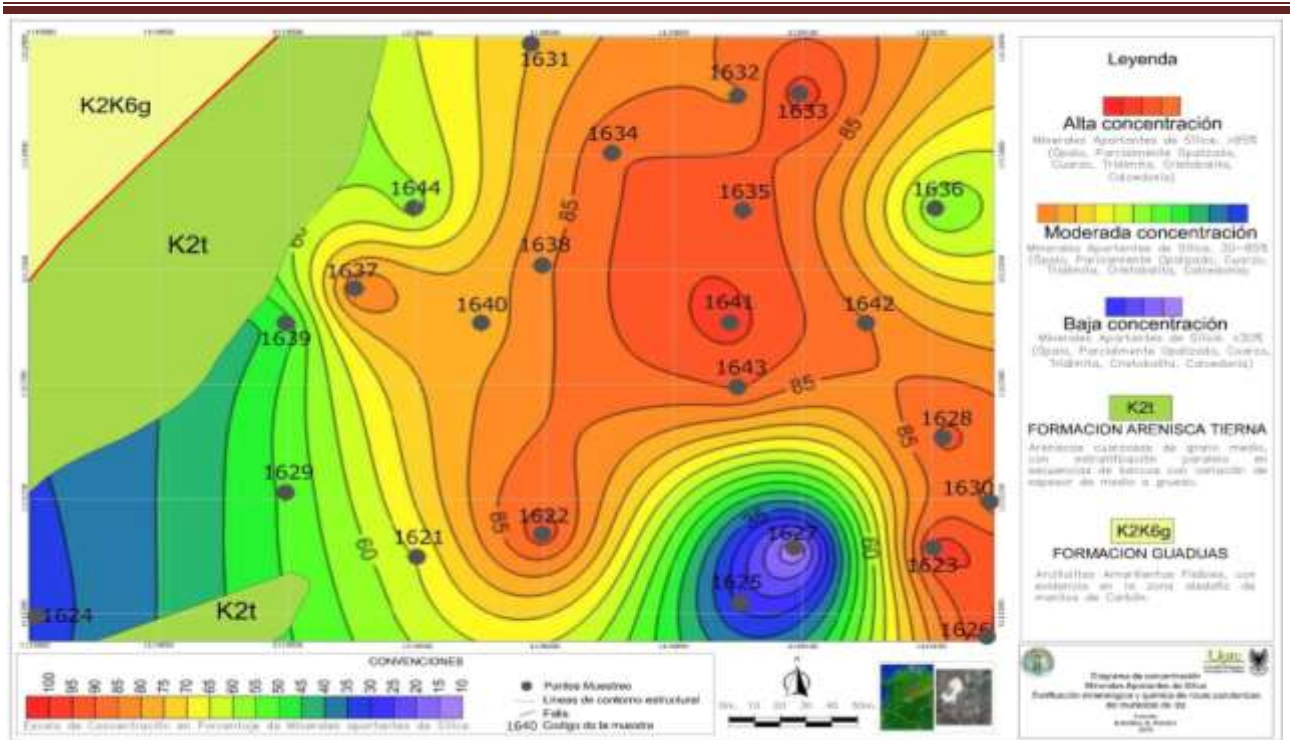


Figura 26. Zonificación por concentraciones de Sílice  $\text{SiO}_2$ .





**Figura 27. Zonificación por concentraciones de minerales aportantes a Sílice SiO<sub>2</sub>.**

La Figura 26 nos muestra las concentraciones de Sílice las cuales son clasificadas en alta concentración identificadas con color rojo y naranja los cuales son porcentajes mayores a 85, moderada concentración identificada con color amarillo y tonos verdes, éstos son porcentajes entre 30 y 85; y con baja concentración identificada con colores azules a morado claro los cuales son porcentajes menores a 30. En esta figura se identifica la alta concentración que se encuentra en la parte Norte-Este de la zona de estudio, estos resultados generados por los estudios químicos son reflejados en las muestras presentadas con código 1641, 1642, 1635, 1638 y 1633, estas muestras sobresalen por su alto contenido de Sílice, en la parte Sur-Este también se identifican altas concentraciones en las muestras presentadas con código 1623, 1626 y 1628, las muestras de moderada concentración se encuentran ubicadas alrededor de las muestras de alta concentración como lo son las presentadas con código 1643, 1640, 1636, 1634 y 1632, con esta información se puede observar el núcleo de nuestra zona de estudio. La figura 27 nos muestra las concentraciones de minerales aportantes al Sílice las cuales son clasificadas en alta concentración identificadas con color rojo y naranja los cuales son porcentajes mayores a 85, moderada concentración identificada con color amarillo y tonos verdes, éstos son porcentajes entre 30 y 85; y con baja concentración identificada con colores azules a morado claro los cuales son porcentajes menores a 30, en esta figura se puede identificar los resultados obtenidos mediante estudios petrográficos, analizando los resultados notamos la correlación que existe, ya que también se presenta una alta concentración de minerales aportantes al sílice en la parte Norte-Este de la zona de estudio, esto se puede ratificar viendo las muestras presentadas con código 1633, 1642, 1641, 1635, 1634 y 1643, en la parte Sur Este las muestras presentadas con

---

código 1623,1626 y 1628 también muestran alta concentración, estos porcentajes reflejan dicha similitud, al ver los resultados con moderada concentración se logra evidenciar que efectivamente estas muestras se encuentran alrededor de las de alta concentración, esta información se logra ratificar observando las muestras presentadas con código 1636,1640,1631 de la figura 27, con estos resultados tanto químicos como petrográficos se logra identificar el núcleo de nuestra zona de estudio el cual presenta unas excelentes propiedades de resistencia y dureza, las cuales aportan un efecto positivo para el proceso de elaboración del cemento.

Se puede concluir que en el Norte-Este, Sur-Este y Centro de la zona de estudio se observan resultados favorables, presentando altos contenidos de Sílice y altos contenidos de minerales aportantes a la Sílice, los cuales traen un efecto positivo en la reactividad de las puzolanas, por tal motivo es recomendable extraer material de dicha zona,

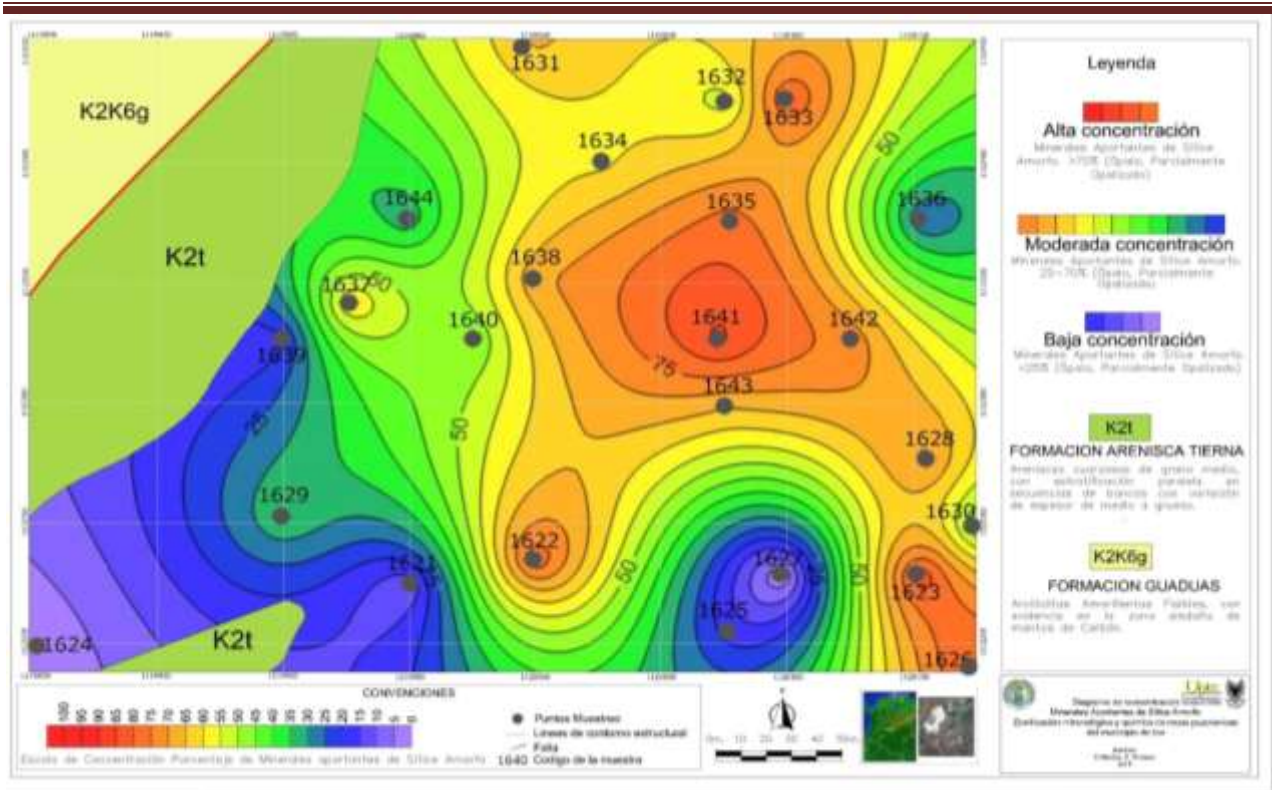
### **6.3.3 ZONIFICACIÓN POR LA CLASIFICACIÓN DE MINERALES QUE APORTAN AL SILICE.**

#### **FASE AMORFA**

Con el fin de clasificar el nivel de aporte a Sílice de cada muestra, la presente grafica representa la zonalidad generada por la suma de la fase mineralógica Ópalo y la Fase parcialmente opalizada, de este modo tendríamos la fase amorfa en su totalidad los cuales aportan mejor calidad al producto cementero, ya que al no tener ninguna estructura interna formada reacciona con cal en presencia de agua con mayor velocidad, a esta zonificación se le dio el nombre de Sílice Amorfo.

Esta fase se genera parcialmente ya que como sabemos se trata de una formación ígnea y el ascenso del magma él no se genera de forma homogénea, el emplazamiento del cuerpo volcánico se genera potencialmente en ciertas zonas y condiciones y en otras zonas se genera parcialmente como nos referimos en la presente gráfica, a continuación se presenta la figura con sus respectivas concentraciones.





**Figura 28. Zonificación por concentraciones de Mineral Amorfo.**

En la figura anterior se presentan las concentraciones que mayor aporte positivo generan a las muestras de puzolana y en este caso a la eficiencia del proceso de elaboración del cemento, estas muestras son las que presentan un alto grado de concentración mayor a 70 por ciento, se concentran en la parte Norte-Este, Sur-Este y Centro de la zona de estudio, dichas muestras son presentadas con código 1633, 1623, 1641, 1635 y 1626.

#### FASE AMORFA CRISTALINA

En los estudios petrográficos se logró identificar Tridimita, Cristobalita, Cuarzo y Calcedonia las sumatoria de esto porcentajes son los que aportan menor calidad al producto cementero, como hemos mencionado anteriormente no es que genere un efecto negativo, solo que estos minerales al tener estructura cristalina interna ya formada, no reacciona rápidamente con cal en presencia de agua y hace que el proceso de elaboración del producto sea más complejo y más lento, a esta zonificación se le dará el nombre de Sílice Cristalino.

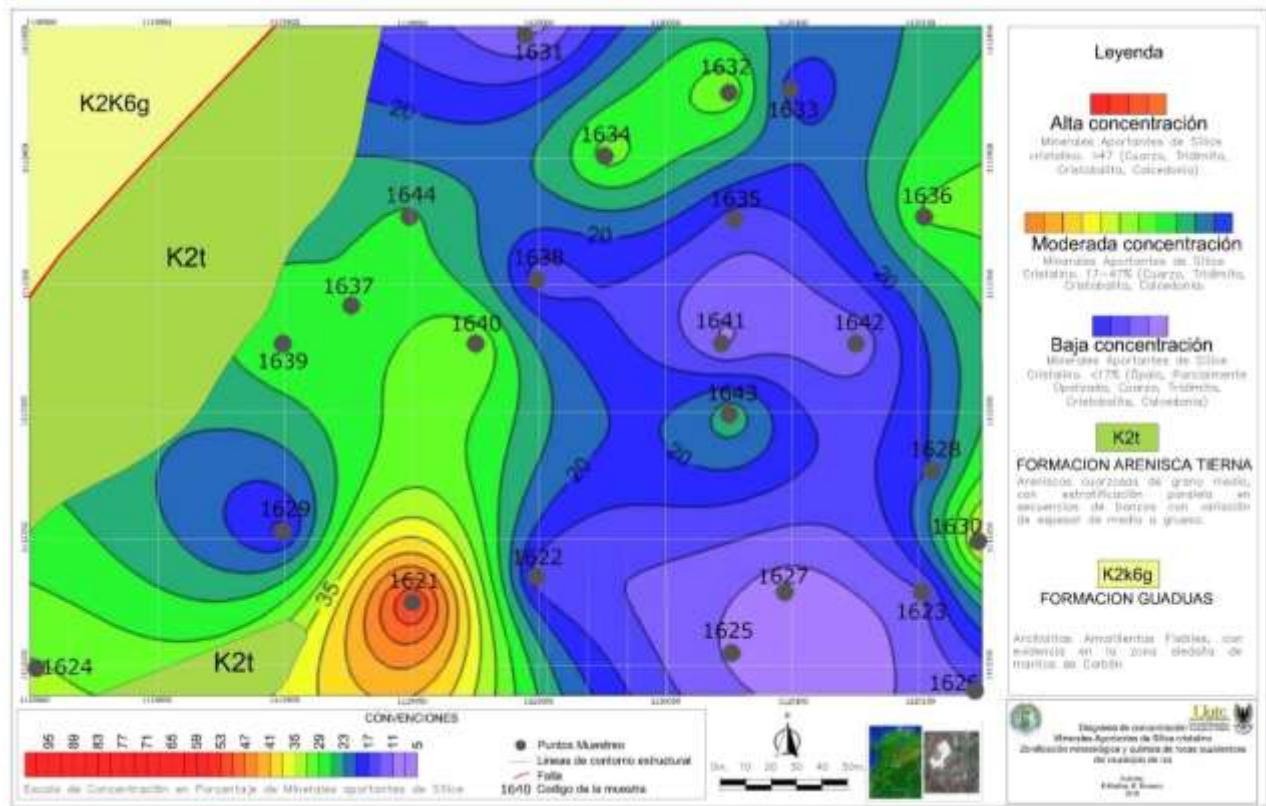


Figura 29. Zonificación por concentraciones de Mineral Cristalino.

En la figura anterior se presentan las concentraciones que menor aporte positivo generan a las muestras de puzolana, estas muestras son las que presentan un alto grado de concentración mayor a 47 por ciento, se concentran en la parte Sur-Oeste de la zona de estudio, dicha muestra es presentada con código 1621, las que presentan una moderada concentración entre el 17 y 47 por ciento son las muestras con códigos 1634, 1632, 1640, 1636, 1630 y 1624.

6.3.4 CORRELACIÓN RESULTADOS QUIMICOS DE HIERRO Y RESULTADOS MINERALOGICOS DE MINERALES APORTANTES A  $Fe_2O_3$ .

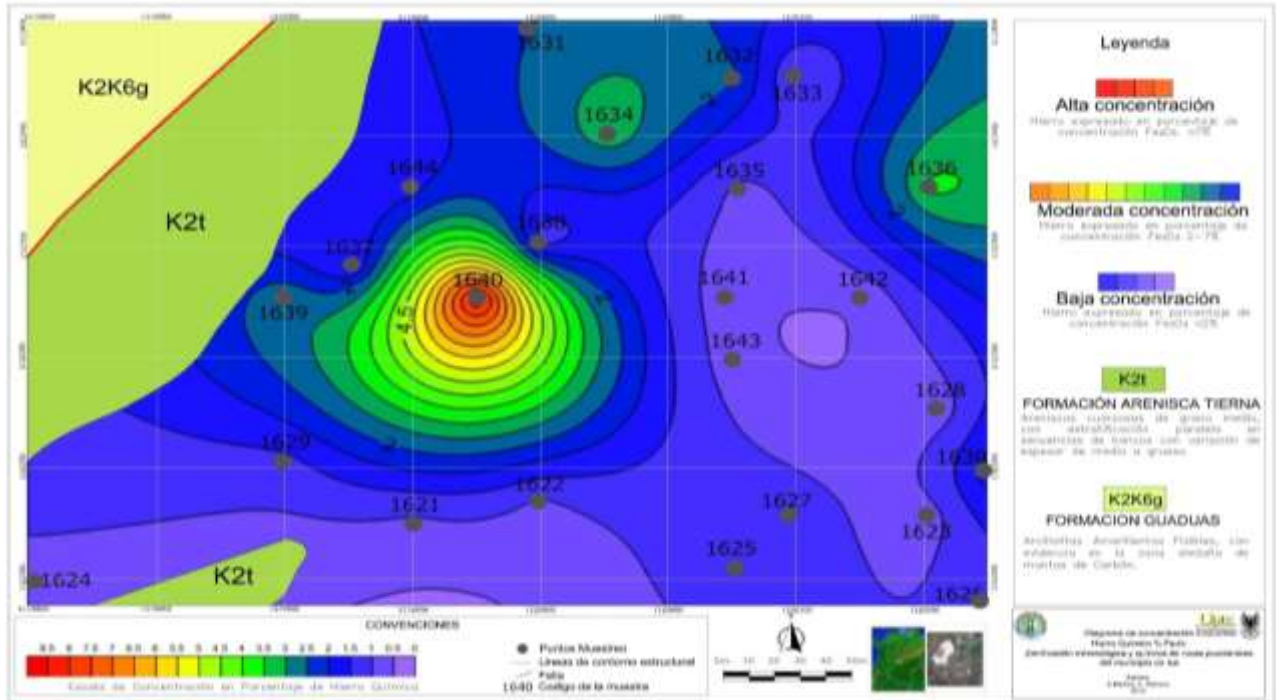
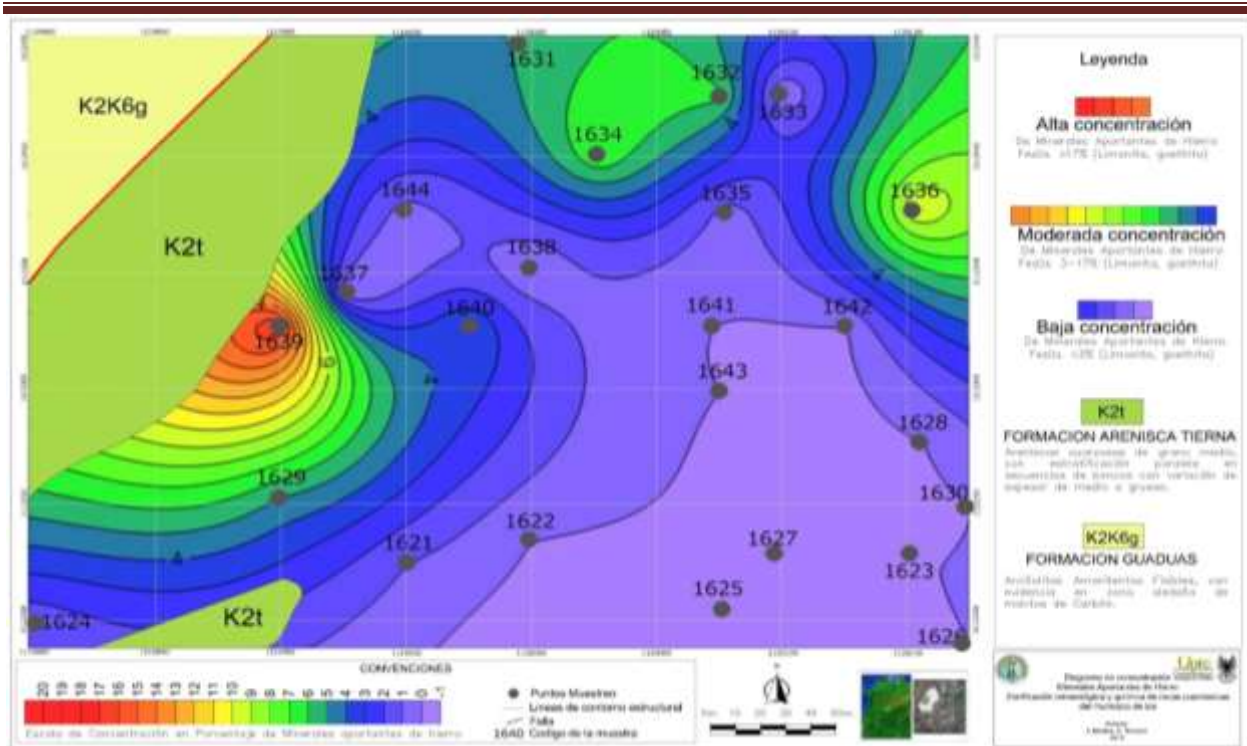


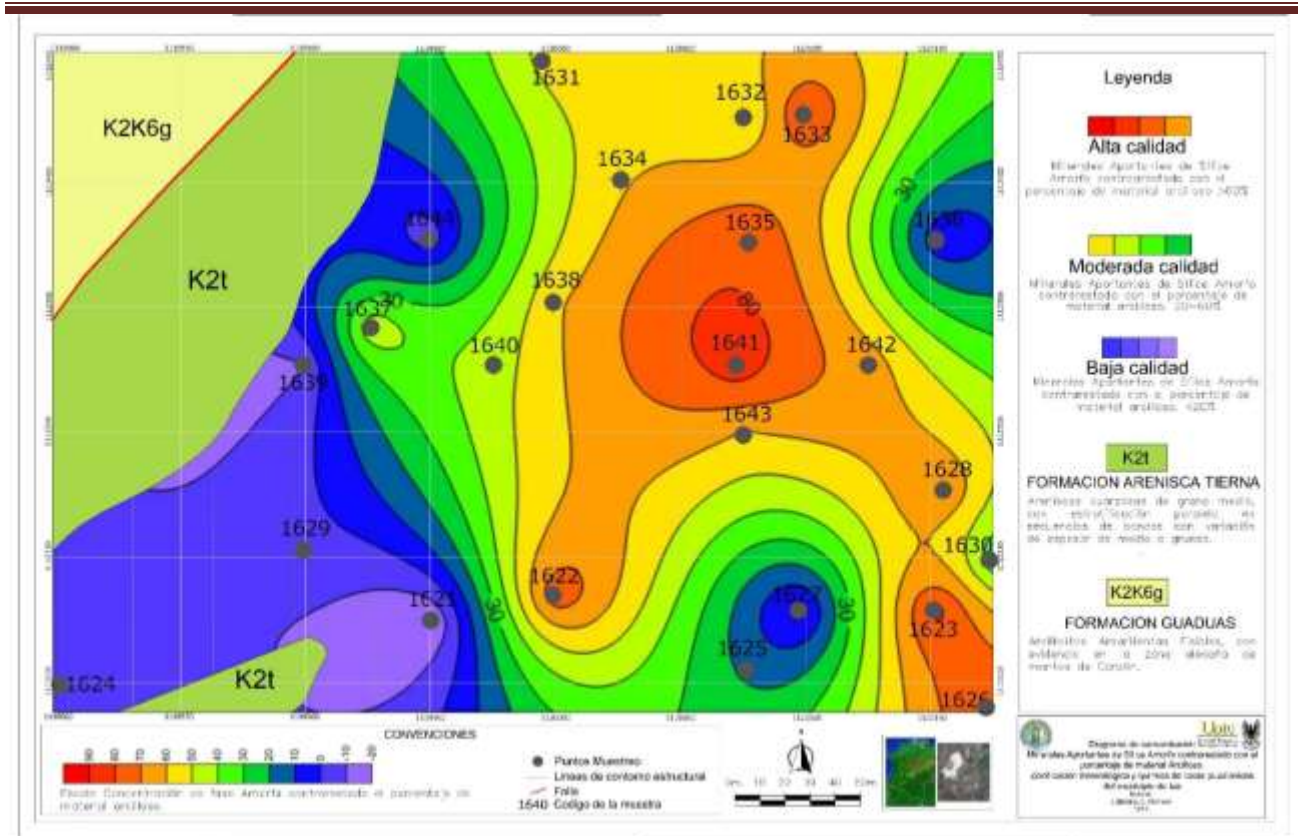
Figura 30. Zonificación por concentraciones de Hierro ( $Fe_2O_3$ ).





**Figura 31. Zonificación por concentraciones de Minerales aportantes a Hierro ( $Fe_2O_3$ ).**

La Figura 30 muestra las concentraciones de Hierro las cuales son clasificadas en alta concentración identificadas con color rojo y naranja los cuales son porcentajes mayores a 7, moderada concentración identificada con color amarillo y tonos verdes, éstos son porcentajes entre 2 y 7; y con baja concentración identificada con colores azules a morado claro los cuales son porcentajes menores a 2. En esta figura se identifica la alta concentración que se encuentra en la parte Central de la zona de estudio, estos resultados generados por los estudios químicos son reflejados en la muestra 1640, las muestras de moderada concentración se encuentran ubicadas al Norte-Este las muestras son las presentadas con código 1636 y 1634. La figura 31 muestra las concentraciones de minerales aportantes al Hierro las cuales son clasificadas en alta concentración identificadas con color rojo y naranja los cuales son porcentajes mayores a 17, moderada concentración identificada con color amarillo y tonos verdes, éstos son porcentajes entre 3 y 17; y con baja concentración identificada con colores azules a morado claro los cuales son porcentajes menores a 3, en esta figura se puede identificar los resultados obtenidos mediante estudios petrográficos, se presenta la muestra con código 1639 con una alta concentración de minerales aportantes al Hierro un poco más hacia el Norte-Este de la muestra con alta concentración evidenciada en los resultados químicos, lo que si nos refleja correlación son las muestras presentadas con códigos 1636 y 1634, ya que presentan moderada concentración.



**Figura 32. Zonificación por concentraciones de minerales en fase amorfa contrarrestado con el porcentaje de material arcilloso.**

La Figura 32 muestra las concentraciones de minerales en fase amorfa, favorables en el proceso de la fabricación del cemento contrarrestado con el porcentaje de material arcilloso que perjudica el proceso, por medio de esta zonificación podemos ver finalmente las zonas optimas y el porcentaje real con el que se puede contar como favorable y reactivo, para aumentar la calidad del cemento en cuanto a su resistencia y durabilidad.

---

## CONCLUSIONES

- La Geología de campo ha determinado que la Puzolana Optima en el proceso de fabricación del cemento corresponde a una riolita con bajo grado de alteración (N2n9rb), que siendo correlacionado con el diagrama de concentración de minerales aportantes de sílice Amorfo (Ópalo), coincide en la misma Zonality de mayor concentración (reactivas y favorables en la fabricación del cemento).
- La Calidad del cemento aumenta en cuanto a su resistencia y durabilidad conforme encontramos mayores concentraciones de Ópalo por tener una estructura interna amorfa y reactiva, conforme a lo anterior podemos concluir que la puzolana de mejor calidad se encuentra en la parte NorOriental y central de nuestra Zona de estudio.
- La Alúmina que ha sido aportada por material arcilloso genera un efecto negativo puesto que algunas arcillas pueden ser expansivas y absorber agua desequilibrando la reacción final en el fraguado del cemento. La concentración de este tipo de material se encuentra ubicado en la parte Suroccidental, para este caso se recomienda realizar un proceso previo de mezcla con Puzolana de Alta calidad.
- La concentración promedio de sílice evidenciado en el análisis químico es de 72,35%, correlacionando estos resultados con la suma de todas las fases mineralógicas aportantes de sílice como lo son Ópalo, Cuarzo, Tridimita, Cristobalita, su promedio de concentración en las 24 muestras analizadas es de 73,63 % . En conclusión vemos que estos valores son muy aproximados y se evidencia una correlación coherente.
- Del promedio de la concentración total de Sílice aportada por las fases mineralógicas (73,63%), el 51,36% en promedio pertenece a la fase mineralógica amorfa, que aporta Sílice con velocidad de reacción mayor con respecto al sílice Cristalino.
- El 22,27 % del promedio total de sílice aportado por la mineralogía, pertenece a sílice en Fase cristalina que tarda en reaccionar y no aporta a la calidad y mejoramiento de la resistencia y durabilidad del cemento.
- El estudio mineralógico proporciona la información necesaria para determinar ¿Qué porcentaje de sílice arrojado por el análisis químico se puede estimar como verdaderamente en el proceso de la fabricación del cemento?.
- En zonas con altos contenidos de sílice se evidencian bajos contenidos de Alúmina tanto en los resultados Químicos como en los mineralógicos.
- La Zona de estudio se caracteriza por tener Riolitas de textura afanítica, con presencia de Feldespatos alterados sin identificación del tipo original puesto que se encuentran Opalizados, prevalecen minerales aportantes de sílice amorfo como lo son Ópalo y Parcialmente Opalizado, y minerales aportantes de sílice Cristalino como el Cuarzo, Tridimita, Cristobalita. La Alúmina presente es aportada por material arcilloso y minerales accesorios como clorita, sanidina, plagioclasas, sericita, Vermiculita. Adicionalmente se evidencio presencia en menor proporción de minerales como circón, rutilo, Epidota, Limonita, goethita, Alunita, Pirita.



---

### RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio más detallado acerca de las plagioclasas medidas en la muestra 1627, puesto que según la clasificación por Michal Levy, se identificaron Bytownita y Labradorita, plagioclasas de composición más básica que ácida. Y geológicamente el domo Volcánico se caracteriza por tener una composición más ácida. Teniendo en cuenta que esta muestra se encuentra muy alterada, fue imposible determinar bien su mineralogía.
- Se recomienda un estudio más detallado puede ser por el método de difracción de rayos X (DRX) para determinar qué tipo de material arcilloso contienen las muestras, puesto que el tamaño de grano es mínimo y ópticamente no se puede identificar. Sería conveniente puesto que la caolinita a pesar de ser arcillosa no genera un efecto tan negativo como lo es la montmorillonita en su capacidad de absorción de agua.
- Se recomienda realizar perforaciones con el fin de analizar el domo a profundidad, y de esta manera poderlo caracterizar en su totalidad.

---

## BIBLIOGRAFÍA

Carlos Díaz Mauricio; *Iniciación Práctica a la mineralogía*. Primera Edición, Madrid EDITORIAL ALHAMBRA S.A, 1976.

María Luisa Monsalve; Nadia R. Rojas; Francisco A. Velandia P. Iraida Pintor; Lina Fernanda Martínez. *Caracterización Geológica del Cuerpo de Iza, Boyacá – Colombia*. Vol. 33, N° 1, enero-junio de 2011.

Salazar, A., “*Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales Compuestos*”, 3° edición, Corporación Construir, Cali, 2002.

A.G. Turkmenoglu, A. Tankut; *Use of tuffs from central Turkey as admixture in pozzolanic cements Assessment of their petrographical properties*. Received 10 April 2001; accepted 8 November 2001.

M. Davraz, L. Gunduz; *Engineering properties of amorphous silica as a new natural pozzolan for use in concrete*. Received 9 July 2003; accepted 1 November 2004.

Manuel Gonzales de la Coteria;. *Cementos portland Puzolanicos. Tendencias actuales en la fabricación y aplicación*.

BARRIOS Claudia Patricia. EL MERCADO DEL CEMENTO EN COLOMBIA, DETERMINANTES DEL CONSUMO DEL CEMENTO GRIS, Tesis Doctoral Uniandes, Febrero 2002.

M. GENER RIZO, J. M. ALONSO LAVERNIA, INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE PUZOLANAS NATURALES EN LAS PROPIEDADES DE LOS CEMENTOS CON ADICIONES CENTRO TÉCNICO PARA EL DESARROLLO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA DEL PODER POPULAR, Ciudad de La Habana, Cuba.

FRANCISCO SORIA SANTAMARÍA Dr. en Química Industrial, LAS PUZOLANAS Y EL AHORRO ENERGÉTICO EN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Profesor de Investigación del (IETCC/CSIC).

MELGAREJO I DRAPER. Joan Carles, Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada, Volume 1, Universidad de Barcelona, Fundació Folch (Barcelona).

LUJÁN TÚPEZ. Ing. Julio A. DETERMINACION ACTIVIDAD PUZOLANICA POR DRX Cementos Pacasmayo S.A.A.

---

(RPS-Qualitas Consultoría de Calidad y Laboratorio S.L) MÉTODOS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X.

MICHAEL H. RAMSEY A, PHILIP J. POTTS B., PETER C. WEBB B, PETER WATKINS A, JOHN S. WATSON B, BARRY J. COLES, COMPARISON OF ICP-AES AND XRF FOR THE ANALYSIS OF SILICATE ROCKS SW7 2BP, UK b Department of Earth Sciences, The Open University, Walton Hall Milton Keynes, Received 22 November 1993; accepted after revision 27 February 1994, Imperial College, London.

AHMET C, AVDAR, SU"KRU" YETGIN, AVAILABILITY OF TUFFS FROM NORTHEAST OF TURKEY AS NATURAL POZZOLAN ON CEMENT, SOME CHEMICAL AND MECHANICAL RELATIONSHIPS, Department of Civil Engineering, Karadeniz Technical University, Gumushane 29000, Turkey Received 2 June 2005; received in revised form 28 February 2006; accepted 31 May 2006 Available online 20 September 2006.

Centro De Tecnología Cemento Y Concreto, Cemex-Mexico, Mexico, City, D.F. 01280, Mexico Received 14 August 2000, Accepted 22 October 2001, Available online 29 October 2002.

HABERT A,D, CHOUPAY B , J.M. MONTEL A , D. GUILLAUME A , G. ESCADEILLAS EFFECTS OF THE SECONDARY MINERALS OF THE NATURAL POZZOLANS ON THEIR POZZOLANIC ACTIVITY G. C A LMTG, CNRS/ Université Paul Sabatier, Observatoire Midi-Pyrénées, Paris, France.

A.R. POURKHORSHIDI A,†, M. NAJIMI A, T. PARHIZKAR A, F. JAFARPOUR A, B. HILLEMEIER, APPLICABILITY OF THE STANDARD SPECIFICATIONS OF ASTM C618 FOR EVALUATION OF NATURAL POZZOLANS, Department of Concrete Technology, Building and Housing Research Center (BHRC), Tehran, Iran b Institute of Civil Engineering, Technical University of Berlin, Berlin, Germany.

UDÍAS. Agustín. La Tierra Estructura y dinámica, primera edición, Barcelona, España, 1985. Recursos Digitales

<http://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/cemento/cemento-holcim-tipo-i.html>

<http://tienda.icontec.org/brief/NTC121.pdf>

[http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-77312011000100002&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-77312011000100002&script=sci_arttext)

---

<http://www.aggregate.com/documents/tds/fly-ash-cement-replacement-tds.pdf>

<http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf> Texto elaborado por Alejandro Salazar J.

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1102/2/133488.pdf>

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/759/3/CAPITULO1.pdf>

[http://www.asocem.org.pe/bivi/re/IC/HC/determinacion\\_actividad\\_puzolanica\\_por\\_drx\\_julio\\_lujan\\_cpacasmayo.pdf](http://www.asocem.org.pe/bivi/re/IC/HC/determinacion_actividad_puzolanica_por_drx_julio_lujan_cpacasmayo.pdf)

[http://www.asocem.org.pe/bivi/re/IC/HC/determinacion\\_actividad\\_puzolanica\\_por\\_drx\\_julio\\_lujan\\_cpacasmayo.pdf](http://www.asocem.org.pe/bivi/re/IC/HC/determinacion_actividad_puzolanica_por_drx_julio_lujan_cpacasmayo.pdf)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Fluorescencia\\_de\\_rayos\\_X](http://es.wikipedia.org/wiki/Fluorescencia_de_rayos_X)

[http://www.rpsqualitas.es/documentacion/downloads/instrumental/fluorescencia\\_de\\_rayos\\_x.pdf](http://www.rpsqualitas.es/documentacion/downloads/instrumental/fluorescencia_de_rayos_x.pdf)

<http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectrometra-de-fluorescencia-de-rayos-x>

[http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-02832009000200007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832009000200007&lng=es&nrm=iso)

[http://www.academia.edu/10674255/MAPA\\_GEOLOGICO\\_DEL\\_DEPARTAMENTO\\_DE\\_BOYACA\\_Memoria\\_explicativa\\_Elaborada\\_por\\_ANTONIO\\_JOS%C3%89\\_RODR%C3%8DGUEZ\\_PARRA\\_ORLANDO\\_SOLANO\\_SILVA](http://www.academia.edu/10674255/MAPA_GEOLOGICO_DEL_DEPARTAMENTO_DE_BOYACA_Memoria_explicativa_Elaborada_por_ANTONIO_JOS%C3%89_RODR%C3%8DGUEZ_PARRA_ORLANDO_SOLANO_SILVA)