

MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS
DE POSIBLE PROVENIENCIA REGIONAL Y DE TEMPERATURAS DE
COCCIÓN, DE CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS DEL PERIODO
PREHISPÁNICO, EXCAVADAS EN EL MUNICIPIO DE LOS SANTOS,
SANTANDER.

KARINA ANDREA PORTILLA MENDOZA
DIEGO ARMANDO PINZÓN NÚÑEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2016

MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS
DE POSIBLE PROVENIENCIA REGIONAL Y DE TEMPERATURAS DE
COCCIÓN, DE CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS DEL PERIODO
PREHISPÁNICO, EXCAVADAS EN EL MUNICIPIO DE LOS SANTOS,
SANTANDER.

KARINA ANDREA PORTILLA MENDOZA
DIEGO ARMANDO PINZÓN NÚÑEZ

Trabajo de grado para optar al Título de:
Geólogos

Director:

Ricardo Mier Umaña

Geólogo. Esp. Ingeniería De Petróleos

Codirectores:

Carlos Alberto Ríos

Geólogo. Ph.D. Ciencias Aplicadas

Leonardo Moreno

Arqueólogo. Ph.D. Arqueología prehistórica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2016

AGRADECIMIENTOS

Primero quisiéramos agradecer a la Universidad Industrial de Santander por nuestra formación académica, en especial a su Parque Tecnológico Guatiguará por proporcionar todo lo necesario para llevar a cabo este proyecto. Agradecemos al profesor José Henao, director del laboratorio de rayos X, por su ayuda, dedicación y amistad.

Al director de este proyecto Ricardo Mier, por su paciencia y comprensión, y a los codirectores, el profesor Carlos Ríos, por su colaboración, y al profesor y arqueólogo Leonardo Moreno por hacer interesante e intrigante el campo de la arqueología.

A las personas que Dios puso en nuestro camino para ayudarnos a enriquecer este proyecto con sus aportes, especialmente al Mae; Benjamín Acevedo, geoarqueólogo costarricense, quien guio nuestro proyecto desde sus inicios, y siempre estuvo pronto a resolver nuestras dudas. Gracias a él este proyecto tuvo un alto alcance. También a André Herón geoquímico brasilero quien con sus aportes permitió enriquecer la interpretación geoquímica de este proyecto. Y a otras personas quienes aportaron con su ayuda a este proyecto, especialmente al profesor Giuseppe Cultrone de la Universidad de Granada, España, y al profesor Murat Bayazit de la Universidad de Batman, Turquía, por aportar parte de su conocimiento a este proyecto.

DEDICATORIA

Al gran espíritu y sus conexiones perfectas.

A la fuerza y al entusiasmo necesarios para avanzar.

A mi papá y hermano, motores exactos para mi juego de vivir.

Karina Andrea Portilla Mendoza

DEDICATORIA

Primero quiero dedicar este proyecto a Dios y agradecerle por ser mi todo y darme siempre todo lo que necesité, con su presencia siempre anduve en hombros de gigante, y aun en los momentos más oscuros y difíciles, él siempre estuvo conmigo, gracias papito Dios por este logro y por los muchos que vendrán.

A las reinas de mi vida; mi nonita y mi mamá, por apoyarme y confiar en mí aun cuando nadie creía en mí, por darme el don de la vida, por moldear en mí una buena persona, y por guiarme por el camino correcto. Tanto pedí a Dios que le diese vida a mi nonita para que ella pudiera verme graduar que en estos momentos otro sueño se está haciendo realidad. Aunque la vida pasa y el cuerpo se cansa y enferma su sonrisa no se apaga. A mi hermano, príncipe y mi amigo de toda la vida, porque siempre hemos estado hay el uno para el otro, aun en los peores momentos, siempre nos hemos apoyado, y juntos seguiremos alegrando la vida de nuestras preciosas reinas. A mi padre, Rey de un reino lejano, porque él me enseñó lo que no debo hacer ni ser en la vida.

A la princesa, que durante todo este tiempo estuvo en mi mente y en mi corazón. A muchos otros que no me alcanzara el espacio para nombrar, pero que hicieron que este castillo construido con muchos sueños, el cual nunca pensé que se hiciese realidad, llegara a hacerse realidad. Y a las valiosas personas quienes cruzaron por mis pasillos para enseñarme o alegrar la vida, especialmente para quienes cruzaron por los pasillos académicos, e hicieron que mi deambular por la Universidad fuese más divertido, a mi compañera de grado y a los compinches de siempre.

Diego Armando Pinzón

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	20
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
2. JUSTIFICACIÓN	24
3. HIPOTESIS	25
4. OBJETIVOS	26
4.1 LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	27
4.1.1 Detalles de la excavación del corte estudiado.	27
4.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	30
5. MARCO CONCEPTUAL	33
5.1 ANÁLISIS DE LAS FÁBRICAS MACROSCÓPICAS	33
5.2 ANÁLISIS POR MEDIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)	34
5.3 ANÁLISIS POR MEDIO DE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)	34
5.4 ANÁLISIS POR MEDIO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (IR)	35
5.5 ESTIMACIÓN DE LOS RANGOS DE TEMPERATURA Y CONDICIONES DE COCCIÓN A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE LOS CAMBIOS SUFRIDOS POR LOS MINERALES ARCILLOSOS DURANTE SU COCCIÓN Y SUS MINERALES PRESENTES.....	36
5.6 ANÁLISIS DE PROVENIENCIA DE LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS.....	39
5.7 CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS	40
5.8 LIMITACIONES DE LOS ANÁLISIS DE PROVENIENCIA.....	44
5.9 ESTUDIO DE PRODUCCIÓN DE FUENTES LOCALES.....	45
5.10 CONSIDERACIONES ACERCA DE LA PRODUCCIÓN DE CERÁMICAS POR LAS CULTURAS PRE-GUANE Y GUANE.....	47
6. MATERIALES Y MÉTODOS	49
6.1 DISEÑO METODOLÓGICO	49
6.2 PIEZAS DE CERÁMICA ANALIZADAS.....	53

6.3	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	56
6.4	PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS.....	58
6.4.1	Análisis por difracción de rayos X (DRX). Cualitativo.....	58
6.4.2	Análisis por difracción de rayos X (DRX). Cuantitativo	58
6.4.3	Análisis por fluorescencia de rayos X.	59
6.4.4	Análisis por medio de espectroscopía Infrarroja (IR).	59
6.4.5	Análisis por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS).	60
6.4.6	Software para los análisis de resultados.....	60
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
7.1	APLICACIÓN DE DRX CUALITATIVO EN EL ESTUDIO DE LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS.	61
7.2	ANÁLISIS DE FASES MINERALES	63
7.3	APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE DRX CUANTITATIVO EN LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS. 73	
7.4	<i>APLICACIÓN Y ANALISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS CON IR EN LAS C.A.....</i>	79
7.5	ANÁLISIS DE LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS APLICANDO SEM-EDS	89
7.5.1	Análisis textural y grado de vitrificación.	89
7.5.1	Análisis de los datos obtenidos con EDS.....	100
7.6	<i>ANÁLISIS DE LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS APLICANDO FRX.....</i>	104
7.7	DETERMINACIÓN DE LAS MÁXIMAS TEMPERATURAS ALCANZADAS POR LAS PIEZAS DE CERÁMICA.....	113
7.8	DETERMINACIÓN DEL AMBIENTE DE COCCIÓN	116
7.9	METODOLOGIA Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIABLE PARA LA REDUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DATOS DE FRX DE LAS CERÁMICAS.	117
7.9.1	Análisis de componentes principales.....	117
7.9.2	Análisis de cluster.....	126
8.	CONCLUSIONES.....	134
9.	RECOMENDACIONES	139
	BIBLIOGRAFÍA	141
	ANEXOS.....	151

Lista de Tablas

TABLA 1. REPRESENTACIÓN DE LAS FASES CRISTALINAS IDENTIFICADAS EN EL PRIMER ANÁLISIS DE DRX.....	64
TABLA 2. REPRESENTA LAS FASES CRISTALINAS IDENTIFICADAS, Y LA PROPORCIÓN EN PORCENTAJE DE CADA UNA DE ESTAS FASES. N.C REPRESENTA QUE LA FASE CRISTALINA FUE.....	76
TABLA 3. TABLA DE FRECUENCIAS DE INFRARROJO DE LOS POSIBLES MINERALES PRESENTES EN LAS PIEZAS DE CERÁMICA.	79
TABLA 4. GRUPOS DE LAS MUESTRAS CERÁMICAS DE ACUERDO A SU SIMILITUD ESPECTRAL	81
TABLA 5. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES, RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FRX.	118
TABLA 6. DESVIACIONES ESTÁNDAR.....	119
TABLA 7. PORCENTAJES DE VARIANZAS.	119
TABLA 8. TABLA DE PESOS DE LOS CUATRO COMPONENTES PRINCIPALES PARA ESTE ANÁLISIS	120
TABLA 9. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DE LOS ALGORITMOS PARA MEDIR LA DISTANCIA ENTRE LOS CLUSTERS.	128
TABLA 10. EXPLICACIÓN DE LAS AGRUPACIONES Y SUS DISTANCIAS, USANDO EL MÉTODO DEL VECINO MÁS LEJANO Y LA ASOCIACIÓN EUCLÍDEA	129
TABLA 11. RELACIÓN DE LAS OBSERVACIONES CON LAS VARIABLES.....	130
TABLA 12. RELACIÓN DE LAS VARIABLES CON LOS INDIVIDUOS, CON LAS MUESTRAS DE CERÁMICAS.	131

Lista de figuras

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL ÁREA.	27
FIGURA 2. CUADRÍCULA DEL CORTE II.	30
FIGURA 3. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA EN UNA ZONA ALEDAÑA AL CORTE II.	43
FIGURA 4. METODOLOGÍA EN LA APLICACIÓN DE DIVERSOS MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA EL ESTUDIO DE LAS PIEZAS ARQUEOLÓGICAS Y MUESTRAS DE ARCILLA.	52
FIGURA 5. FLUJOGRAMA QUE REPRESENTA LA SÍNTESIS DE LAS ACTIVIDADES DESEMPEÑADAS	56
FIGURA 6. MINERALOGÍA CUANTITATIVA DE LOS TRES PRINCIPALES MINERALES PRESENTES EN LAS PIEZAS CERÁMICAS, PARA UNA MEJOR COMPARACIÓN EN LA PARTE IZQUIERDA DE CADA UNA DE LAS IMÁGENES SE OBSERVAN LAS CUATRO PIEZAS CLASIFICADAS COMO CON MOSCOVITA, EN LA PARTE DERECHA SE OBSERVA LAS TRES MUESTRAS CLASIFICADAS COMO SIN ESTE MINERAL, Y EN LA PARTE MEDIA SE OBSERVA SU MEDIA.	78
FIGURA 7. COMPARACIÓN ENTRE EL CONTENIDO TOTAL DE MINERALES CRISTALINOS EN LOS CUERPOS CERÁMICOS VERSUS EL CONTENIDO TOTAL DE AMORFOS Y OTROS.	78
FIGURA 8. ESPECTROS INFRARROJOS DE LAS 13 PIEZAS DE CERÁMICAS ANALIZADAS	80
FIGURA 9. (A) ESPECTROS DE LAS MUESTRAS QUE PERTENECEN AL GRUPO CER A: A2-1 (LÍNEA SÓLIDA) Y STII F2-2 LÍNEAS. SEGUNDA DERIVADA DE LA MUESTRA (B) A2-1 Y C F2-2	82
FIGURA 10. ESPECTROS DE LAS MUESTRAS QUE PERTENECEN AL GRUPO CER B: C3-3 (LÍNEA SÓLIDA) Y A3-4 LÍNEAS. ABAJO: SEGUNDA DERIVADA DE LA MUESTRA A3-4	83
FIGURA 11. ESPECTROS DE LAS MUESTRAS QUE PERTENECEN AL GRUPO CER C: F3-3 (LÍNEA SÓLIDA) Y D2-6 LÍNEAS. ABAJO: SEGUNDA DERIVADA DE LA MUESTRA F3-3	84
FIGURA 12. SEGUNDAS DERIVADAS DE LOS ESPECTROS IR DE (A) F3-3 Y (B) D2-6 CON UN RANGO DE 900-600 cm^{-1}	85
FIGURA 13. ESPECTROS DE LAS MUESTRAS QUE PERTENECEN AL GRUPO CER D: E5-4 (LÍNEA SÓLIDA), B5-6 LÍNEAS, D4-4 PUNTOS, D2-11 (PUNTOS CORTOS) Y B4-6 (LÍNEA Y PUNTO). ABAJO: SEGUNDA DERIVADA DE LA MUESTRA D2-11	86
FIGURA 14. ESPECTRO DE LA MUESTRA CER E: B2-2. ABAJO: SEGUNDA DERIVADA DE B2-2	87
FIGURA 15. ESPECTRO DE LA MUESTRA QUE PERTENECE AL GRUPO CER F: A2-4. ABAJO: SEGUNDA DERIVADA DE A2-4	88
FIGURA 16. SEM DE LA PIEZA F2-2, EN LA PRIMERA DE ELLAS NO SE OBSERVA UNA ANISOTROPÍA MARCADA, TAMPOCO EL DESARROLLO DE FASES VIDRIOSAS, AL VER ESTA ZONA A UN MAYOR AUMENTO NO HAY EVIDENCIAS DE FUSIÓN. NV	90
FIGURA 17. SEM DE LA PIEZA C3-3 EN LA CUAL SE EVIDENCIA LA TEXTURA EN MORTERO, SIN NINGUNA ANISOTROPIA CALCAREA MARCADA, Y CON INCLUSIONES DE GRAN TAMAÑO. ESTA PIEZA CERAMICA ES UNA CERAMICA CARBONATADA. NV	90
FIGURA 18. SEM DE LA PIEZA A2-4 EN LA CUAL AL IGUAL QUE EN LAS FOTOGRAFÍAS SE EVIDENCIA UNA TEXTURA EN MORTERO Y UNA MALA CALIBRACION DEL MATERIAL, AL VER UNA ZONA DE ESTA PIEZA A UN MAYOR	

AUMENTO SE CORROBORA QUE NO HAY UNA MARCADA ANISOTROPIA ESTRUCTURAL Y LAS HOJUELAS DE ARCILLA Y MATERIA AMORFA SE PRESENTAN ORIENTADAS AL AZAR. MUESTRA CON TRATAMIENTO DE PULIDO. NV.	91
FIGURA 19. SEM DE LA PIEZA E5-4 EN LA CUAL SE APRECIA EN EL CUADRO VERDE SUPERIOR IZQUIERDO UN PANDEAMIENTO, VISTA ESTA ZONA UN MAYOR AUMENTO SE APRECIA QUE SI BIEN LA ANISOTROPIA ESTRUCTURAL NO ES MARCADA, SI TIENDE A VER UNA ORIENTACION DE LA MATERIA AMORFA Y MINERALES ARCILLOSOS HACIA LOS BORDES DE LOS GRANDES GRANOS MINERALES. MUESTRA CON TRATAMIENTO DE PULIDO. NV+.	91
FIGURA 20. CLÁSICA TEXTURA EN MORTERO QUE DEFINE LA NV, HAY EVIDENCIAS QUE SI BIEN EL MATERIAL NO SE VITRIFICO SI REACCIONO A LA TEMPERATURA, COMO BORDES REDONDEADOS DE LAS PLACAS DE ARCILLA. MUESTRA CON TRATAMIENTO DE PULIDO. NV.	92
FIGURA 21: SEM DE LA PIEZA B4-6 EN LA CUAL SE OBSERVA UN GRADO DE VITRIFICACIÓN INCIPIENTE, EL CUAL A PESAR DE LA MALA CALIBRACIÓN Y DEL GRAN TAMAÑO DE LAS INCLUSIONES POSEE UNA ANISOTROPÍA ESTRUCTURAL NO MUY MARCADA, QUE LA SEPARA DE LA NO VITRIFICACIÓN. VI.	93
FIGURA 22. SEM DE LA PIEZA D2-6. SIMILAR A LA ANTERIOR SE OBSERVA UN GRADO DE VITRIFICACIÓN INCIPIENTE, PERO EN ESTA LA ANISOTROPÍA ESTRUCTURAL ES ALGO MÁS MARCADA, LO QUE SE CORROBORA AL VER LA ZONA SUPERIOR DERECHA A UN MAYOR AUMENTO EN EL CUAL ES EVIDENTE ORIENTACIONES ALREDEDOR DE UN CRISTAL MINERAL. VI.	93
FIGURA 23. SEM DE LA PIEZA A2-1 EN LA CUAL LA ANISOTROPÍA ESTRUCTURAL YA ES MARCADA Y ES POSIBLE DETALLAR MINÚSCULOS FILAMENTOS DE VIDRIO. VI+.	94
FIGURA 24. SEM DE LA PIEZA A2-1. AL OBSERVAR LA MUESTRA ANTERIOR MÁS DE CERCA SE HACEN EVIDENTES LA FASE VIDRIOSAS, REPRESENTADA POR FILAMENTOS DE VIDRIO HACIA LA PARTE IZQUIERDA DE LAS FOTOGRAFÍAS. VI+.	94
FIGURA 25. SEM DE LA PIEZA F3-3. ES EVIDENTE UNA CLARA ANISOTROPÍA ESTRUCTURAL, A SU VEZ, LOS POROS SE ENCUENTRAN ALINEADOS, Y OBSERVADO CON UN MAYOR DETALLE ES POSIBLE VER QUE LA FASE VIDRIOSAS FORMA UNA RED CON PEQUEÑOS FILAMENTOS CONECTADOS.	95
FIGURA 26. SEM DE LA PIEZA F3-3. OTRA VISTA DE LA MISMA MUESTRA ANTERIOR, EN ESTA SE RESALTA DE MAYOR FORMA LA ANISOTROPÍA ESTRUCTURAL. AL OBSERVAR LA ZONA CENTRAL A UN MAYOR AUMENTO ES POSIBLE VER PLACAS DE MINERALES ARCILLOSOS ORIENTADAS EN LA DIRECCIÓN PREDOMINANTE.	96
FIGURA 27. SEM DE LA PIEZA A3-4 SI SE OBSERVA A DETALLE ES POSIBLE VER LA FASE VIDRIOSAS Y LA FORMACIÓN DE UNA TEXTURA EN RED DE ESTA FASE, Y LA PRESENCIA DE GRAN CANTIDAD DE POROS ALINEADOS HACIA LA DIRECCIÓN PREFERENTE.	96
FIGURA 28. SEM DE LA PIEZA D2-11. LA ANISOTROPÍA ESTRUCTURAL YA NO ES EVIDENTE QUIZÁS FUE PERDIDA EN EL DESARROLLO DE LA VITRIFICACIÓN O FUE INEXISTENTE EN ESTA PIEZA CERÁMICA, Y YA QUE LA TOPOGRAFÍA DE ESTA MUESTRA ES BASTANTE IRREGULAR, A UNA SIMPLE OBSERVACIÓN PARECE TENER UNA TEXTURA EN MORTERO, PERO AL OBSERVAR ESTA MUESTRA CON MAYOR DETALLE SE VE EL DESARROLLO DE GRAN CANTIDAD DE POROS. POR LO QUE SE DECIDIÓ ANALIZAR ESTA MUESTRA BAJO UN MAYOR AUMENTO 300-100-50 μm EVIDENCIÁNDOSE BAJO TODOS ESTOS AUMENTOS EL DESARROLLO DE LA TEXTURA BUBBLY. VT.	97

FIGURA 29. SEM DE LA PIEZA D2-11. VISTO BAJO UN MAYOR AUMENTO ES EVIDENTE EL GRAN DESARROLLO DE LA TEXTURA BUBBLY O DE POROS AISLADOS.VT.....	98
FIGURA 30. SEM DE LA PIEZA D2-11. EL TAMAÑO DE LOS POROS VISTOS EN ESTAS FOTOGRAFÍAS ESTA ENTRE 5-10 μm ,EN EL CENTRO TENEMOS CRISTALES DE FILOSILICATOS.VT.....	99
FIGURA 31. SEM DE LA PIEZA D4-4. A ESTE AUMENTO OCURRE EL CASO DE LA MUESTRA ANTERIOR, OBSERVADO A DETALLE ES POSIBLE VER GRAN CANTIDAD DE POROS.VT.	99
FIGURA 32. SEM DE LA PIEZA D4-4. SE OBSERVA CLARAMENTE LA TEXTURA BUBBLY, EN LA IMAGEN IZQUIERDA ES POSIBLE OBSERVAR EL DESARROLLO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA SOBRE ESTA PIEZA.VT.....	100
FIGURA 33. PRESENCIA DE ÓXIDOS DE HIERRO EN LAS PIEZAS E5-4 (IZQ) Y B2-2 (DER), ESCALA 20 μm	101
FIGURA 34. PRESENCIA DE ÓXIDOS DE HIERRO EN LAS PIEZAS F2-2 (IZQ) Y B4-6 (DER) ESCALA 100 MM. .	101
FIGURA 35. PRESENCIA DE MANGANESO EN LAS PIEZAS C3-3 (IZQ) Y D2-6 (DER), ESCALA 200 Y 100 μm	102
FIGURA 36. PRESENCIA DE TITANIO EN LAS PIEZAS A2-4 (IZQ) Y B5-6 (DER), ESCALA 100 Y 200 μm	102
FIGURA 37. PRESENCIA DE POSIBLE APATITO EN LA PIEZA C3-3 (IZQ) Y DE IMPORTANTE PRESENCIA DE FOSFORO Y REE EN LA PIEZA B2-2 (DER), ESCALA 200 Y 20 μm	103
FIGURA 38. PRESENCIA DE FASES MINERALES CON REE EN LAS PIEZAS B4-6 (IZQ) Y B2-2(DER) ESCALA 5 Y 20 μm	104
FIGURA 39. PRESENCIA DE FASES MINERALES CON REE EN LAS PIEZAS C3-3 (IZQ) Y D2-2(DER) ESCL 50 Y 20 MM.	104
FIGURA 40. CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS MAYORES EN LOS FRAGMENTOS CERÁMICOS ANALIZADOS SIENDO NORMALIZADOS A LA CORTEZA MEDIA SEGÚN LOS DATOS DE WEDEPOHL, (1995) EN: SANTOS, (2010).	108
FIGURA 41. CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS MAYORES EN LOS FRAGMENTOS CERÁMICOS ANALIZADOS SIENDO NORMALIZADOS A PAAS SEGÚN LOS DATOS DE TAYLOR AND MCLENNAN, (1985).	109
FIGURA 42. CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS MAYORES EN LOS FRAGMENTOS CERÁMICOS ORGANIZADOS SEGÚN EL SISTEMA ALFARERO Y NORMALIZADOS A LA MEDIA CORTICAL Y AL PAAS.	110
FIGURA 43 Y 44. CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS MAYORES EN LOS FRAGMENTOS CERÁMICOS SIN Y CON TRATAMIENTO MUESTRAL, NORMALIZADOS A PAAS SEGÚN LOS DATOS DE TAYLOR AND MCLENAN, (1985).	111
FIGURA 45. DIAGRAMA TERNARIO SiO_2 VS Al_2O_3 VS MgO . LOS COLORES NO SON UN REFLEJO DE LOS COLORES DE LAS PIEZAS CERÁMICAS.	112
FIGURA 46. DIAGRAMA $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ VS $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	113
FIGURA 47. GRÁFICA DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES Y LOS VALORES PROPIOS DE LAS PIEZAS ANALIZADAS. TOMADA DEL SOFTWARE ORIGINPRO 2016.	120
FIGURA 48. GRÁFICO DEL PRIMER COMPONENTE PRINCIPAL VS SEGUNDO COMPONENTE PRINCIPAL.....	122
FIGURA 49. GRÁFICO DEL SEGUNDO COMPONENTE PRINCIPAL VS TERCER COMPONENTE PRINCIPAL.....	123
FIGURA 50. GRÁFICO DEL CUARTO COMPONENTE PRINCIPAL VS PRIMER COMPONENTE PRINCIPAL	124
FIGURA 51. DIAGRAMA TRIDIMENSIONAL DE LOS VECTORES DEL PRIMER, SEGUNDO Y TERCER COMPONENTE, ESCALA REAL COMPARADA CON EL DIAGRAMA TRIDIMENSIONAL DE LAS MUESTRAS DE CERÁMICA.	125

FIGURA 52. DIAGRAMA TRIDIMENSIONAL DE LOS VECTORES DEL PRIMER, SEGUNDO Y TERCER COMPONENTE	125
FIGURA 53. DIAGRAMA TRIDIMENSIONAL DEL PRIMER, SEGUNDO Y TERCER COMPONENTE.....	126
FIGURA 54. DENDOGRAMA CON LAS MUESTRAS DE CERÁMICA.....	127
FIGURA 55. DENDOGRAMA DE ÓXIDOS MAYORES.....	127
FIGURA 56. DENDOGRAMA SEÑALANDO TRES CLUSTERS.....	129
FIGURA 57. DENDOGRAMA DE LOS ELEMENTOS MAYORES OBTENIDOS EN FRX.....	130
FIGURA 58. DENDOGRAMA DE LAS MUESTRAS DE CERÁMICA.	131
FIGURA 59. DIAGRAMA DE ACP. RELACIÓN DEL COMPONENTE PRINCIPAL 1 VS COMPONENTE PRINCIPAL 2.	132
FIGURA 60. DIAGRAMA EN 3D DE LOS TRES PRINCIPALES COMPONENTES.	133

Lista de fotografías

FOTOGRAFÍA 1. CORTE II. NIVEL DESCAPOTE FINCA DE DON DIEGO. VEREDA LOS TERES.	28
FOTOGRAFÍA 2. DESARROLLO DE LA EXCAVACIÓN DEL CORTE II. SOBRESALEN LAS HUELLAS DE POSTE, EXPRESADAS EN LOS PEDESTALES.	29
FOTOGRAFÍA 3. CORTE II. FINCA EL MIRADOR. VEREDA LOS TERES.	41
FOTOGRAFÍA 4. PIEZAS CERÁMICAS ANALIZADAS DEL GRUPO ROJO: A) A2-1(1), B) F2-2(9), C) A3-4(17), D) D2-11(25) Y E) B2-2(33).	54
FOTOGRAFÍA 5. PIEZAS CERÁMICAS ANALIZADAS DEL GRUPO GRIS A) D4-4(49), B) B5-6(57), C) F3-3(65) Y D) E5-4(73).	54
FOTOGRAFÍA 6. PIEZAS CERÁMICAS ANALIZADAS DEL GRUPO NEGRO A) B4-6(81) Y B) A2-4(89).	55
FOTOGRAFÍA 7. PIEZAS CERÁMICAS ANALIZADAS DEL GRUPO CAFÉ A) C3-3(97) Y B) A4-4(105).	55
FOTOGRAFÍA 8. PIEZAS CERÁMICAS ANALIZADAS DEL GRUPO MARRÓN ROJIZO, D2-6(113)	55
FOTOGRAFÍA 9 Y 10. LOS PUNTOS DE RECOLECCIÓN DE MATERIAL ARCILLOSO, A LA IZQUIERDA PUEDE SER APRECIADO EL ÁREA CONTIGUA A LA EXCAVACIÓN, EVIDENTE POR LA PRESENCIA DE PEQUEÑOS FRAGMENTOS CERÁMICOS, Y COMO FUE LA RECOLECCIÓN DE ESTA MUESTRA. A LA DERECHA EL SEGUNDO PUNTO DE RECOLECCIÓN DISTANTE A ~ 6 KILÓMETROS DE LA EXCAVACIÓN.	57

Lista de anexos

ANEXO A. COMPOSICIÓN QUÍMICA (%) DE LOS FRAGMENTOS ANALIZADOS COMPARADOS CON LA MEDIA DE LA CORTEZA TERRESTRE SUPERIOR (CTS) Y CON LAS ARCILLAS AUSTRALIANAS POST ARQUEANAS (PAAS). CTS ¹ DATOS TOMADOS DE WEDEPOHL, (1995) VISTOS EN: SANTOS, (2010). PAAS ² DATOS DE TAYLOR AND MCLENNAN, (1985).....	151
ANEXO B. SISTEMA ALFARERO DE LOS TERES, EN AZUL SE SEÑALAN LAS PIEZAS ANALIZADAS, SIN RESALTAR SE ENCUENTRAN LAS DEMÁS MUESTRAS CONTEMPLADAS.	152
ANEXO C. FORMATO DE ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE LAS FÁBRICAS.....	153

RESUMEN

TÍTULO: MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE POSIBLE PROVENIENCIA REGIONAL Y DE TEMPERATURAS DE COCCIÓN, DE CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS DEL PERIODO PREHISPÁNICO, EXCAVADAS EN EL MUNICIPIO DE LOS SANTOS, SANTANDER*

AUTORES: KARINA ANDREA PORTILLA MENDOZA**

DIEGO ARMANDO PINZÓN NÚÑEZ**

PALABRAS CLAVE: COMPOSICIÓN MINERALÓGICA, CERÁMICA, XRD, XRF, FT-IR, SEM/EDX, TEMPERATURAS DE COCCIÓN, PCA, CLUSTER.

DESCRIPCIÓN:

La presente investigación proporciona una metodología para abordar el estudio principalmente químico, geoquímico y mineralógico de cerámicas arqueológicas. Sentando bases para investigaciones posteriores y permitiendo la discusión de los relictos de la ocupación humana primigenia en Colombia desde otro punto de vista. En referencia a los antecedentes de esta investigación, los cuales abordaron dos momentos de ocupación para el sitio de Los Teres, el Pre Guane y el Guane, y plantearon un sistema y alfarero para la abundante cerámica encontrada allí, y sobre la base del análisis de los resultados obtenidos se estimaron relativas altas temperaturas de cocción, mayores a las pensadas por investigaciones precedentes, y se definieron condiciones variables, principalmente reductoras, en la cocción de las piezas. A su vez, en base a estos resultados y a la aplicación de estadística multivariable (análisis de componentes principales y de clusters) se analizó el sistema alfarero planteado para esta zona, realizándose importantes apreciaciones a este, respecto al uso de moscovita como indicador de distinción entre cerámicas, encontrándose también que aparte del principal uso de arena cuarzosa como desgrasante fue empleada la calcita, en el grupo clasificado como café. También a su vez se analizó la proveniencia y se encontró la principal proveniencia regional de las piezas cerámicas.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Ricardo Mier Umaña, Geólogo.

ABSTRACT

TITLE: MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY AS TOOLS OF
PROVENANCE ANALYSIS AND THE EFFECT OF FIRING
TEMPERATURE ON ARCHAEOLOGICAL POTTERY OF PRE-
HISPANIC PERIOD FROM LOS SANTOS, SANTANDER. *

AUTHORS: KARINA ANDREA PORTILLA MENDOZA **
DIEGO ARMANDO PINZÓN NÚÑEZ**

KEYWORDS: MINERALOGICAL COMPOSITION, CERAMIC, XRD, XRF, FT-IR,
SEM/EDX, FIRING TEMPERATURE, PCA, CLUSTER.

DESCRIPTION :

This present study summarized the results of mineralogical and geochemical investigation of prehispanic period ceramics excavated from Guane and Pre-guane period sites of The Teres on the northwestern of the town of Los Santos. Analytical investigations using X-ray Diffraction (XRD), Fluorescence Spectrometry (FRX), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) were carried out on the ancient pottery fragments, in order to outline firing condition and temperature of potteries. The analytical characterizations of the potsherds have allowed to identifying the raw materials and technology applied by the ancient artisans.

The ceramic bodies of 14 sherds were analyzed by principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) with the aim to establish reference groups for this type of high dimensional data. The preliminary investigations indicated a local provenance and ranges of temperatures (between 600 – 800 °C). On the other hand, this study has been based on a ceramic system, what was analyzed by archaeologists, in terms of colour and the presence of moscovite of the potsherds.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Ricardo Mier Umaña, Geólogo.

INTRODUCCIÓN

Debido a que los aspectos de la geología y la arqueología son similares, ya que ambas ciencias estudian los limitados y esporádicos remanentes del pasado (Szilágyi et al., 2011), el trabajo interdisciplinar resultado de emplear el amplio espectro de las geociencias al estudio del registro arqueológico, ha sido exitoso a la hora de abordar la diversidad de problemas arqueológicos, y ha llegado, gracias a lo anterior, a definir un nuevo campo para estas ciencias: el campo de la geoarqueología. Como bien lo sintetizó el arqueólogo británico Colin Renfrew “Cada problema arqueológico, comienza como un problema en geoarqueología”, lo que nos comprueba que los principales problemas arqueológicos, se presentan debido a que los artefactos arqueológicos son excavados en áreas con características geológicas específicas, resultando muchas veces afectados por procesos geológicos comunes y son elaborados a partir de determinados recursos naturales.

Si bien este campo es relativamente reciente, la historia del término se remonta al siglo XIX, en donde geocientíficos y arqueólogos empezaron a interesarse en cuestiones relativas a paleoambientes. Ya para inicios del siglo XX se comenzaron a consolidar estudios enfocados en la formación del registro arqueológico; se establecieron cronologías y se caracterizaron artefactos (cerámicos y líticos) y ecofactos (elementos naturales no modificados que brindan datos para conocer cómo fue la vida de poblaciones antiguas). Pero es en la década de 1970 cuando se da un incremento en la designación de una variedad de tipos de investigación que usan técnicas propias de las geociencias en la evaluación de los registros arqueológicos (Acevedo, 2014). Hoy en día, este campo va creciendo de la mano del trabajo interdisciplinar entre geólogos, arqueólogos, geógrafos, físicos, y edafólogos.

Entre muchos de los objetos que pueden ser investigados por la geoarqueología, se encuentran las cerámicas, comúnmente consideradas como los hallazgos más importantes en las excavaciones arqueológicas. Estas pueden ser consideradas, desde el punto de vista geológico, como rocas metasedimentarias que son el resultado de una técnica artificial que consiste en la mezcla natural o no-natural de sedimentos, que fueron metamorfosados con una característica especial; baja presión- alta temperatura, conocida como proceso de cocción.

En este orden de ideas, y partiendo de que los primeros y únicos que han abordado hasta el momento la geoarqueología en la Universidad Industrial de Santander han sido Gómez y Cuervo (2012) enfocando su trabajo de grado en la relación existente entre las sociedades indígenas de esta región con su paisaje y el reconocimiento del patrimonio cultural dejado por ellos. El presente proyecto aborda de nuevo la geoarqueología, a través del estudio de las cerámicas fabricadas por sociedades prehispánicas.

Es importante destacar que los aportes científicos interdisciplinarios están proporcionando cada vez más información al patrimonio cultural mundial y nacional, lo cual ha estado generando una revalorización de los bienes patrimoniales y de la manera infundir la importancia de su conservación y restauración.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El estudio de las sociedades indígenas Preguane – Guane que habitaron el territorio de Santander, ha sido llevado a cabo recientemente por Moreno, (2015), quien para ello retomó resultados de su investigación anterior en Moreno (2013), llevada a cabo en excavaciones arqueológicas realizadas en la vereda de Los Teres, del municipio de Los Santos, Santander, y de otras investigaciones precedentes que han estudiado estas sociedades. (Lleras y Vargas, (1990); Morales y Cadavid, (1984); Sutherland, (1972).

Estudiando las excavaciones realizadas En Los Teres, este autor dio una clara contribución al conocimiento arqueológico, histórico y cultural de esta región del nororiente colombiano, develando muchas de las principales características de las sociedades que habitaron el territorio de La Mesa de los Santos, Santander. Principalmente su organización y estilos de vida, planteando un sistema cerámico para el conjunto de piezas cerámicas encontradas en Los Teres, determinando tipologías en base a un concepto técnico-formal, de los estilos alfareros encontrados.

Si bien es cierto que las investigaciones realizadas por Moreno (2015, 2013) proporcionaron un importante avance en el conocimiento de estas sociedades, existe un gran vacío en el conocimiento del testigo más importante, de que estas sociedades alguna vez existieron, las cerámicas. En este sentido la estimación de máximas temperaturas de cocción alcanzada en estas piezas, sus condiciones, y sus características más allá de conceptos técnico-formales son problemas que aún no han sido resueltos por estas investigaciones. En este mismo orden de ideas, otro problema de suma importancia que no fue resuelto por ninguna de estas investigaciones, ha sido las fuentes de proveniencia del recurso arcilloso con el cual fueron fabricadas estas piezas, específicamente si este recurso arcilloso, proviene de fuentes locales o cercanas a la excavación, en otras palabras, a los lugares de residencia de los grupos humanos que habitaron este sitio de la Mesa de los Santos.

Señala Szilágyi et al., (2011) que la composición y la apariencia de las cerámicas arqueológicas (forma y estilo de las vasijas) están altamente influenciada por los cambios socio-culturales. Por ende, al obtener detallada información acerca de la materia prima y las técnicas de manufactura, se generan conocimientos, facilitando a los arqueólogos el entendimiento acerca de los procesos sociales que han tenido lugar en esta región y periodo.

Considerando lo anterior, este proyecto propone abordar este problema, teniendo como recurso principal a la interdisciplinariedad para el análisis de lo hallado durante nuestra investigación, a partir de cerámicas facilitadas por el Museo Arqueológico de Santander, del corte II de la excavación arqueológica realizada en la Vereda de los Teres y muestras de arcillas recolectadas de fuentes locales.

2. JUSTIFICACIÓN

Existe la necesidad de abordar campos de estudios interdisciplinarios, en los que la comunidad geológica, pueda verse involucrada con aportes valiosos en conocimientos y experiencias, al abrir espacio a nuevas oportunidades, permitiendo el enriquecimiento y la expansión del campo de las geociencias. Entre estos campos interdisciplinarios se encuentra la geoarqueología, de la cual surgen importantes aportes al conocimiento de la historia de la humanidad, mediante el estudio de los materiales y el medio físico de las sociedades del pasado.

Para el caso de esta investigación, la importancia se refleja en la recolección bibliográfica, en la que voces de diferentes campos del conocimiento geocientífico son consultados para un objetivo específico: el de adentrarse en problemas de relevancia arqueológica nacional. Para lo cual se cuenta con una amplia gama de recursos tecnológicos de última generación y aportes interdisciplinarios que facilitarán la comprensión e interpretación de los resultados geoquímicos y mineralógicos obtenidos, que ayudarán a determinar aspectos que amplíen la información geoarqueológica de la zona estudiada, ya que es un campo que hasta ahora está empezando a explorarse. Finalmente, de las conclusiones obtenidas en la presente investigación se espera proporcionar una ayuda trascendental en el entendimiento de las cerámicas precolombinas de Colombia y aportar a la comprensión de las sociedades Preguane y Guane, a la comunidad científica nacional e internacional, interesada en la historia de las sociedades precolombinas; así como para los arqueólogos que han estudiado la zona y también para el público en general que quiera conocer más de las sociedades que una vez habitaron en esta zona del país.

3. HIPOTESIS

Al indagar acerca de diversas cerámicas arqueológicas, las tecnologías usadas por parte de grupos humanos precolombinos, y de acuerdo a los objetivos planteados en este estudio, se parte de un estimativo de temperaturas de cocción menores de 800- 900 °C, siendo estas las mayores temperaturas de cocción alcanzadas por estas piezas, y posibles variaciones en las condiciones de cocción. Debido a que estas sociedades no tenían grandes centros de producción, es posible que gran parte de la materia arcillosa con la cual fueron fabricadas las piezas cerámicas, provenga de sitios cercanos a sus unidades de residencia, o de sitios no muy lejanos de la misma. En atención a lo señalado, se toman estas ideas como la hipótesis de trabajo.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Hacer uso de la geoquímica y mineralogía en la caracterización de piezas de cerámicas arqueológicas excavadas en la vereda Los Teres cerca del municipio Los Santos, Santander, estimando sus respectivos rangos de temperaturas de cocción y planteando una posible proveniencia regional de su materia prima.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Analizar la relación geoquímica y mineralógica de las piezas cerámicas con la clasificación del sistema alfarero planteada por los arqueólogos.
2. Estimar el rango de temperatura de cocción y condiciones de las piezas cerámicas analizadas.
3. Analizar la posible proveniencia regional de las piezas cerámicas en base a la comparación de las características mineralógicas de la materia prima, con las características mineralógicas encontradas en las cerámicas.
4. Establecer una metodología en la aplicación de estadística multivariable al estudio de piezas arqueológicas

4.1 LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El sitio arqueológico Preguane-Guane “Los Teres” está ubicado al nororiente de Colombia en el municipio de Los Santos, el cual se encuentra a 62 kilómetros de la ciudad de Bucaramanga, Colombia. Este sitio toma su nombre de La vereda Los Teres de este municipio, la cual se encuentra a una altura de 1330 metros sobre el nivel del mar. El estudio de esta zona arqueológica fue llevado a cabo entre el año 2011 y 2012, como parte de un proyecto de investigación de la Universidad Industrial de Santander liderado por el arqueólogo Leonardo Moreno.

Figura 1. Mapa de localización del área.



Fuente. Modificado de Google Earth.

4.1.1 Detalles de la excavación del corte estudiado. El Corte II está ubicado al costado de un cerro y corresponde a una plataforma de vivienda, este sitio tiene una delimitación de 10 metros de ancho y 12 metros de largo. La excavación fue delimitada por los arqueólogos y fue dividida en cuadrículas de 2 metros de lado,

identificadas con letras de la A, hasta la F (sentido sur-oriente) y, enumeradas en sentido sur –occidente, del número 1 hasta el 5, es decir, se excavaron 30 cuadrículas de 2 metros de lado. Esta excavación fue desarrollada desde el nivel 1 de 0-20 centímetros, este nivel es relativamente más grande debido a la acción de tractores, nivel 2 de 20-30 centímetros hasta el nivel 11 de 120-130 centímetros, bajando cada 10 centímetros. Los niveles son indicados en las piezas con un numero al final. Y la cuadrícula en la cual fueron encontradas las piezas se relaciona con la letra acompañada del número.

Fotografía 1. Corte II. Nivel Descapote Finca de Don Diego. Vereda Los Teres.



Fuente. MORENO, L. Tecnología lítica y cerámica: sociedades prehistóricas del río Sogamoso, Santander, Colombia. Tesis doctoral. Bucaramanga: Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de filosofia i letres. Departament de prehistòria, 2015. 749 p.

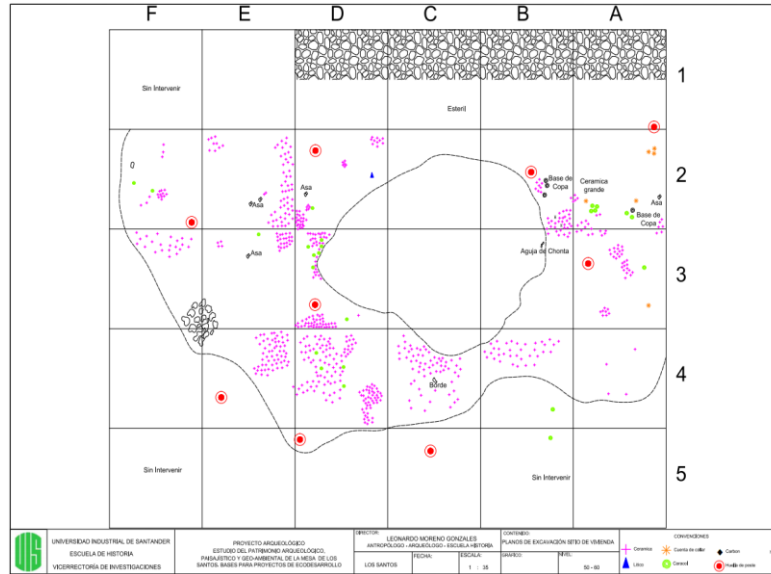
Fotografía 2. Desarrollo de la excavación del corte II. Sobresalen las huellas de poste, expresadas en los pedestales.



Fuente. MORENO, L. Tecnología lítica y cerámica: sociedades prehistóricas del río Sogamoso, Santander, Colombia. Tesis doctoral. Bucaramanga: Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de filosofia i lletres. Departament de prehistòria, 2015. 749 p.

En el lugar fue encontrado por los arqueólogos un hueco de 4.80 metros de ancho provocado por guaquearía y a las cuadrículas afectadas se le fue realizada una limpieza, recogiendo el material arqueológico, como recolección superficial y se excavaron cada parte según correspondiera al nivel estratigráfico respectivo, hasta que se llegó al nivel de toda la excavación que no tenía alteraciones por guaquería. Así, sólo en el nivel encontrado a los 80-90 (niveles 7), toda la excavación se encuentra nivelada, pues allí terminó la alteración de los guaqueros y fue a partir de allí que se excavaron todas las cuadrículas simultáneamente.

Figura 2. Cuadrícula del corte II.



Fuente. MORENO, L. Tecnología lítica y cerámica: sociedades prehistóricas del río Sogamoso, Santander, Colombia. Tesis doctoral. Bucaramanga: Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de filosofia i lletres. Departament de prehistòria, 2015. 749 p.

4.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

De acuerdo a lo que se aspira lograr, es importante destacar las investigaciones acerca de las cerámicas de las sociedades Guane y Penguane, o que han abordado la geoarqueología en la Universidad industrial de Santander. La investigación más reciente fue la tesis de doctorado de Moreno en el año (2015) profesor e investigador de la Universidad Industrial de Santander, titulada: Tecnología lítica y cerámica: sociedades prehistóricas del río Sogamoso, Santander, en esta se presentan todos los resultados obtenidos en investigaciones anteriores de este autor que abordaron las cerámicas de las sociedades Penguane-Guane en Los Santos y en otros sitios de Santander, e investigaciones anteriores por parte de otros autores. Es de especial importancia esta investigación ya que sus descripciones y resultados del sitio arqueológico encontrado en Los Teres, son la base de la presente investigación, así mismo, las conclusiones derivadas de este estudio proporcionan una valiosa información en la identificación de lo que se conoce como Pre-Guane y Guane, resolviendo problemas tipológicos y de

valoración de la alfarería, uno de estos resultados puede ser evidenciado en el sistema cerámico planteado para Los Teres, también de la lítica asociada a estas dos sociedades. A su vez también ésta investigación permitió conocer más acerca de las practicas funerarias de estas sociedades, aspectos de la vida diaria y patrones de asentamiento regional y local, a través del inventario y la descripción de los sitios de asentamiento prehistórico en la parte alta delimitada por los cañones de los ríos Chicamocha y Sogamoso, lo que el autor denominó como montaña santandereana. De la revisión de los vacíos de esta investigación y de la propuesta de abordar y discutir resultados específicos desde otro punto de vista, surgió la presente investigación.

En relación a o antes mencionado, la investigación de este mismo autor en el año (2012), titulada: Arqueología del Nororiente colombiano. Los Teres: un sitio de asentamiento de las culturas prehispánicas Preguane y Guane, en la cual a partir de la realización de dos excavaciones (corte I y II de la presente investigación) busco encontrar las diferencias y las semejanzas del desarrollo histórico y social del siglo VI d.C de la región centro oriente de Santander, más específicamente en el municipio de Los Santos, con su investigación retomó la discusión acerca de la existencia de dos comunidades prehispánicas independientes en su origen, su desarrollo histórico, evolución social y cultural, las cuales ocuparon el mismo espacio en diferentes períodos de tiempo, asociando la actividad social y cultural de los Preguane o Guane temprano desde el siglo VI d. C hasta el siglo XI d. C , y el grupo Guane, que el autor asocia desde el siglo XII d.C hasta la llegada de los españoles a la zona.

Este mismo autor también ha realizado otras investigaciones abordando el tema Preguane-Guane, en su publicación (2013), titulada: Los Teres: un asentamiento ordenador del territorio Preguane -Guane, una aproximación al tema urbano. donde aborda el tema en lo referente a la utilización urbana del paisaje desde el punto de vista de la arqueología espacial y la organización social, y el modelo de asentamiento el cual es diferente para ambas sociedades.

La única investigación que ha abordado el tema de la geoarqueología ha sido la desarrollada por Gómez y Cuervo en el año (2012) en su tesis de grado de la Universidad Industrial de Santander titulada: Estudio geológico enfocado a la

caracterización paisajística de la mesa de los santos, paisajes en los cuales se desarrollaron estas sociedades abordando este tema desde un punto de vista geológico. Este trabajo recalca el gran valor cultural y geopatrimonial que tiene esta zona, en la comprensión de las sociedades que habitaron esta región y la importancia de su conservación. A su vez también describieron la gran relación que tuvieron estas sociedades con su medio geológico, en especial con el paisaje kárstico asociado a la formación Rosa blanca e indicaron el conocimiento de las comunidades que habitaron este paisaje, en la utilización de las rocas calcáreas para la utilización de materiales para la construcción, herramientas, y zonas aptas para establecer viviendas, lugares para trabajar y esparcimiento.

Revisando las investigaciones que abordaron el estudio de las cerámicas de esta zona del país, se encuentra que quienes abordan y enlazan resultados obtenidos en investigaciones pasadas son Lleras y Vargas, (1980) en su investigación titulada: Palogordo: La prehistoria de Santander en los Andes Orientales, en esta se realiza una síntesis de trabajos anteriores sobre tipologías cerámicas encontradas en los Teres “Investigaciones etnohistóricas y arqueológicas en el área guane” por Cadavid y Morales, (1984) y otras anteriores como Investigaciones preliminares en la prehistoria de Santander, Colombia” la cual fue la tesis de Doctorado de Sutherland, (1972) para formular un conjunto único de tipologías cerámicas en el área de Santander, que reflejase el desarrollo cronológico y espacial de los complejos arqueológicos del área.

Anterior a este trabajo, Sutherland, (1972) planteó, en base a piezas de museo y otras excavaciones las siguientes tipologías: Curití Micáceo, Curití Pasta de avena, Curití Poroso, Oiba Rojo sobre naranja, Oiba Rojo sobre rojo. De manera un poco similar, Cadavid, (1984) definió para la mesa de Los Santos y sectores aledaños los siguientes tipos: Los Santos Carmelita burdo, Los Santos Micáceo rojo, Los Santos Micáceo fino, Los Santos Ocre sobre crema. Partiendo de esta realidad los autores enlazaron estas dos investigaciones, las dividieron en Guane Temprano y Guane Tardío y definieron la siguiente tipología cerámica, aplicable al área del departamento de Santander, para el Guane Temprano definieron a Los Santos Carmelita burdo, Los Santos Micáceo rojo, Los Santos micáceo fino y Villanueva Ocre sobre Crema-negro. A su vez para el Guane-Tardío los autores definieron Oiba Rojo sobre Rojo-naranja y Chicamocha Inciso-impreso.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 ANÁLISIS DE LAS FÁBRICAS MACROSCÓPICAS

El análisis de fábrica es el estudio y la clasificación de las cerámicas basado en las características de la pasta arcillosa y sus inclusiones Degryse y Braekmans (2013). Los principales propósitos de un análisis de fábricas cerámicas son según Williams, (1990); (1) proporcionar descripciones claras y sin ambigüedades para facilitar comparaciones, (2) caracterizar cerámicas en orden a determinar orígenes o discriminar entre fuentes – lo cual es un prerrequisito esencial para el estudio de la cronología y el comercio- (3) entender mejor la tecnología usada. Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis de fábrica se realiza describiendo las partes o características que la componen (Williams, 1990), estas características se describen de la siguiente manera:

- (1) Color: La descripción de color fue dada por los arqueólogos Leonardo Moreno y Francisco Aldana. Usualmente este color puede ser engañoso, especialmente si la cerámica ha sido enterrada o se ha decolorado en el suelo durante la deposición.
- (2) Dureza: Las cerámicas pueden usualmente ser descritas como suaves, duras, y muy duras. El termino suave es aplicado si la cerámica puede ser rayada fácilmente con la uña, el termino duro si la cerámica puede ser rayada con la punta de una navaja, y el termino muy duro si la cerámica no puede ser rayada con la punta de una navaja (Williams, 1990). Se recomienda revisar las cerámicas detalladamente ya que éstas pueden haber sido afectadas por procesos de meteorización.
- (3) Sensación: Los términos descriptivos que pueden ser usados son áspero, liso, jabonoso o untuoso, polvoriento, entre otros.
- (4) Textura: Esta es dependiente del tamaño, forma, y arreglo de los minerales. Según Williams (1990), el tamaño de las inclusiones puede registrarse en términos de grueso (mayor a 5 milímetros), medio (entre 0.5 y 0.25 milímetros) y fino (menos de 0.25 milímetros). La forma y redondez son también importantes, las inclusiones pueden ser registradas como angulares, sub-redondeadas y redondeadas, esta proporciona información del temper,

si está naturalmente redondeado en alto o bajo grado, o si este fue arreglado artificialmente.

- (5) Tratamiento de la superficie: Se describe cual fue el tratamiento externo de la cerámica arqueológica (C.A.), si esta fue alisada, pulida, bruñida, entre otros.

El análisis de fábricas cerámicas para este proyecto es tomado como un acercamiento macroscópico al diagnóstico y caracterización de las C.A, y revela muchas características que no pueden ser vistas con un análisis tipológico o morfológico, que son los análisis que se han realizado en las C.A provenientes de los Teres.

5.2 ANÁLISIS POR MEDIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

La técnica de difracción de rayos x es útil en el estudio de las cerámicas arqueológicas para identificar minerales que no son posibles identificar petrográficamente, en especial para la identificación de los minerales arcillosos presentes en las cerámicas. Siendo útil para caracterizar los tipos de cerámicas presentes, aportar información para la búsqueda de las fuentes de materias prima, y es usada como técnica principal para la estimación del rango de las temperaturas de cocción y las fases minerales neo formadas por la cocción, al igual que provee información de las transformaciones sufridas por la arcilla durante el proceso de cocción, y las transformaciones de fase de la caolinita.

5.3 ANÁLISIS POR MEDIO DE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

La técnica de fluorescencia de rayos x es una de las técnicas que pueden ser usadas para realizar un análisis multi-elemental de las muestras de cerámicas

arqueológicas, analizando las firmas geoquímicas proporcionadas por el contenido de óxidos mayores, elementos mayores, y elementos menores presentes en la totalidad de la muestra, sin prestar tanta atención a cada fase presente o la composición de estas (información que es provista por otras técnicas), pueden ser caracterizadas las relaciones y las posibles fuentes en común de los distintos tipos de cerámicas estudiadas, ya que recordando el enfoque dado por Sayre, (2000), la cual se basa en la poca probabilidad de que coincidan los patrones de composición de las cerámicas, a menos que los artefactos arqueológicos tengan una fuente común, o su recolección de materias primas obtenidas sea de fuentes comunes. Aplicando también esta técnica sobre las muestras geológicas de posibles fuentes de materias primas locales, relacionando y comparando sus firmas geoquímicas con las obtenidas en los tipos de cerámica, es de importancia conocer las posibles fuentes de proveniencia de los principales tipos cerámicos y sus grupos.

La técnica de FRX en la arqueología ha sido aplicada gran cantidad de veces a materiales de tipo geológico por arqueólogos, geoarqueólogos, y físicos especializados en arqueología (Shakley, 2011), aun así esta técnica es y ha sido aplicada con éxito en cerámicas arqueológicas y en muchos otros materiales arqueológicos, como obras de arte, demostrando su eficacia con datos útiles, que pueden ser comparados con un buen grado de fiabilidad a técnicas con mayor precisión y exactitud de resultados como la técnica de análisis por activación de neutrones (NAAA) ((Shakley, 2011), Perreault et al., (2016)), u otras técnicas más precisas que caracterizan concentraciones en elementos traza, las cuales pueden ser usada para resolver algunos problemas de sub-fuentes de materias primas (Shakley, 2011) .

5.4 ANÁLISIS POR MEDIO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (IR)

La técnica de espectroscopia de infrarrojo (IR) es útil para caracterizar arcillas, otros minerales, y materiales orgánicos, y ha sido utilizada en la arqueología principalmente en la caracterización de materiales de origen orgánico, como huesos, ámbar, pigmentos, huesos, madera, textiles entre otros (Velde and Druc, 1999). En el estudio de cerámicas arqueológicas la espectroscopia infrarroja (IR) más específicamente la espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (IR-FT) provee información acerca de las temperaturas de cocción a través de la

identificación de minerales, debido a que estos existen en un rango finitos de temperaturas y en la determinación de la atmosfera de cocción (Malainey, 2011). Este análisis se enfoca en buscar los principales óxidos usuales en los materiales cerámicos, como carbonatos, silicatos, óxidos de hierro, óxidos de aluminio, y sílice, para a partir de la identificación de estos, caracterizar las temperaturas de cocción, ya que por ejemplo si la temperatura excede los 880 °C, la calcita (CaCO_3) se descompone a cal (CaO) y dióxido de carbono CO_2 .

Hay que tener en cuenta que esta técnica es un poco menos sensible que otros métodos analíticos en la identificación de diferencias en las estructuras minerales, como resultado de esto, su uso como método de identificación en muestras de fase mixtas es difícil, por esto esta técnica es más conveniente identificando ciertas características de fases puras. Velde and Druc, (1999). Teniendo en cuenta lo anterior, esta técnica se usa después de aplicar los análisis de difracción de rayos x (DRX).

5.5 ESTIMACIÓN DE LOS RANGOS DE TEMPERATURA Y CONDICIONES DE COCCIÓN A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE LOS CAMBIOS SUFRIDOS POR LOS MINERALES ARCILLOSOS DURANTE SU COCCIÓN Y SUS MINERALES PRESENTES

La transformación de una masa ligeramente húmeda, rica en arcilla con una forma ya definida a una cerámica, pasa por un proceso conocido como el proceso de cocción en el cual se calienta el objeto hasta que las arcillas son destruidas o lo suficientemente calentadas, para retener la forma del objeto. Este proceso ha sido dado por significantes periodos de tiempo y bajo alguna acción mecánica (Velde and Druc, 1999).

Antes de entrar a ver, como se estiman los rangos de temperatura y las condiciones de cocción es importante considerar las variables implicadas en el proceso de cocción, y su contexto con las cerámicas precolombinas. Dicho esto, el

calentamiento y las fases de transformación mineral implicadas en este proceso, son hechos en el marco de tres variables físicas claves implicadas, tiempo, temperatura y composición química. La interrelación de tiempo y temperatura es extremadamente importante para la producción de cerámicas, la composición química afecta la relación de estas dos variables. Principalmente los estadios de transformación de una pasta arcillosa húmeda a una cerámica pueden ser definidos de la siguiente manera:

1. Secado y pérdida del agua libre. Este es el estadio normalmente completado bajo condiciones atmosféricas o de no calentamiento. Este estadio es realizado lentamente con el fin de evitar fracturas o deformación debidas a pérdidas de considerables cantidades de agua libre. La contracción del objeto inicial puede ser hasta del 15%. Este secado inicial ocurre comúnmente en periodos de días o de una semana (Velde and Druc, 1999).
2. El Primer estadio de cocción está dado por la pérdida de agua ligada a la superficie de la arcilla y a los materiales que actúan como desgrasantes. Es completado a temperaturas usualmente cercanas a los 100 °C y por un periodo razonable de tiempo, posiblemente horas. No todas las cerámicas pasan por este paso (Velde and Druc, 1999). Según Morales, (2008) la eliminación de la humedad residual que contiene la pieza aún después del secado se da hasta los 200 °C y es eliminada especialmente el agua interlaminar alojada entre los planos moleculares, de la sustancia arcillosa, en el interior de las partículas.
3. La temperatura es elevada y el calentamiento ocurre hasta que el mineral arcilloso pierde su agua cristalina. Este proceso es irreversible. Una vez las arcillas han perdido su agua, la cerámica se convierte en rígida. A menudo si la cerámica es retirada en este estadio, el material tiene una baja durabilidad y es débil, pudiendo fácilmente ser rayado y eventualmente corroído. Muchos objetos de barro (earthenware) y fayenzas son cocidas en altas temperaturas, antes de alcanzar el estadio 4, de la fusión parcial de los no-plásticos. Refiriéndose a este estadio Morales, (2008) agrega que la sustancia orgánica se quema y volatiliza en un rango de temperaturas aproximado a 350-700 °C, y simultáneamente con unos 50 °C de retardo, sobreviene la eliminación del agua de combinación, lo cual requiere una absorción de calor, sobreviniendo así una reacción endotérmica, y descomponiendo la arcilla en meta caolín o caolín deshidratado.

4. El próximo estadio de transformación es la transformación total de las arcillas y la fusión parcial de las partículas. A menudo, las partículas no-arcillosas más pequeñas son fundidas en la masa arcillosa. Los más grandes granos de desgrasantes son todavía identificables. Morales, (2008) agrega que en un rango de temperaturas aproximado que va de 700 a 900 °C, el producto de la deshidratación, el metacaolin, tiende a desprender alúmina, quedando libre la sílice. Este autor también indica que por encima de los 700 °C comienzan a formarse diversos silicatos por las combinaciones de sílice y alúmina, con los álcalis, cal, magnesia, y óxidos de hierro entre muchos otros. Para formar una amplia gama de silicatos, constituyentes de la pieza cocida, indicadores de las temperaturas alcanzadas.

5. El más avanzado estadio en la formación de la cerámica a una porcelana. Aquí se forma la porcelana, las arcillas y el desgrasante son fundidos y una nueva fase mineral cristaliza, la mullita. Las arcillas y muchos de los desgrasantes forman un vidrio y la mullita forma una red de finos cristales con formas de aguja, los cuales sostienen toda la estructura.

Estos estadios fueron mencionados con el fin de delimitar las cerámicas estudiadas en el presente proyecto, respecto a la relación en las variables de tiempo y temperatura. Es importante agregar que el efecto de la composición de las arcillas y los granos de en una pasta arcillosa cambia necesariamente las condiciones de cocción en el proceso de la obtención de un producto cerámico. Debido a que la composición de la pasta puede traer consigo agentes fundentes, tales como el óxido de calcio, potasio o sodio, en diversas formas minerales, que pueden reducir grandemente la temperatura de fusión. Uno de los más comunes agentes fundentes es el óxido de calcio (CaO), el cual puede ser agregado en la forma del conocido carbonato de calcio (CaCO₃), esta calcita se desgasifica liberando CO₂, en un rango de 700-900 °C, siendo este rango variable, y dependiente del tiempo, la temperatura y del tamaño de los cristales, que al ser menor actuará más rápido y a más bajas temperaturas (Velde and Druc, 1999).

En lo concerniente a las condiciones de cocción cabe señalar que tanto la oxidación es importante como la reducción lo es, pero una de estas será predominante. Debido a que muchas arcillas contienen una razonable cantidad de óxido de hierro, de 1-3 % (Velde and Druc, 1999), el hierro muy a menudo en estas arcillas se encuentra en su forma oxidada de Fe₂O₃, acompañado de algo de agua ligada al óxido en su forma cristalina. Los cationes de hierro aquí son Fe³⁺. Este óxido puede

ser transformado en su forma menos oxidada por el calentamiento en un ambiente reductor. Un ambiente reductor es el que cambia Fe^{3+} a Fe^{2+} , reduciendo la carga positiva en el ion. Estos ambientes reductores pueden ser creados en un horno por inadecuada combustión del combustible, lo que puede ser logrado poniendo humedad o materia orgánica, donde el combustible se está quemando, logrando así que el carbón se deposite en la superficie de los poros, disminuyendo la permeabilidad. Las atmosferas reductoras tienden a ser de temperaturas inferiores que las oxidantes, debido a que el combustible no se quema completamente y por ende no puede darse su entera capacidad de calentamiento. Esta reducción del hierro cambia las temperaturas de fusión, llegándola a reducir y actuar similar a un agente fundente. La atmosfera reductora se evidencia con la formación de FeO (wustita) o Fe_3O_4 (Magnetita). En el mismo orden de ideas y también según Velde and Druc, (1999) normalmente las altas temperaturas crean un ambiente oxidante, el cual se da bajo una combustión eficiente, en un aire limpio, que da una alta temperatura. Un ambiente oxidante cambia el estado de oxidación del hierro de Fe^{2+} a Fe^{3+} y se evidencia con la formación de Fe_2O_3 (hematita). Por último cabe indicar que las temperaturas de cocción se caracterizan principalmente por las reacciones minerales durante el proceso de cocción, las cuales pueden ser la formación de nuevas fases minerales de las cuales no se ahondara más en consideraciones acerca de estas, la presencia del cuarzo, la vitrificación, la volatilización de elementos menores y traza, las transformaciones en el estado de oxidación del hierro, la pérdida de carbón y componentes orgánicos y la pérdida de agua entre otros.

5.6 ANÁLISIS DE PROVENIENCIA DE LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS

La determinación de proveniencia de un objeto histórico, de una estructura, monumento u obra de arte, implica la identificación o medida de un número suficiente de propiedades características del objeto, que se relacionan de manera convincente ya sea para grupos de objetos en los cuales su relación ha sido determinada por características similares o para caracterizar fuentes de materias primas, que podrían haber sido utilizadas en su fabricación, esta caracterización de fuentes de materias primas, implica la determinación del origen del objeto, sin embargo, y en la mayoría de los casos, debido a múltiples factores que veremos más adelante, este origen no logra ser asociado a un punto geográfico determinado, y el objetivo a menudo se satisface con encontrar si la región general del origen, puede ser deducida, o si el objeto tiene una alta probabilidad de haber tenido el

mismo origen que un grupo de objetos similares con características coincidentes. (Sayre, 2000).

5.7 CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS

El ambiente morfo-estructural de la Mesa de los Santos está asociado a la actividad tectónica activa del Cuaternario y al plegamiento y fallas geológicas que han originado un paleo-valle. Este paleo-valle cuaternario se forma por el desprendimiento (ocasionado por fallas) de la meseta denominada Mesa de los Santos (extremo occidental) y delimitado por los cañones profundos de los ríos Chicamocha y Sogamoso y, en consecuencia, constituye la parte más baja de dicha meseta (Moreno, 2012). En este paleo valle, se localiza la vereda de Los Teres, en la cual se realizaron los cortes I y II. Con el fin de realizar la determinación de posibles fuentes de proveniencia de las piezas cerámicas estudiadas, es preciso realizar una revisión de las características geológicas de la Mesa de Los Santos con el fin de identificar las formaciones que pudieron haber servido como fuentes de materias primas en la elaboración de las cerámicas.

El perfil de suelo desarrollado en el área de la excavación 2 según Moreno, (2015) muestra un primer estrato pardo grisáceo con tonos amarillosos, luego un estrato gris ceniza con tono blancuzco y el tercero, de color pardo rojizo, con huellas de oxidación de hierro, alcanzando una profundidad de 1.05 metros. La profundidad mencionada cambia según Moreno, (2015), hacia el costado SE de la excavación, porque aparecen los afloramientos de la roca parental.

Fotografía 3. Corte II. Finca El Mirador. Vereda Los Teres.



Fuente. MORENO, L. Tecnología lítica y cerámica: sociedades prehistóricas del río Sogamoso, Santander, Colombia. Tesis doctoral. Bucaramanga: Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de filosofia i lletres. Departament de prehistòria, 2015. 749 p.

En las distintas formaciones sedimentarias presente en la Mesa De Los Santos, según Vargas (2008) solo se identifican arcillolitas en la formación Los Santos, en su miembro inferior, de color marrón rojizo con manchas verdosas grisáceas producto de la reducción de materia orgánica, y arcillolitas calcáreas de color marrón rojizo pálido en la formación Rosa Blanca. A su vez otras rocas de grano fino, fueron identificadas en la formación Jordán la cual esta predominantemente conformada por limolitas intercaladas con areniscas lodosas de grano fino con colores marrones rojizos a rojo grisáceos, la Formación Paja la cual contiene hacia la base limolitas café oscuras con concreciones de caliza y láminas de yeso blanco fibroso muy fino, hacia el techo limolitas gris rojizo micáceo muy fisil, con fracturas rellenas, y concreciones, y limolitas calcáreas de pequeño espesor, y también las formaciones Rosa Blanca contiene lodolitas calcáreas de color gris oscuro hacia su base, y shales grises, junto a limolitas fisiles rojizas hacia la parte media y Los Santos que contiene limolitas con algunos guijos de cuarzo y caliche.

La información acerca del cuaternario en la Mesa de Los Santos es escasa, Vargas, (2008) menciona depósitos aluviales encima del nivel de los actuales cauces de los Sogamoso y Chicamocha, su origen es hidrogravitacional y conforman franjas relativamente angostas en sentido NE-SO, y depósitos de derrubios que corresponden a los depósitos de pendientes de origen local, siendo de los más abundantes, se observan en los escarpes de la Mesa de Los Santos hacia el Cañón del Río Chicamocha y se depositan sobre rocas de la Formación Jordán y presentan rangos variables de espesor, suavizando la topografía de la zona donde se depositan. Los depósitos cuaternarios según Gómez y Cuervo (2012) se encuentran preferencialmente sobre la formación Jordán y Los Santos. También estos autores señalan a partir de la interpretación de los perfiles de suelo desarrollados en la excavación 1, el ambiente fluvial más activo durante el cuaternario, con condiciones de humedad favorables para el desarrollo de horizontes de suelo con condiciones oxidantes.

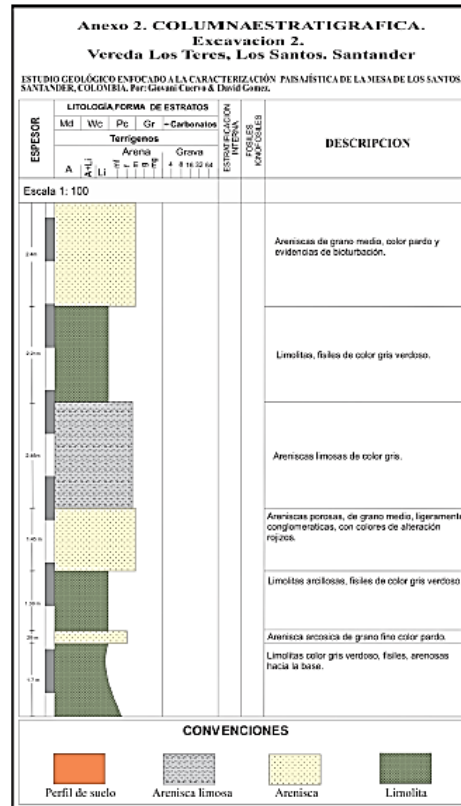
Por otra parte, las rocas arcillosas no son probablemente la primera escogencia por un artesano en su búsqueda de materias primas, debido a que para la mayoría de los artesanos de la antigüedad tendían a estar fácilmente disponibles cerca de la superficie (Velde and Druc, 1999). Por ende, los suelos son candidatos probables, pero muy limitados, debido a su pequeño espesor.

Los suelos residuales también son del periodo cuaternario, y según Montaña y Suarez, (2000) son aquellos que se han formado por el intemperismo presente en las diferentes rocas que se encuentran en la región. Hay algunos de color rojizo producto de la oxidación del hierro y otros claros de composición calcárea. Los primeros los encontramos en la parte Este del municipio sobre rocas de la Formación Los Santos, los segundos sobre rocas de la Formación Rosablanca al Sur-Oeste del municipio. Son estos de interés, debido a que se encuentran presentes en la zona de estudio, y pueden ser fuentes potenciales, de los materiales arcillosos buscados.

Los suelos de los corte II fueron descritos y caracterizados a fondo en la tesis de Gómez y Cuervo (2012), estando el perfil de suelo desarrollado en el corte II ubicado en la parte baja de un cerro remanente o testigo, en donde los procesos geomorfológicos imperantes son debido a coluviones, por acción gravitatoria de las partes altas, cubriendo el lugar con cantos, guijos y guijarros angulares de areniscas, embebidos en una matriz limo arenosa parda clara, este es un perfil de

suelo pobre, sin formación de horizontes o perfiles de meteorización, la estratigrafía adenaña al corte II corresponde a una intercalación de areniscas de grano medio, pardas con muestras de bioperturbación y limolitas físlles, fracturadas, correspondientes a la formación Rosa Blanca.

Figura 3. Columna estratigráfica en una zona adenaña al corte II.



Fuente. GÓMEZ, J.D., CUERVO, R.G. Estudio Geológico enfocado a la caracterización paisajística de La Mesa De Los Santos, Santander, Colombia. Trabajo de grado de Geología. Bucaramanga.: Universidad Industrial De Santander, 2012. 181 p.

A su vez realizando tamizados de las muestras de suelo e histogramas de éstas, mostraron que el tamaño de grano predominante del corte II es de gravas, concluyendo que este paisaje fue evolucionando en condiciones de clima árido, debido a la acción eólica y fluvial intermitente. La descripción metodológica de cómo se abordaron estos estudios y otras características puede ser encontrada en Gomez y Cuervo, (2012).

5.8 LIMITACIONES DE LOS ANÁLISIS DE PROVENIENCIA

Antes de entrar a considerar las limitaciones y los alcances de los análisis de proveniencia, debe ser considerado que usualmente, las similitudes en las cerámicas son consideradas de origen común, No obstante, según Sayre, (2000) objetos que lucen similares, a menudo son hechos de diferentes maneras, en diferentes lugares, y en diferentes tiempos. En este orden de ideas, es necesaria la realización de análisis de proveniencia sobre las cerámicas arqueológicas, pero tomando en cuenta lo dicho por Wilson and Pollard (2001) en: Malainey, (2011); los estudios de proveniencia son capaces por medio de la eliminación sistemática, identificar posibles fuentes de materia prima, debido a que otros depósitos con idénticas firmas geoquímicas pueden existir. Así es posible descartar una posible fuente, en la base de la composición elemental, pero no designar inequívocamente una fuente de las materias primas utilizadas.

En consecuencia, antes del análisis de proveniencia se realiza una caracterización por grupos de las piezas cerámicas, y a su vez estas interpretaciones según Malainey, (2011) se fortalecen con la demostración de cuatro criterios:

(1) La composición del artefacto es homogénea; (2) La composición de los artefactos no ha sido alterada por el procesamiento, mezcla de materias primas, o el efecto de la alteración es conocido; (3) La composición de cada fuente de materia prima es homogénea; (4) Las composiciones de todas las fuentes potenciales de materias primas son distintas.

El primer criterio de homogeneidad puede ser demostrado asumiendo también un número de medidas en un artefacto, y asumiendo que todos los otros exhiben el mismo grado de variabilidad. En el segundo criterio es sabido que la composición elemental de las cerámicas puede ser diferente a la composición de sus materias primas, aún si solamente una fuente fue explotada, la remoción de impurezas, o la adición de colorantes, fundentes y desgrasantes, pueden resultar en significantes diferencias entre la composición de una cerámica y su materia prima. Los casos que

implican la mezcla de distintas materias primas o reciclaje de estas son más complicados, en estos puede ser necesaria la comparación entre las composiciones elementales de artículos de diferentes sitios, y/o materiales recobrados desde sitios de posibles manufacturas Malainey, (2011).

Los posibles problemas asociados con el tercer y cuarto criterio pueden surgir porque las localizaciones de los sitios de las materias primas explotadas en tiempos antiguos, pueden no ser conocidas, las fuentes pudieron ser agotadas o destruidas por posteriores procesos naturales o actividades humanas. En base a esto según Malainey, (2011) hay necesidad de obtener una muestra representativa de cada fuente potencial, y coleccionar varias muestras de referencia desde todas las partes accesibles del depósito, y estos estudios solamente se pueden llevar a cabo si la variación composicional dentro de un único depósito, es menor que la variación que existe entre depósitos diferentes.

Teniendo en cuenta los criterios dados por Malainey, (2011) y sus problemas asociados, junto a la precaución dada. Las concentraciones de elementos trazan dentro de los objetos o los materiales en bruto son útiles para derivar fuentes de proveniencia, aunque las concentraciones de elementos presentes como componentes mayores o menores pueden también ser útiles Sayre, (2000). Una vez los objetos dentro de los grupos composicionales de objetos y materias primas, han sido bien caracterizados, los objetos individuales pueden ser comparados a ellos a través de análisis similares (Sayre, 2000). Creando esto último un precedente con el cual se pueda comparar, para estudios a futuro de proveniencia de cerámicas arqueológicas, en otras áreas del país.

5.9 ESTUDIO DE PRODUCCIÓN DE FUENTES LOCALES

A su vez, en la búsqueda de los materiales que sirvieron como fuente de materias primas para la fabricación de las cerámicas estudiadas se tiene como pilar central la regla de proveniencia “regla que establece que las diferencias químicas dentro de una única fuente de material deben ser menores a las diferencias entre dos o

más fuentes de material, para que puedan ser distinguidos” (Price and Burton, 2012). Y la suposición que en la fabricación de las piezas cerámicas estudiadas no hubo mezcla ni reciclaje de materias primas.

Respecto a la búsqueda de los sitios en donde se localizan las fuentes de materias primas, se encontró en la literatura a Arnold, (1985) quien usando evidencia etnológica mostro que la distancia geodésica desde los asentamientos, a las fuentes de arcilla, esta entre 1 y 50 km, estando el territorio preferido de explotación probablemente a una distancia de 1 km o menos, estando el rango provechoso de explotación a una distancia máxima de 7 km siendo probable este el límite superior. Para el caso de las distancias a las fuentes dedesgrasante, también según Arnold, (1985), varia en rangos desde menos de 1 km a 25 km. Siendo la distancia de 1 km la distancia de explotación preferida, el 97 por ciento del conjunto de casos estudiados obtienen sus desgrasantes dentro de 7 o 9 km, a lo largo del sitio de producción, sugiriendo que este es el límite superior del rango de explotación beneficiosa para el desgrasante (Arnold, 1985). Las fuentes cercanas pueden ser consideradas según Szilágyi et al., (2012) en un rango de 10 a 30 km, relacionando esto con lo expuesto por Arnold, (1985), podemos considerar que el límite superior del área de fuentes locales esta probablemente cerca de 7 km, y el límite superior para que las materias primas puedan ser considerados como extraídos en un área cercana, se encuentra aproximadamente a 30 km.

Debido a que el gasto de energía está estrechamente relacionado a la distancia de la fuente del material, el tipo de transporte utilizado tales como el uso de animales para transportar materiales, o carros con tracción animal reduciría el costo total de energía, que debe ser empleada en obtener los materiales, lo que incrementa la cantidad de arcilla o desgrasante obtenido en una jornada (Arnold, 1985). Para el caso del presente estudio y basado en evidencia etno-histórica de las sociedades Guanes, y Preguanes que habitaron la zona estudiada, se considera la idea que no fue utilizado transporte animal en el transporte de materias primas para la fabricación de las cerámicas estudiadas.

5.10 CONSIDERACIONES ACERCA DE LA PRODUCCIÓN DE CERÁMICAS POR LAS CULTURAS PRE-GUANE Y GUANE

La cerámica es un producto cultural resultado de la actividad social inmersa en un ciclo productivo, en el cual existe una gestión y aprovisionamiento de los recursos arcillosos necesarios, Moreno, (2015). En virtud de esto también según Moreno, (2015) se consideran a las cerámicas como respuestas a las necesidades específicas de un grupo humano cuyo cubrimiento y satisfacción esta en concordancia con las condiciones sociales y económicas junto al grado de desarrollo tecnológico-productivo. El cual permite utilizar el recurso arcilloso y las fuerzas de la naturaleza y humana, para que el producto cumpla con unos requisitos estéticos y funcionales, cubriendo y cumpliendo las necesidades sociales de un grupo humano, que son un reflejo de las relaciones sociales, económicas e ideológicas del grupo humano que las produce.

Dentro de este orden de ideas, el entorno ambiental y sus recursos, definen la forma, material y las propiedades necesarias de las cerámicas, por tal razón la gestión, el aprovechamiento del recurso arcilloso y el producto final, depende del desarrollo de las fuerzas productivas, y del conocimiento o ideas que tengan los habitantes de su entorno, y su adaptación a este. Según Moreno, (2015) los sistemas alfareros, considerados como el conjunto de cerámicas realizadas por las sociedades tardías cacicales se asocian a una función específica, lo que responde a una necesidad concreta en el tiempo y el espacio, que en conjunto se manifiesta en una variada y diversa oferta de productos con distintas variedades morfológicas, de composición de las materias primas y tratamiento de la superficie, dependientes del uso al cual sería destinado.

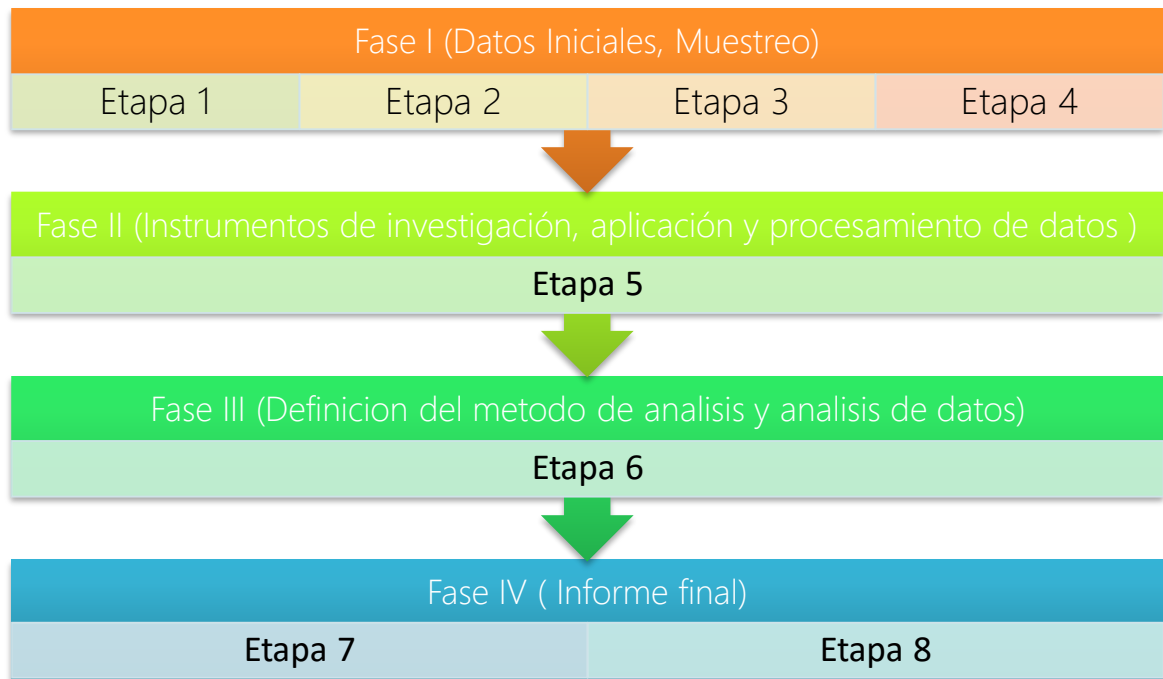
Sobre la base de las ideas anteriormente expuestas, Moreno, (2015) indica que para la sociedad compleja estudiada en Los Teres, el uso fue quizás la mayor preocupación de la comunidad, ya que debido a la escases de agua, y a los prolongados veranos, es decir a la ausencia de fuentes hídricas suficientes para su demanda, incluso sin abastecer a una pequeña población, como lo fue la que habitó este territorio, gran parte de las cerámicas fueron destinadas como contenedores funcionales, con características tecnológicas que les permitía recoger distintas sustancias líquidas que exigían durante el tiempo de cocción y tratamiento de la superficie, para impermeabilizar las paredes de estas cerámicas. El aprovisionamiento, abastecimiento, y transporte a los sitios de residencia o cultivo

fue una labor cotidiana y probablemente difícil debido a lo mencionado anteriormente. Lo que se evidencia en ciertos grupos y unidades cerámicas encontradas las cuales son más fuertes delgadas y sólidas, con respecto a otros grupos y unidades de mayor capacidad y menor dedicación y esmero en la fabricación. Lo que prevenía la fermentación del líquido y la acción de parásitos. Las cerámicas en Los Teres también eran destinadas al almacenaje de alimentos perecederos y de granos, para espaciar su uso en el tiempo y con ello tener seguridad alimentaria. Estas controlaban agentes externos perjudiciales tales como roedores o insectos, y protegían el alimento de bruscas fluctuaciones de temperatura. Por otra parte, las cerámicas encontradas en los Teres reflejan un uso doméstico en la preparación de alimentos al fuego (Moreno, 2015).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 DISEÑO METODOLÓGICO

Para el diseño metodológico de esta investigación se tiene como punto de partida el modelo de investigación de Razo, (2011). Este modelo se simplifica y se adapta para la presente investigación en 4 fases principales. Dentro del marco de estas 4 fases, se subdivide la investigación en etapas, adaptándolas a las etapas de la metodología de investigación dadas por Razo, (2011).



Se explican detalladamente las etapas a seguir en esta investigación a continuación:

FASE I

Etapa 1 Planteamiento del problema

- Planteamiento de la problemática
- Definición del problema de estudio
- Planteamiento y delimitación del problema de investigación

- Determinación del objeto de estudio

Etapa 2 Definición del marco teórico conceptual

- Estado del arte sobre la problemática de estudios
- Identificación de antecedentes de la problemática
- Identificación del marco teórico conceptual

Etapa 3 Definición de los objetivos de estudio.

- Definir el objetivo general.
- Definir los objetivos específicos.

Etapa 4 Formulación de hipótesis y definición de muestras.

- Formulación de las hipótesis de trabajo.
- Definición de la muestra de población en estudio de las cerámicas arqueológicas (C.A.).

FASE II

Etapa 5 Recopilación de información

- Diseño de métodos e instrumentos de recopilación y análisis de datos de las C.A.
- Recopilación de información obtenida en los análisis de las C.A.
- Fase de Campo, recopilación de la información obtenida y análisis de las muestras.

FASE III

Etapa 6 Análisis e interpretación de datos.

- Tabulación y concentración de datos obtenidos en las C.A por tratamiento estadístico.
- Análisis de información.
- Determinación de grupos por características comunes.
- Estimación de la temperatura y condiciones de cocción.
- Sugerencia de la posible proveniencia regional.

Fase IV

Etapa 7 Comprobación de hipótesis, teorías y conceptos.

- Evaluación y análisis de resultados obtenidos de las C.A y las muestras de arcilla.
- Comprobación de hipótesis.
- Conclusiones del estudio.

Etapa 8 Difusión de resultados.

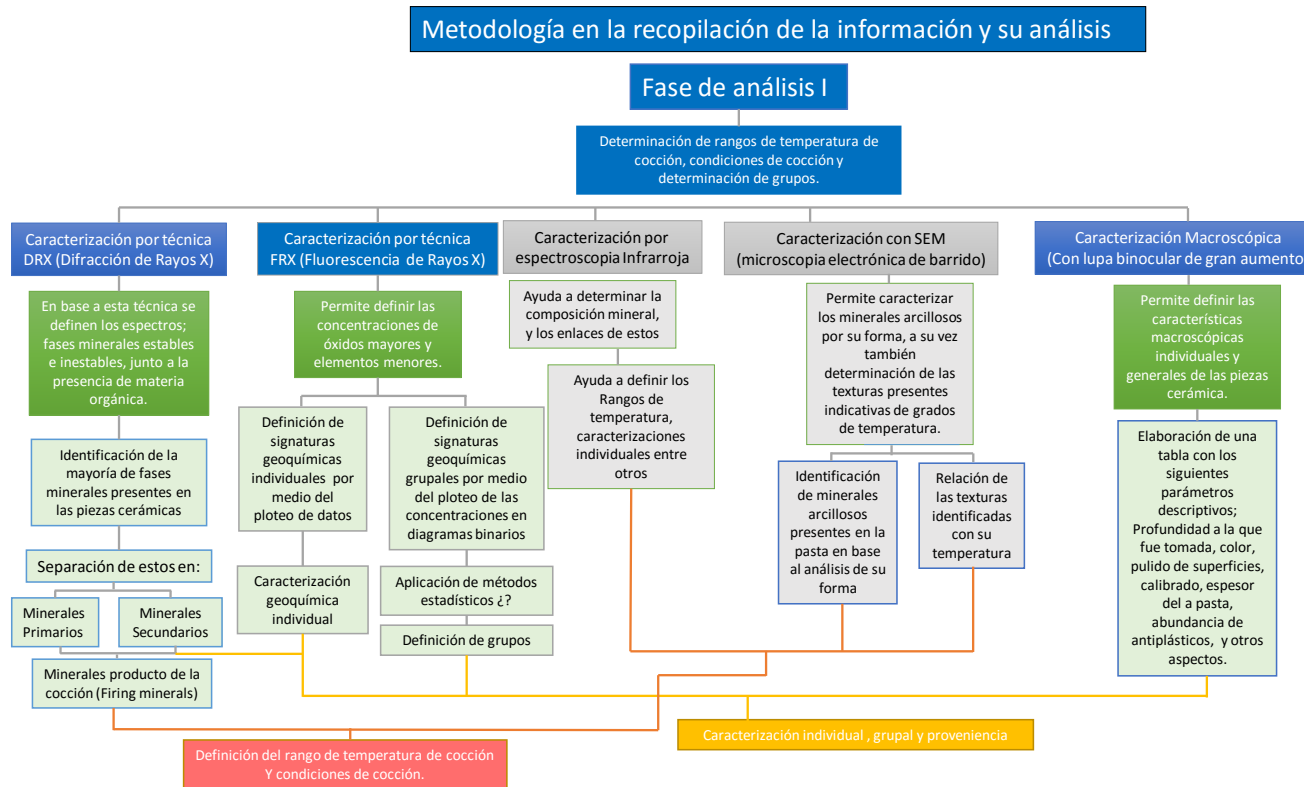
- Elaboración del informe de proyecto de grado II.
- Presentación y exposición de resultados ante el comité evaluador.

Como seguimiento de esta actividad y supedita a las 4 fases principales, la planeación en el tiempo y el avance estuvo regida de la siguiente manera:



Los siguientes gráficos proporcionan más información de las etapas 5 y 6 que hacen parte de las fases II y III, los análisis se llevaron a cabo en 2 etapas, la primera de ellas contemplo el análisis y la interpretación de los datos proporcionados por las cerámicas, y la otra los datos proporcionados por el análisis del recurso arcilloso de fuentes locales.

Figura 4. Metodología en la aplicación de diversos métodos de análisis para el estudio de las piezas arqueológicas y muestras de arcilla.

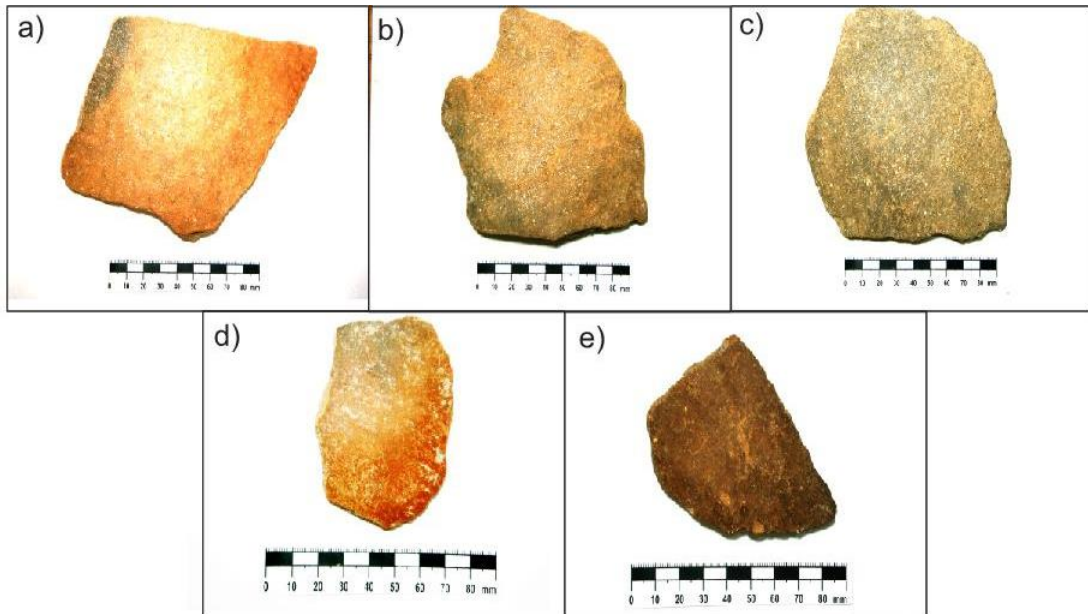


6.2 PIEZAS DE CERÁMICA ANALIZADAS

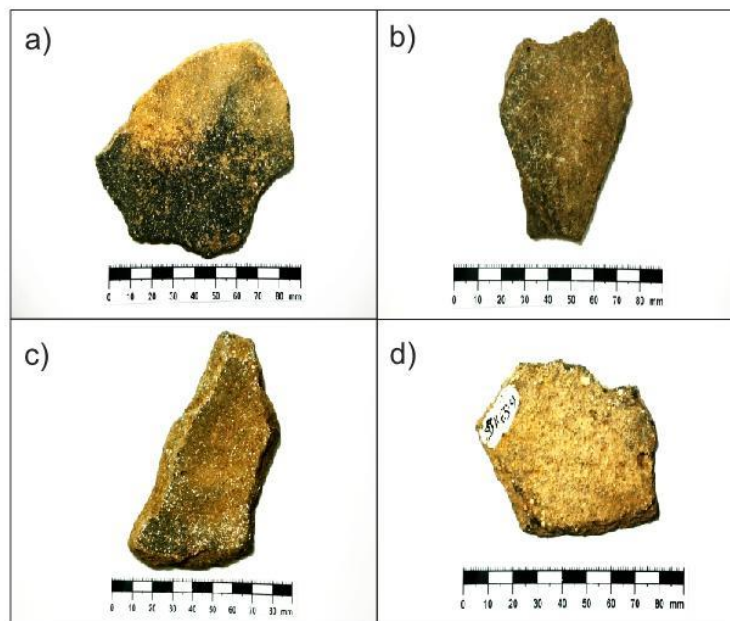
De un total de 70 piezas proporcionadas por el museo arqueológico del Gran Santander del corte II, que fueron descritas macroscópicamente, con la ayuda de un formato creado para este fin, 14 piezas cerámicas fueron seleccionadas y analizadas usando diversas técnicas. Estas piezas fueron escogidas en base al principio de representatividad en el cual se intentó abarcar todo el sistema cerámico planteado para Los Teres.

Las piezas analizadas fueron del Grupo Rojo la A2-1 subgrupo naranja, unidad naranja ambas caras (AC), F2-2 subgrupo intenso, unidad intenso(AC), A3-4 subgrupo mate, unidad mate (AC), D2-11 subgrupo naranja sin mica, unidad naranja (AC), B2-2 subgrupo intenso sin mica, unidad intenso (AC) , del Grupo Gris la D4-4 subgrupo gris oscuro, unidad gris oscuro (AC), B5-6 subgrupo gris oscuro sin mica, unidad gris claro cara externa (CE) , F3-3 subgrupo gris claro, unidad gris claro (AC), E5-4 subgrupo gris claro sin mica, unidad gris claro (AC), del Grupo Negro la B4-6 subgrupo negro, unidad negro (AC), A2-4 subgrupo negro sin mica, unidad negro (AC), del grupo Café la C3-3, subgrupo café, unidad café (AC), A4-4, subgrupo café sin mica, , unidad café (AC), y del grupo Marrón Rojizo la D2-6 subgrupo marrón rojizo, unidad marrón rojizo (AC). Siendo principalmente ambas caras con el objetivo de que el engobe no interfiriese en los análisis, y así representando casi la totalidad de todos los grupos cerámicos planteados para Los Teres. La pieza cerámica A4-4 se analizó solo por medio de DRX cuantitativo, con el principal fin de comprobar sus contenidos en moscovita

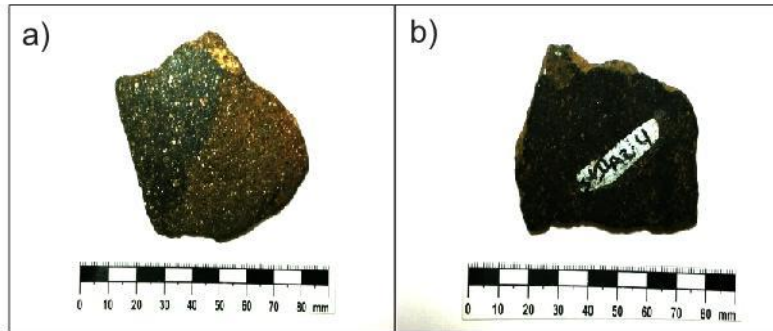
Fotografía 4. Piezas cerámicas analizadas del grupo Rojo: a) A2-1(1), b) F2-2 (9), c) A3-4(17), d) D2-11(25) y e) B2-2(33).



Fotografía 5. Piezas cerámicas analizadas del grupo Gris a) D4-4(49), b) B5-6(57), c) F3-3(65) y d) E5-4(73).



Fotografía 6. Piezas cerámicas analizadas del grupo Negro a) B4-6(81) y b) A2-4(89).



Fotografía 7. Piezas cerámicas analizadas del grupo Café a) C3-3(97) y b) A4-4(105).



Fotografía 8. Piezas cerámicas analizadas del grupo Marrón Rojizo, D2-6(113)



6.3 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Los fragmentos cerámicos fueron colectados de la excavación II, con coordenadas UTM 18 N 707199, 748589 E, en la finca conocida como “El Mirador”. Después de colectados fueron secadas a temperatura ambiente, el material del entorno de los fragmentos cerámicos, materiales circundantes producto del enterramiento encontrados en los fragmentos tales como suelo, capas de arcilla, arena etc. Fueron removidos cuidadosamente por medio de higienización con agua corriente, con el uso de cepillos, y secados de nuevo al aire. Una vez removida la humedad y el material del entorno, fueron seleccionadas con ayuda de los arqueólogos un total de 70 piezas cerámicas en base al principio de representatividad. Estas fueron descritas con ayuda de un formato creado para tal fin, y se seleccionaron 14 piezas cerámicas las cuales fueron encaminadas para la caracterización geoquímica y mineralógica.

Figura 5. Flujoograma que representa la síntesis de las actividades desempeñadas



Fotografía 9 y 10. Los puntos de recolección de material arcilloso, a la izquierda puede ser apreciado el área contigua a la excavación, evidente por la presencia de pequeños fragmentos cerámicos, y como fue la recolección de esta muestra. A la derecha el segundo punto de recolección distante a ~ 6 Kilómetros de la excavación.



Las muestras de material arcilloso fueron recolectadas en dos sitios, el primero de ellos en el área contigua a la excavación (Figura 7) con coordenadas 18 N 0767305, 0748589 E, y hace parte de un suelo desarrollado sobre la formación Rosablanca, en la cual se encuentra ubicada esta excavación, y el segundo con coordenadas 18 N 709857, 753855 E, en un afloramiento con alto contenido de material arcilloso el cual hace parte de la formación Los Santos, y es muy conocido por los locales por ser un sitio con abundante material arcilloso. Este segundo sitio dista alrededor de 6 kilómetros de la excavación II.

Ahora bien, la metodología de preparación de las piezas cerámicas para los análisis DRX, FRX, e IR fue básicamente la misma, cada muestra se pulverizó después de remover las capas externas de las cerámicas, con el fin de evitar alguna contaminación por sustancias externas que podrían modificar los resultados. Esta remoción de capas externas no se realizó en los análisis de DRX cuantitativo ni tampoco en los análisis SEM y de FRX con tratamiento muestral.

6.4 PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

Los análisis de las piezas cerámicas fueron llevados a cabo en el Parque Tecnológico Guatiguará (UIS) y fueron auspiciados por la Universidad Industrial de Santander.

6.4.1 Análisis por difracción de rayos X (DRX). Cualitativo. Los minerales tanto de las piezas cerámicas como de las muestras arcillosas fueron determinados según el método de polvo, usando un difractograma de polvo marca Bruker modelo D8 Advance con geometría DaVinci, voltaje: 40 (kV), corriente: 30 (mA), rendija de divergencia: 0,6 mm, rendijas Soller primario: 2,5°, muestreo: 0,01526°²theta, rango de medición: 3,5°-70°² theta, radiación: CuK α , filtro: Níquel, con uso de Anti-dispersor de Aire, detector: Lineal LynxEye tipo de barrido A pasos y un tiempo de muestreo de 0,4 segundos. La identificación mineralógica se realizó mediante la comparación de los espectros con los reportados en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD).

6.4.2 Análisis por difracción de rayos X (DRX). Cuantitativo. Este análisis fue aplicado a 7 piezas cerámicas, A2-1 (1), F2-2 (9), D4-4 (49), D2-6 (113), y D2-11 (25), B5-6 (57), A4-4 (105), cuatro de ellas clasificadas en el sistema alfarero como con moscovita, y tres sin moscovita. En estas no fue removida las capas externas, ya que uno de los objetivos fue analizar el cuerpo cerámico con engobe. Inicialmente, las piezas fueron molturadas en un mortero de acero. Posteriormente, los especímenes seleccionados de las piezas, fueron molturados y homogenizados en un mortero de ágata y llevados a un tamaño de partícula menor a 38 μ m (400 mesh). Los especímenes seleccionados fueron montados en un portamuestra de polimetilmetacrilato (PMMA) mediante la técnica de llenado frontal.

Fue usado un Voltaje de 40 (kV), corriente de 30 (mA), rendija de divergencia: 0,6 mm, rendijas Soller primario: 2,5°, muestreo de 0,02035 °theta, rango de medición: 3,5°-70°² theta, radiación de CuK α , filtro: Níquel, con uso de Anti-dispersor de Aire, detector: Lineal LynxEye tipo de barrido A pasos y un Tiempo de muestreo de 0,6 segundos.

El análisis Cuantitativo se realizó de manera similar al anterior, los análisis cuantitativos de las fases encontradas se realizaron mediante el refinamiento por el Método de Rietveld del perfil observado habiéndole agregado a los especímenes una cantidad conocida de un estándar interno (Aluminum oxide, Corundum, α -phase) correspondiente al 20,30; 20,78; 20,16 y 20,06% respectivamente.

6.4.3 Análisis por fluorescencia de rayos X. Los análisis por medio de fluorescencia de rayos X, se realizaron sin tratamiento muestral sobre las piezas (A2-1 (1), F2-2 (9) , A3-4 (17),B2-2 (33),D2-11 (25), D4-4 (49), B5-6 (57), F3-3 (65),E5-4 (73), B4-6 (81), C3-3 (97), D2-6 (113), A2-4 (89)), y un segundo análisis con tratamiento muestral y calcinación posterior se realizó sobre las piezas cerámicas (A2-1 (1), F2-2 (9), D4-4 (49), D2-6 (113), y D2-11 (25), B5-6 (57), A4-4 (105)), las cuales fueron las mismas piezas analizadas haciendo uso de DRX cuantitativo.

Los análisis cuantitativos se realizaron mediante el método QUANT-EXPRESS (Parámetros Fundamentales) en el rango de sodio (Na) a Uranio (U), en un espectrómetro secuencial de Fluorescencia de Rayos-X de Longitud de Onda Dispersiva de 4KW marca BRUKER modelo S8 TIGER. El Tipo de detector: fue centelleo (para elementos pesados) y flujo (para elementos livianos), fuente de rayos-X: tubo de rodio (Rh)., y se usó un goniómetro de alta precisión para ángulos theta y 2 theta. En las primeras trece muestras se removieron las partes externas y se pulverizaron usando un mortero de ágata, mas no se realizó sobre ellas ningún tratamiento muestral. Para las siete muestras del segundo análisis no fueron removidas las capas externas, se realizó un molturado y tamizado. Después se sometieron a un proceso térmico de calcinación de la muestra a 950 °C durante dos horas con un calentamiento desde temperatura ambiente hasta 950 °C por 5 horas, para obtener el porcentaje de pérdida por ignición (L.O.I).

6.4.4 Análisis por medio de espectroscopía Infrarroja (IR). Los análisis de 13 piezas cerámicas pulverizadas a las cuales se les eliminaron las capas superficiales (A2-1 (1), F2-2 (9) , A3-4 (17),B2-2 (33),D2-11 (25), D4-4 (49), B5-6 (57), F3-3 (65),E5-4 (73), B4-6 (81), C3-3 (97), D2-6 (113), A2-4 (89)), se realizaron con el espectrómetro FT-IR Thermo Scientific Nicolet iS50 equipado con una fuente de IR medio de larga duración Polaris, un 896 interferómetro, un detector DLatGs y una velocidad óptica 0.47 cm/s².

El espectro se obtuvo cubriendo un rango de 4000-400 cm^{-1} . Teniendo en cuenta que los picos de absorción más significativos según los análisis previos realizados en arqueometría y según lo que se observa en los resultados de este proyecto, el rango adecuado para analizar los resultados de IR de las piezas de cerámicas es de 1600-400 cm^{-1} . El espectro fue utilizado en una resolución de 200 escaneos donde se adicionan y miden con la transformada de Fourier para disminuir el ruido que se obtiene.

6.4.5 Análisis por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS). Los análisis de microscopía electrónica fueron realizados en un Microscopio Electrónico de Barrido, FEI Quanta 650 FEG ambiental (ESEM) con un Detector EDAX APOLO X (resolución de 126.1 eV (en. Mn $K\alpha$)) para análisis EDS. Las muestras analizadas fueron; fragmentos de las piezas cerámicas con un tamaño alrededor de 3 a 5mm. Antes de ser introducidas al microscopio, estas muestras fueron recubiertas con grafito, el equipo utilizado para recubrir fue un Metalizador/Evaporador de carbón QUORUM Q150R ES con bomba rotatoria. Acoplado al microscopio electrónico de barrido se utilizó la espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS)

6.4.6 Software para los análisis de resultados. El análisis de los resultados se llevó a cabo usando el software Origin Pro 2016™ el cual es un software usado para graficar y el analizar de todo tipo de datos. Este permitió realizar gran parte de las gráficas aquí mostradas y permitió el análisis avanzado de datos para estadística multivariable. A su vez una versión más antigua de este software Origin Pro 8™ fue usada en los análisis de los datos arrojados por la espectroscopía infrarroja. También se utilizaron Microsoft© Excel en el análisis de los datos de fluorescencia y Triplot™, para la representación de los diagramas ternarios. El manejo de las fuentes bibliográficas se realizó en Mendeley™, software especializado para tal fin.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 APLICACIÓN DE DRX CUALITATIVO EN EL ESTUDIO DE LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS.

La Tabla 1 muestra la composición mineral de las cerámicas arqueológicas analizadas con la técnica de Difracción de Rayos X (DRX).

Al revisar la mineralogía de las muestras analizadas se observa que los minerales comunes en los grupos cerámicos analizados son la plagioclasa sódica tipo albita $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$, cuarzo SiO_2 , la moscovita $\text{KSi}_3\text{O}_8(\text{OH})_2$, distintos minerales pertenecientes a los feldespatos potásicos KAlSi_3O_8 , tales como la microclina, ortoclasa, y sanidina. Carbonatos tipo calcita CaCO_3 Calcita Magnesia $(\text{Mg}_x\text{Ca}_y)(\text{CO}_3)$ y dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, y minerales de hierro tales como la magnetita Fe_3O_4 y la hematita Fe_2O_3 . Llama la atención la presencia de moscovita en todos los grupos cerámicos que fueron catalogados por los arqueólogos como sin mica.

- El grupo Rojo está caracterizado por la presencia en todas las muestras analizadas de plagioclasa sódica, feldespato potásico tipo microclina, otros minerales principales como cuarzo, moscovita, calcita como carbonato predominante y otros minerales ocasionales, llama la atención la presencia de moscovita en los tipos cerámicos rojos que están clasificados como sin mica.
- El grupo Gris está caracterizado por una ausencia de minerales carbonatados, y una amplia presencia de cuarzo, moscovita, y albita, la magnetita es predominante, los minerales arcillosos están representados por la caolinita y el talco, que aparecen únicamente en la unidad gris claro, catalogado en el subgrupo sin mica.

- El grupo negro mineralógicamente está caracterizado por la presencia de carbonatos tipo calcita magnesiana, los minerales indicadores de condiciones de cocción están ausentes, feldespatos potásicos tales como la ortoclasa y la sanidina, están presentes. La unidad negro tipo sin mica, no tiene ni albita, ni microclina, lo que marca un patrón mineralógicamente distinto a la otra muestra del grupo negro analizada.
- El grupo Café está caracterizado por la presencia de magnetita, la presencia de los minerales comunes a todos los grupos; albita, microclina, moscovita y cuarzo. Carbonatos tipo calcita magnesiana, y la ausencia de otros minerales.
- El grupo Marrón Rojizo está caracterizado por la presencia de dolomita, minerales indicadores de ambiente de cocción juntos; magnetita y hematita, la presencia usual de moscovita, pero a su vez también la presencia de biotita, y la presencia de dos minerales arcillosos; la caolinita, y la montmorillonita.

Las abreviaciones son las siguientes: Albita (Ab), Anatasa (Ant), Antartita (Anta), Aluminio Silicato de potasio (K-Als), Biotita (Bt), Braunita (Bra), Calcita (Cal), Calcita Magnesiana (Cal-Mg), Caolinita (Kln), Cuarzo (Qz), Cummingotinta (Cum), Dolomita (Dol), Fosagita (Fos), Goetita (Gt), Hematita (Hem), Heulandita (Hul), Hornblenda Magnesiana (Mg-Hbl), Leucita (Lct), Magnetita (Mag), Microclina (Mic), Moscovita (Ms), Ortoclasa (Or), Rutilo (Rt) Sanidina (Sa), Talco (Tlc). Fueron escritas siguiendo la lista de abreviaciones de Whitney and Evans, (2010).

Cabe anotar que en el análisis DRX, apareció sulfato de potasio y manganeso tetrahidratado en la muestra F2-2, que hace parte de la unidad Rojo Intenso de serial 9. También la sanidina que aparece en la pieza E5-4 la cual hace parte de la unidad Gris Claro de serial 73, es de tipo férrica. Las siguientes muestras II B4-6 que hace parte de la unidad negro de serial 81, A2-4 que hace parte de la unidad negro tipo sin mica, y C3-3 que hace parte de la unidad Café de serial 97 poseen calcita magnesiana, la cual por espacio fue agregada en la casilla de la dolomita.

7.2 ANÁLISIS DE FASES MINERALES

Indagando en la literatura se encuentra que De Benedetto et al., (2002) clasificó los minerales encontrados en las cerámicas arqueológicas en minerales primarios, que son los que estuvieron presentes en el material en bruto, los minerales secundarios que son los formados después de la producción de las vasijas, durante su uso, y principalmente durante su enterramiento, como un resultado, ya sea de la transformación de minerales de cocción metaestables, o por la infiltración de alguna sustancia. Y los minerales de cocción, que son los indicadores de las máximas temperaturas alcanzadas, y son formados por reacciones termalmente inducidas. La importancia de esto radica en que la composición mineralógica final estará relacionada con la temperatura de cocción alcanzada.

De los datos mineralógicos de las piezas de cerámicas se percibe la ausencia de minerales, como la Mullita, mineral usual en las porcelanas, la cual se desarrolla en los últimos estadios de temperatura, y la tridimita-cristobalita que indican temperaturas superiores a 900°C (Graves, 2010; Szilágyi, 2011; Rathossi and Pontikes (2010)) entre otros. El diópsido ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) se desarrolla luego de los 850 °C, y es creado a partir de material arcilloso a altas temperaturas, la wollastonita (CaSiO_3) se forma en temperaturas superiores a 950 °C en la presencia de suficiente sílice y suficientes cantidades de calcio, que provoca el rompimiento de la gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{SiAl})\text{O}_7$), y provee anortita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) y wollastonita. La wollastonita también puede ser creada a partir de 800-850 °C a partir de sílice, CaO y el producto del rompimiento de la fracción arcillosa amorfa (Holakooei, 2014). Un mineral del grupo de la wollastonita, la fosagita ($\text{Ca}_4\text{Si}_3\text{O}_9(\text{OH})_2$) aparece en la pieza analizada de la unidad negro, que contiene mica y es del grupo negro, A2-4 (89), indicando temperaturas cercanas a 800 °C, para esta unidad.

Cabe aclarar que el análisis de los datos obtenidos aplicando espectroscopia Infrarroja se encuentran pequeñas cantidades de diópsido, wollastonita, gehlenita y anortita en la mayoría de las piezas cerámicas, los cuales no fueron contemplados en el análisis por medio de la difracción de rayos, y es un indicativo que posiblemente las temperaturas alcanzadas en algunas de estas piezas cerámicas pasan los 800 °C.

Tabla 1. Representación de las fases cristalinas identificadas en el primer análisis de DRX

Grupo	Subgrupo	Unidad /Serial	Código de la Muestra	Ab	Ms	Mic	Qz	Cal	Dol	Mag	Hem	Bra	Kln	Mnt	Ant	Anta	K-Ais	Bt	Cum	Fos	Gt	Hul	Mghbl	Lct	Or	Rt	Se	Tic		
Rojo																														
	Naranja	Naranja (AC)/(1)	A2-1	*	*	*	*	*		*					*						*									
	Intenso	Intenso (AC)/(9)	F2-2	*	*	*	*	*															*			*				
	Mate	Mate (AC)/(17)	A3-4	*		*		*		*					*															
	Naranja sin mica	Naranja (AC)/(25)	D2-11	*	*	*	*				*				*						*									
	Intenso sin mica	Intenso (AC)/(33)	B2-2	*	*	*	*					*	*																	
Gris																														
	Gris Oscuro	Gris Oscuro (AC)/(49)	D4-4	*	*	*	*			*														*			*			
	Gris Osc sin mica	Gris claro (CE)/(57)	B5-6	*	*	*	*			*	*		*						*				*						*	
	Gris Claro	Gris claro (AC)/(65)	F3-3	*	*		*			*							*													
	Gris cl sin mica	Gris Claro (AC)/(73)	E5-4	*	*	*	*																					*		
Negro																														
	Negro	Negro (AC)/(81)	B4-6	*	*	*	*		*												*					*				
	Negro sin mica	Negro (AC)/(89)	A2-4		*		*		*																			*		
Café o Crema																														
	Café	Café (AC)/(97)	C3-3	*	*	*	*		*	*																				
Marrón																														
	Marrón Rojizo	Marrón Rojizo (AC)/(113)	D2-6	*	*		*		*	*	*		*	*			*	*												

En las arcillas pobremente carbonatadas es usual encontrar a parte de Mullita y cristobalita, corindón en poca proporción y solo a partir de mezclas ricas en mica, y pobremente cristalizadas fases de espinela entre los 1000-1100 °C (Graves, 2010).

La amplia presencia de minerales carbonatados en los grupos Negro, Café y Marrón, y en 3 de las 5 unidades del grupo rojo, indican la posible presencia de este mineral como mineral primario, que puede venir del material arcilloso con el cual fueron fabricadas estas piezas y no como calcita secundaria, producto del enterramiento. El significado de estos minerales carbonatados en las temperaturas de cocción de las piezas, indica temperaturas menores de 700 °C. Al respecto Graves, (2010) analizó la relación de estos minerales con la temperatura en composiciones de mármoles, concluyendo que la calcita en especial la de grano fino inicia a descomponerse a los 600 °C, se acelera esta descomposición a los 650 °C, y es completada en los 700 °C. Para muchos autores la temperatura máxima después de la cual no es usual encontrar calcita, son los 900 °C. (Holakooei, 2014; Teoh et al., 2014; Velraj, 2015; Akyuz et al., 2008; Ravisnkar et al., 2014; Rathossi and Pontikes, 2010; Iordanidis et al., 2008).

Ahora bien, la presencia de calcita magnesiana y dolomita en las piezas analizadas del grupo negro, café y marrón, es indicativo de temperaturas un poco menores de las que indica la calcita. Ya que, según Graves, (2010) la dolomita inicia su descomposición entre 500 y 550 °C, y es completada a los 650 °C. Según Cultrone et al., (2001) esta temperatura de descomposición es un poco mayor, comenzando su descomposición a temperaturas ≥ 700 °C, alcanzando está a los 800 °C, después de los cuales, es probable que no haya dolomita. Para Trindade et al., (2009) la dolomita permanece inalterada hasta los 600 °C, a partir de la cual se convierte en inestable, permaneciendo hasta los 800 °C.

En un principio se pensó que esta calcita magnesiana, era una fase intermedia en el proceso de descomposición de la dolomita, por ende, la dolomita había sido la fase inmediatamente anterior, pero en comunicación escrita con Cultrone (comunicación personal, 11 de Julio de 2016). se aclara esta idea, y se asume que esta calcita magnesiana se trata de una fase mineral originaria, la cual no llegó a descomponerse, debido a una cocción a temperatura ya sea baja o tan rápida que no se haya podido alcanzar la misma temperatura en toda la pieza. Según Cultrone,

(comunicación personal, 11 de Julio de 2016) al descomponerse la dolomita da lugar directamente a MgO y CaO sin pasar por fases intermedias, para luego tomar caminos diferentes formando silicatos. Incluso si no reaccionaran con la sílice, otros silicatos no se volverían a mezclar, y no crearían fases intermedias. A partir de esta realidad se consideran los minerales carbonatados presentes en la cerámica, como minerales primarios, u originales de la materia prima.

El cuarzo aparece en casi todas las piezas excepto en la pieza analizada de la unidad mate, del grupo rojo. Este cuarzo es de tipo bajo o cuarzo α , el cual, según Morales, (2008) después de cerca de 575 °C, pasa a cuarzo tipo alto, o cuarzo β , y continua así hasta los 870°C, después del cual da origen a la trimidita. En el estudio de los materiales cerámicos el cuarzo es conocido por su reducida reactividad e inalterabilidad, tendiendo a mantener su morfología, y su estructura, a pesar de altos cambios de temperatura. En este sentido, el cuarzo α , encontrado en las piezas, refleja temperaturas no muy altas de cocción, pero bien puede reflejar temperaturas mucho mayores al límite de 575 °C, ya que este leve cambio de estructura de cuarzo α a cuarzo β , puede no verse evidenciado por muchos factores, ya sea por el gran tamaño, que en algunas piezas llega a los varios milímetros de espesor, o por las condiciones de cocción, y presiones atmosféricas. En este contexto según Lordanis et al., (2008) anota que la presencia de cuarzo indica temperaturas menores a 900 °C, que concuerda con lo dicho por el autor anterior.

Aunque si bien, las capas externas fueron removidas con el objetivo de eliminar sustancias o minerales extraños de los análisis, la presencia de un mineral raro, como un cloruro hidratado de calcio conocido como antarctita ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), en la pieza analizada de la unidad gris claro del grupo gris (F3-3 (65)), es evidencia de minerales secundarios en esta pieza de cerámica, producto del enterramiento.

Del mismo modo la presencia de un extraño mineral como la manganleonita $\text{K}_2\text{Mn}(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_4$, categorizada en el análisis de difracción como sulfato de potasio y manganeso tetrahidratado, el cual varia de la leonita $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_4$, un mineral del grupo de la blodita, por el reemplazo del magnesio por el manganeso. Al revisar la literatura acerca de este mineral, se encuentra en Onac et al., (2001) que la leonita no es estable a temperaturas superiores a las temperaturas de diagénesis y se crea naturalmente a partir de la deshidratación de salmueras, agua

contenida en lagos, o infiltración de agua subterránea rica en sales. Para este caso la manganleonita encontrada en la pieza analizada del subgrupo rojo intenso (F2-2 (9)), puede haber sido creada por la infiltración de soluciones ricas en potasio y manganeso. Ahora bien, en el contexto de las piezas, ya que el sulfato de potasio $K_2(SO_4)$ es usado comúnmente como fertilizante, la cristalización de este mineral puede haber sido dada por la evaporación de sustancias fertilizantes. Lo cual es muy posible teniendo en cuenta el clima principalmente árido de la zona, y la poca profundidad a la cual fue encontrada esta pieza (25-30 centímetros).

La braunita $(Mn_2O_3)_3MnSiO_3$, fue encontrada en la pieza analizada de la unidad intenso, subgrupo intenso sin mica del grupo rojo (B2-2 (33)), y probablemente este mineral proporciona un tono ligeramente más oscuro a la pieza. Como la presencia de manganeso en esta pieza (0.09 %) es cercano al valor promedio de manganeso de todas las piezas analizadas (0.086 %), y la no presencia de otros silicatos de manganeso. Es posible que la braunita encontrada en esta pieza sea un mineral secundario producto de las condiciones de enterramiento a las que fue expuesta, o un mineral primario ya que la braunita tiene una amplia ventana de estabilidad.

También puede haber sucedido según Augustithis, (1995) que el metamorfismo (con metamorfismo se quiere indicar un tipo especial de alta temperatura, baja presión) de los más altos óxidos de manganeso Mn^{+4} , comunes en los depósitos sedimentarios, se transformen a Mn_2O_3 , y se combinen con sílice para formar braunitas tipo $3(MnFe)_2O_3MnSiO_3$ e indique la presencia de este mineral en un ambiente reductor para la pieza. No obstante, esto parece poco probable para este caso debido a que la braunita encontrada en esta pieza, fue la única encontrada en el total de las piezas analizadas, y no contiene hierro como impureza, junto a la poca presencia de manganeso en la pieza, y la presencia de manganleonita en la pieza analizada de la unidad Rojo intenso con mica, hace pensar que estos minerales y compuestos que contienen manganeso en su estructura, son producto de transformaciones secundarias, dadas probablemente por el enterramiento o posiblemente sea parte de los minerales primarios.

Las formas minerales del dióxido de titanio TiO_2 , están presentes en la mayoría de piezas analizadas del grupo rojo, y están ausentes en la pieza analizada del subgrupo intenso sin mica (B2-2 (33)) y en los demás grupos. Estas formas minerales son la anatasa, y el rutilo, este último aparece únicamente en la unidad rojo intenso. Y parece ser el responsable del color ocre un poco más oscuro en esta

pieza. Estos minerales pueden ser minerales primarios, los cuales posiblemente tenían presencia en la materia prima, con la que fueron fabricadas las piezas del grupo rojo.

En consideración a estos polimorfos del dióxido de titanio Liou, (2015), señala que la anatasa es un mineral primario, estable y con bastante dureza, el cual permanece en fase residual de la transformación cristalina, por ende, este mineral es un componente común en los suelos. Lo que concuerda con la amplia presencia de este mineral en el grupo rojo. También agrega este autor que, al estar la anatasa presente, puede indicar una temperatura de cocción por debajo de la fase de transición anatasa-rutilo en el rango de los 750-950 °C. Este autor también destaca que la presencia de rutilo podría ser indicativa de una temperatura dentro del rango de esta transición. Sin embargo, este rutilo, también puede haber venido de la materia prima, y al tener un rango de estabilidad grande, no es prudente para el presente estudio, asignar este mineral al campo de los minerales neo formados por productos de la cocción.

El mineral magnesio-hornblenda $\text{Ca}_2\text{Mg}_4(\text{AlFe}_{+3})\text{Si}_2\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$ fue encontrado únicamente en una pieza, y fue asignado como mineral primario, ya que este mineral no se presenta en el estudio de cerámicas. Al ser un mineral corriente en rocas ígneas o metamórficas probablemente refleja una composición mineralógica de la materia prima, pero al ser extenso la variedad de rocas en las que podemos encontrar este mineral, no se asigna a una fuente específica.

Al revisar la literatura acerca del mineral del grupo de las zeolitas encontrado en la pieza analizada del subgrupo gris oscuro sin mica (B5-6 (57)), conocido como la Heulandita ($\text{Na}_{26}\text{K}_{0.89}\text{Ca}_{3.37}\text{Sr}_{0.24}\text{Ba}_{0.03}\text{Al}_{9.48}\text{Si}_{26.61}\text{O}_{72}(\text{H}_2\text{O})_{24.84}\text{H}_{1.03}$), se encuentra que según Krivenko et al., (2008) las zeolitas cristalizan a temperaturas de 100 a 300 °C y a presiones bajas como la presión atmosférica. La heulandita cristaliza según este autor a temperaturas menores de 250 °C, lo cual es muy bajo para considerar esta como un mineral de cocción. El comportamiento termal de las zeolitas según Rincón y Romero, (2013) tiene diez características principales, entre las que se encuentra la pérdida de agua, que incluye la deshidroxilación, proceso el cual se da para la heulandita a temperaturas calculadas por estos autores de entre 207 °C a 347 °C y recristaliza, usualmente a feldespato potásico, a una temperatura de 987 °C. Cabe decir que al analizar esta pieza en el análisis DRX cuantitativo fue

encontrada la zeolita Chabazita y no la heulandita, más se continua con el argumento ya que este mineral posee el comportamiento de su grupo.

En atención a lo señalado se considera que la heulandita/Chabazita no es un mineral producto de la cocción ni un mineral primario, podría ser un mineral secundario el cual estaría presente en esta pieza por dos procesos principales: a) Por la deshidroxilación de esta zeolita, debido a que la temperatura de cocción de esta pieza supera el rango de temperatura planteada por Rincon y Romero, (2013) el cual es bajo para la cocción de este tipo de cerámicas, y la hidratación de la misma en un proceso posterior. O por la contaminación de la pieza durante el enterramiento a la que fue expuesta.

Al principio, se pensó que las fases arcillosas cristalinas serían las fases minerales más abundantes presentes en las cerámicas, pero los análisis cualitativos de DRX reflejaron que estas fases son escasas. Al indagar acerca de la explicación de esta escases de minerales arcillosos en cerámicas que provienen de materiales arcillosos, se encuentra que según Shoal, (1994) durante la transformación por medio de la cocción de la pasta arcillosa por procesos de deshidratación, y deshidroxilación de minerales arcillosos, al igual que la formación de materia no cristalina, amorfa a los rayos X suelen ocurrir. Del mismo modo después de la cocción algunos minerales de arcilla en la materia coccida, puede rehidroxilizarse y reconstruirse. Los análisis cuantitativos de DRX realizados en 7 piezas mostraron que la fase cristalina de la totalidad de las piezas analizadas es solamente ligeramente más abundante que la fase amorfa, lo que está de acuerdo con lo dicho por este último autor.

Al respecto Shoal, (1991) anota que existen varias explicaciones para la presencia de arcillas, en antiguas cerámicas, estas son:

1. Minerales de arcilla originales los cuales fueron cocidos a bajas temperatura, pero permanecieron estables, en la materia coccida y no se deshidroxilizaron.

2. Reconstrucción de minerales arcilloso los cuales fueron deshidroxilizados en la cocción y después rehidroxilizados.
3. Minerales arcillosos neoformados, desde la fase vítrea amorfa de la cerámica con alto grado de cocción (desvitrificación).
4. Descomposición de plagioclasa cálcica de alta temperatura y formación de montmorillonita cálcica y calcita, por reacciones de meteorización cuando la cerámica estuvo enterrada.

En atención a lo señalado hay varios indicativos que gran parte de los minerales arcillosos encontrados en la pieza B2-2 (33) cerámica analizada del grupo rojo, unidad intensa sin mica, en la cual contiene caolinita, la pieza B5-6 (57) cerámica del grupo gris, unidad gris oscuro sin mica, la cual contiene caolinita y talco, y por último la pieza D2-6 (113) del grupo marrón, unidad marrón rojizo, la cual contiene montmorillonita y caolinita, están presentes ya sea por un proceso de reconstrucción o porque se encontraban en zonas que pudieron no haber reaccionado a los cambios de temperatura sufridos por el cuerpo, siendo esta cocción no homogénea en todas las zonas del cuerpo cerámico.

- Al analizar por medio de DRX cuantitativo las piezas cerámicas que presentaban contenidos de minerales arcillosos en el DRX cualitativo, estos minerales desaparecieron, lo cual puede ser un indicio del bajo grado de cristalización de éstos, y descartan la hipótesis de neoformación a partir de la fase vítrea.
- Ninguno de los análisis DRX cuantitativos indicó la presencia de plagioclasa cálcica de alta temperatura, pero los análisis de los datos de IR, arrojaron evidencias de estas plagioclasas, oculta probablemente en la materia amorfa, lo cual descarta la formación de estos a partir de plagioclasas cálcica, la cual, si bien se encuentra en algunas piezas cerámicas, su concentración es tan mínima que no es probable que de paso a montmorillonita+calcita.

- Una proporción entre la fase cristalina y la fase amorfa y otros ligeramente mayor a 6:4 indica que la mayoría de esta materia amorfa se creó a partir de la cocción de la cerámica, a una temperatura suficientemente alta, como para deshidratar y deshidroxilizar los minerales arcillosos presentes desde un principio en el material arcilloso con el cual fueron elaborados estas piezas.

De lo anterior se desprende que las fuentes más probables que expliquen la presencia de arcillas, en las cerámicas, son las dos primeras, estando estos minerales producto de la reconstrucción, debido a que la temperatura de cocción refleja temperaturas mayores a las temperaturas de estabilidad de los minerales de arcilla presentes y por la hipótesis que plantea la baja temperatura para la estabilidad mineral, ya que esta última no debe ser descartada, porque si bien la mayoría de los minerales arcillosos, pueden haber sido deshidroxilados, pueden haber quedado zonas en la pieza, en las que la temperatura no fue demasiado alta para que esto ocurriera.

Al respecto del proceso de la deshidroxilación, añade Shoval, (1991) que ésta puede tomar dos caminos, los cuales dependen del grado de destrucción de los minerales arcillosos, incrementando con la temperatura y decreciendo con el grado de cristalinidad. Estos dos caminos son según este autor, el camino reversible, el cual toma lugar en relativas bajas temperaturas de cocción, y permite la rehidroxilación, reconstrucción de minerales arcillosos después de la cocción. Y la deshidroxilación no reversible, que toma lugar a temperaturas de cocción relativamente más altas, y no permite la rehidroxilación, reconstrucción de minerales arcillosos.

Con base en estas consideraciones, es posible que el principal proceso de la deshidroxilación que ocurrió, fue la deshidroxilación no reversible, sin embargo, la presencia de minerales arcillosos en tres de las piezas analizadas y el amplio contenido de materia amorfa a los rayos X, evidenciado con los análisis cuantitativos, hace pensar que si la deshidroxilación reversible ocurrió, lo hizo a partir de los minerales arcillosos parcialmente descompuestos (deshidratados y deshidroxilados) provenientes de la materia prima. En tal sentido los minerales arcillosos presentes en estas tres piezas pueden ser definidos bien como minerales primarios, los cuales no sufrieron procesos de deshidroxilación, o minerales secundarios creados después o inmediatamente posterior a la cocción por procesos de rehidroxilación dados por la hidratación del material.

En cuanto a los feldespatos alcalinos presentes en las piezas cerámicas, los cuales tienden a mantener su morfología y sus contenidos originales, y posiblemente muchos de estos provienen de la materia prima con la cual fueron hechas las cerámicas, algunos de estos parecen indicar que han reaccionado al cambio de temperatura, al cual fue expuesto la materia en su proceso de cocción, reflejando en los análisis DRX, polimorfos, algunos de los cuales podría indicar que las piezas sufrieron picos de temperatura más altos.

La albita $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$ se presenta en su forma normal, desordenada, albita baja, albita intermedia y tratada térmicamente (heat treated), lo cual es un reflejo de la estabilidad del mineral, a una presión y temperatura determinada. Este feldespato cambia mediante el arreglo de su estructura aluminio-silicio, o a través de la formación de estructuras de exsolución. Según Smith and Brown, (1988) el estado estructural de estas plagioclasas puede ser alto, intermedio o bajo. La albita alta es fuertemente desordenada, en cambio la albita baja es fuertemente ordenada. Agrega el autor que la mayoría de las albitas que se encuentran en la naturaleza, es albita baja, aun en rocas con cambios de temperaturas muy bruscos como las rocas volcánicas, al contrario, la albita alta es muy rara en las rocas.

Al hacer una revisión en las fichas de información de la base de datos PDF-2 del Internacional Centre for Diffraction Data (ICDD), de los estados estructural, alto y tratado térmicamente de la albita, se encontró que sus parámetros fueron tomados en base al artículo de Meneghinello et al., (1999) quienes estudiaron los procesos de orden-desorden estructural de la albita, explicando la estructura de la albita tratada térmicamente como albitas obtenidas experimentalmente, calentando cristales de albita a temperaturas superiores de 1000 °C por varios días, las cuales no están en estado de equilibrio. Al respecto anotan Smith and Brown, (1988) que para fines prácticos esta albita con tratamiento térmico guarda estrecha relación con la albita alta. A su vez la ficha de información de la base de datos PDF-2 para la albita desordenada es similar a la albita con tratamiento térmico, ya que su estructura fue obtenida por calentamiento de un espécimen de albita desde una pegmatita por 23 días a 1030 °C.

La importancia de esta información radica que tanto la albita con tratamiento térmico, como la albita desordenada comunes en las piezas cerámicas, reflejan posibles alteraciones en el estado estructural del mineral primario, lo cual puede indicar que el material con el cual se realizaron estas cerámicas fue expuesto a altos picos de temperatura.

Por otra parte, la combustión total de material orgánico y carbonoso según Morales, (2005) se da en una atmósfera oxidante a menos de 400 °C, por esto al no encontrar cantidad visible de materia orgánica, hace pensar que las cerámicas analizadas fueron cocidas a temperaturas superiores a los 400 °C.

Si bien los análisis cualitativos de DRX mostraron la presencia de minerales carbonatados en gran parte de las muestras del grupo rojo, negro, café, marrón, y la total ausencia de estos minerales en el grupo gris, parece indicar que el aporte de minerales carbonatados por parte de la materia prima fue importante, más los análisis cuantitativos a algunas de las piezas que poseían minerales carbonatados revelaron que estos minerales carbonatados aparecen en tan baja proporción que no pudieron ser cuantificados, a excepción de la pieza A4-4 (105) cerámica del grupo Café, subgrupo café sin mica la cual contiene un muy alto porcentaje de calcita 41.2%.

7.3 APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE DRX CUANTITATIVO EN LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS.

En el marco de la definición de los mejores métodos a ser aplicados en el estudio de piezas cerámicas arqueológicas, se aplicó sobre 7 muestras un análisis DRX cuantitativo en el cual partiendo de la determinación de las cantidades de diferentes fases en muestras multifases, se revisó más a detalle la mineralogía y la cantidad de cada una de las fases minerales presente en las muestras A2-1 (1), F2-2 (9), D4-4 (49), D2-6 (113), y D2-11 (25), B5-6 (57), A4-4 (105). Este análisis se basa según Pinilla, (2005) en la determinación de las fases con una proporción numérica confiable a partir de datos experimentales y la subsecuente determinación, precisa y exacta, de los patrones de difracción de las muestras en términos de las posiciones e intensidades de los picos.

El criterio tomado para la aplicación de este análisis fue analizar las muestras con una mayor variación mineralógica de cada grupo, a excepción del grupo negro en el cual la variación mineralógica es muy escasa, o en la cual la aplicación de DRX cualitativo haya arrojado fases minerales interesantes para la caracterización de las temperaturas de cocción y la presencia o ausencia de mica. Y para efectos de esta investigación este análisis estuvo orientado a varios propósitos:

1. Evaluar el argumento con/sin mica planteado por los arqueólogos en el sistema de clasificación alfarera de los Teres.
2. Observar cuales son las fases minerales predominantes en las piezas cerámicas
3. Analizar el contenido real de calcita en las piezas cerámicas
4. Probar el gran contenido de material amorfo presente en las piezas cerámicas
5. Contrastar el uso cualitativo y cuantitativo de la técnica DRX
6. En atención a los propósitos anteriormente expuestos, los cuales fueron resueltos a cabalidad, y demostraron la gran utilidad de estos análisis en el estudio de piezas arqueológicas, se obtuvieron lo siguiente, a partir del análisis de los resultados proporcionados por esta técnica.

Un componente importante en la elaboración de estas cerámicas fue la moscovita, al observar las cantidades presentes en cada una de las piezas cerámicas analizadas clasificadas en el sistema alfarero de Los Teres como con mica (A2-1 (1), F2-2 (9), D4-4 (49), D2-6 (113)) y sin mica (D2-11 (25), B5-6 (57), A4-4 (105)) resulta claro la presencia en contenidos mayores al 5 % de moscovita, en las piezas cerámicas clasificadas en base a la ausencia de este mineral. En las piezas cerámicas clasificadas como con mica, se observa contenidos que pasan más del

doble al contenido de las piezas clasificadas como sin mica, llegándose a observar en algunas de estas piezas contenidos de más de 25% en este mineral lo cual constituye una cuarta parte del total de la fase cristalina presente como moscovita.

Sobre la base de estos resultados y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis cualitativo, en los cuales se observa este mineral en todas las piezas cerámicas clasificadas en el sistema alfarero como sin mica, se argumenta el error en el planteamiento de este sistema al hacer una distinción entre la presencia o ausencia de este mineral, y se propone para este sistema hacer una distinción entre altos o bajos contenidos de moscovita, los cuales están de acuerdo con mica, tipo moscovita generalmente, visible o no visible en una rápida examinación a simple vista.

Tabla 2. Representa las fases cristalinas identificadas, y la proporción en porcentaje de cada una de estas fases. N.C representa que la fase cristalina fue identificada pero debido a su baja proporción no es posible realizar su respectiva cuantificación.

Grupo	Subgrupo	Unidad/serial	Código	Qz	Ms	Ab	Mc	Ort	Cal	Clc	Kln	Ant	Mag	Mg-Hbl	Cha	Total Cristalino	Total amorfosy otros
Rojo																	
	Naranja	Naranja (AC)/(1)	A2-1	33,9	26,9	8,1	-	N.C	N.C	-	-	-	N.C	-	-	68,9	31,1
	Intenso	Intenso (AC)/(9)	F2-2	21,1	16,9	9,6	-	8,8	N.C	-	-	-	-	-	-	56,4	43,6
	Naranja sin mica	Naranja (AC)/(25)	D2-11	27,5	5,0	10,4	8,9	2,8	-	-	2,3	-	-	3,5	0,5	60,9	39,1
Gris																	
	Gris oscuro	Gris oscuro (AC)/(49)	D4-4	26,2	10,3	14,1	4,6	6,0	-	-	-	-	-	-	-	61,2	38,8
	Gris osc sin mica	Gris claro (CE)/(57)	B5-6	26,4	5,1	25,1	6,2	-	-	-	-	-	-	3,8	3,1	69,7	30,3
Café																	
	Café sin mica	Café (AC)/(105)	A4-4	18	6,1	-	-	-	41,2	-	-	0,2	-	-	-	65,5	34,5
Marrón Rojizo																	
	Marrón Rojizo	Marrón Rojizo (AC)/(113)	D2-6	18,6	25,5	3,9	-	4,5	-	4,8	-	-	-	-	-	57,3	42,7

Las fases predominantes respecto a su mayor concentración en las piezas cerámicas analizadas son el Cuarzo, la moscovita, la albita, la microclina y la ortoclasa principalmente, y otras fases cristalinas presentes en menor cantidad. Con relación a la calcita, se analizaron dos de las tres piezas cerámicas que mostraban calcita en los análisis cualitativos (A2-1 (1) y F2-2 (9)) obteniéndose cantidades ínfimas las cuales no fueron cuantificadas en el análisis cuantitativo. Lo que concuerda con los bajos contenidos de CaO (2,76 % y 1,81% respectivamente) dados en un segundo análisis de FRX por diferente tratamiento muestral. Lo que evidencia que a pesar que aparezca calcita en los análisis, estas cerámicas no son carbonatadas, a excepción de las cerámicas del grupo café/crema, una de las cuales se analizó, obteniéndose un contenido de calcita del 41,2 % de su fase cristalina, esta pieza cerámica se analizó también bajo un segundo análisis de FRX y arrojó contenidos de CaO de 34,19 %. Siendo el engobe y la pasta arcillosa de esta pieza cerámica de color crema muy claro, de pequeño espesor y de grano muy fino, con un acabado evidentemente mayor. Puede pensarse en una relación directa entre el color muy claro de la pieza y los altos contenidos de este mineral. Aunado al contenido de la fase cristalina hay una importante cantidad de materia amorfa la cual tiende a ser superior al 30 % de la totalidad de las piezas cerámicas. Y está de acuerdo con la alta cantidad pensada desde un inicio.

Es importante destacar que si bien el determinar las cantidades específicas de cada fase mineral y de las fases amorfas y otras fases, hacen del análisis cuantitativo más preciso para el estudio de piezas de cerámicas arqueológicas, la ventana de los minerales encontrados se ha reducido, proporcionando menor cantidad de fases minerales el análisis cuantitativo que el cualitativo, ya que al comparar los resultados obtenidos por medio del análisis cualitativos, con los obtenidos por medio del análisis cuantitativo se puede evidenciar una menor variabilidad de fases minerales, aun cuando en este análisis fueron tomados en cuenta tanto la parte externa de la pieza cerámica conocida como engobe, como la parte interna, conocida en esta investigación como pasta arcillosa, muchos minerales presentes al analizar la pasta arcillosa no fueron encontrados al realizar un análisis de la pieza total. Es de especial importancia el caso de los óxidos, de hierro y titanio, los cuales se evidenciaron en el análisis cualitativo en muchas de las piezas cerámicas y fueron corroborados con el análisis SEM-EDS pero en el análisis cuantitativo representan una ínfima proporción, lo cual hace pensar que gran parte de estos óxidos, y de otras fases minerales que no fueron cuantificadas con este análisis, hacen parte del total de las fases amorfas y otros, encontrándose ocultas, quizás debido a que están presentes como muy pequeñas partículas o como fases pobremente cristalizadas.

Figura 6. Mineralogía cuantitativa de los tres principales minerales presentes en las piezas cerámicas, para una mejor comparación en la parte izquierda de cada una de las imágenes se observan las cuatro piezas clasificadas como con moscovita, en la parte derecha se observa las tres muestras clasificadas como sin este mineral, y en la parte media se observa su media.

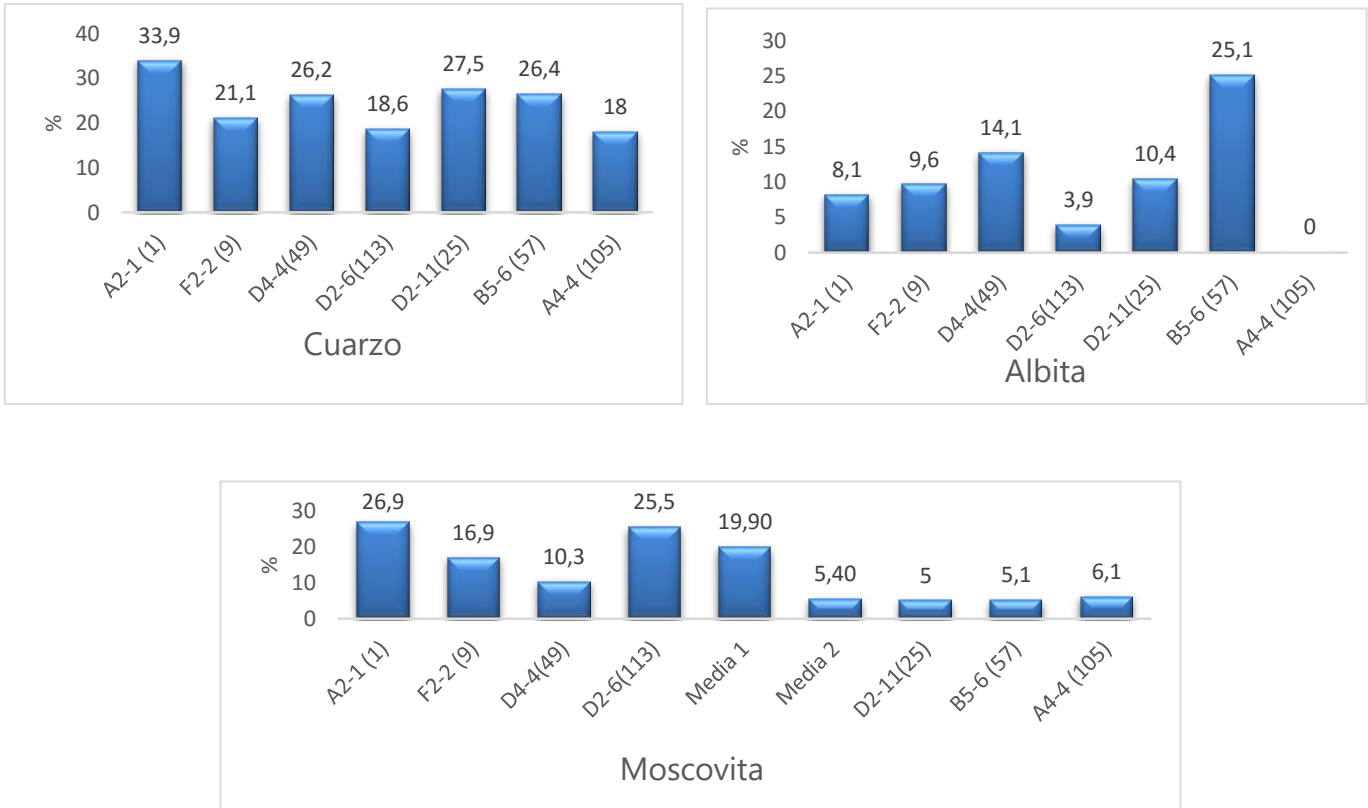
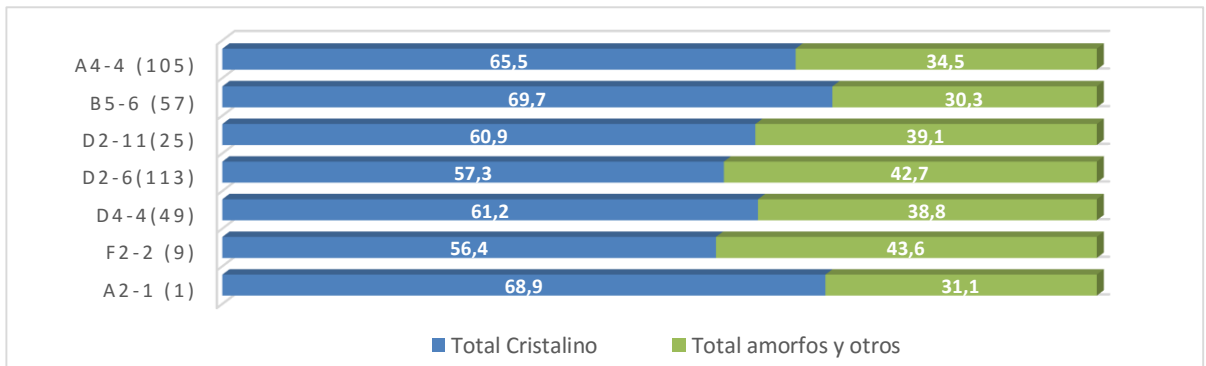


Figura 7. Comparación entre el contenido total de minerales cristalinos en los cuerpos cerámicos versus el contenido total de amorfos y otros.



7.4 APLICACIÓN Y ANALISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS CON IR EN LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS

El análisis de los datos obtenidos aplicando espectroscopia infrarroja son una herramienta poderosa que permiten identificar la composición mineralógica y química de los cuerpos cerámicos, donde se observan los cambios en los minerales cristalinos y amorfos expuestos a las diferentes temperaturas de cocción. Este análisis se realizó analizando los datos sin tratamiento alguno, y después realizando a cada uno de los espectros una segunda derivada, proceso tedioso pero que permitió caracterizar escasas fases minerales encontradas en los cuerpos cerámicos analizados.

Para identificar los minerales en el espectro de cada muestra, se tuvo en cuenta la tabla 3, donde caracterizan las frecuencias de los minerales que se encuentran comúnmente en las cerámicas dentro del rango establecido anteriormente. Estos datos fueron tomados de análisis estándares de frecuencias de minerales en base a diferentes fuentes. (De Benedetto et al., (2002) y Bayazit et al., (2014))

Tabla 3. Tabla de frecuencias de infrarrojo de los posibles minerales presentes en las piezas de cerámica.

Mineral	Frecuencias características (cm^{-1})
Cuarzo	1160, 1082, 797, 778, 695, 512
Moscovita	1062, 1022, 990, 935, 754, 727, 553, 480, 412
Clorita	987, 825, 763, 553, 460, 445 (455, 432)
Albita	1096, 1032, 990, 784, 762, 742, 723, 648, 588, 530, 425
Anortita	1160, 1095, 1062, 950, 758, 733, 668, 575, 540, 482
Ortoclasa	1120, 1040, 1010, 770, 728, 650, 580, 535, 463, 428
Microclina	1142, 1134, 1120, 1050, 1010, 768, 742, 728, 646, 584, 535, 463, 428
Sanidina	1124, 1118, 1058, 1026, 840, 640, 584, 540, 427
Gelenita	1056, 985, 933, 905, 850, 720, 634, 410
Diópsido	1070, 965, 920, 865, 670, 632, 510, 470

Wollastonita	1088, 1064, 1023, 968, 930, 905, 684, 647, 563
Calcita	1420, 877, 714
Caolinita	1117, 1033, 1010, 938, 915, 540, 472, 432
Illita	1030, 990, 948, 905, 815, 762, 490, 460, 431, 414
Hematita	535, 475

Fuente: DE BENEDETTO, G., LAVIANO, R., SABBATINI, L., ZAMBONIN, P. Infrared spectroscopy in the mineralogical characterization of ancient pottery. *Journal of Cultural Heritage*. 2002, nro. 3(3). p. 177-186.

Para obtener un mejor análisis de los espectros de las 13 piezas, se clasificaron 6 grupos (Tabla 3) en base a las similitudes encontradas en los espectros inferidos con el análisis FT-IR, como se observan en la figura 8.

Figura 8. Espectros infrarrojos de las 13 piezas de cerámicas analizadas

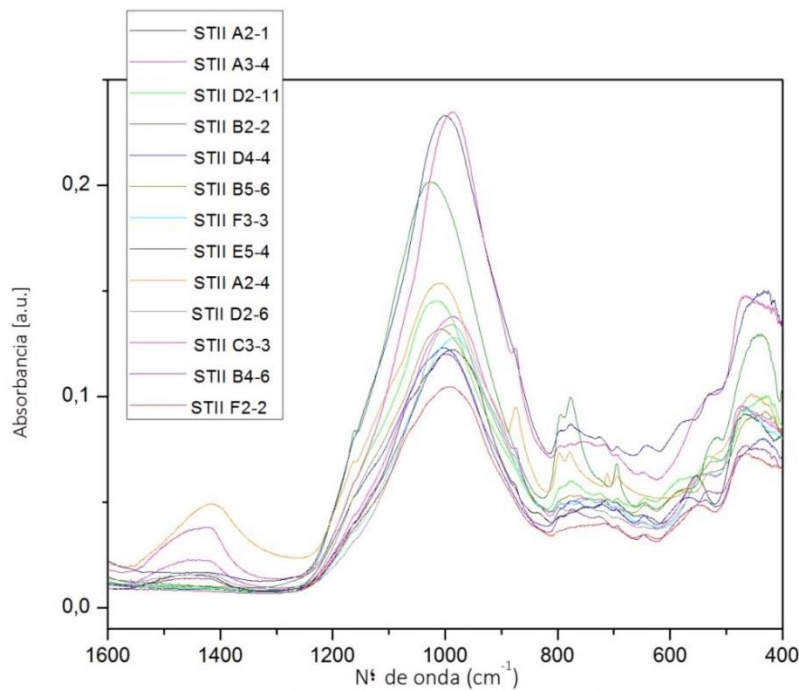


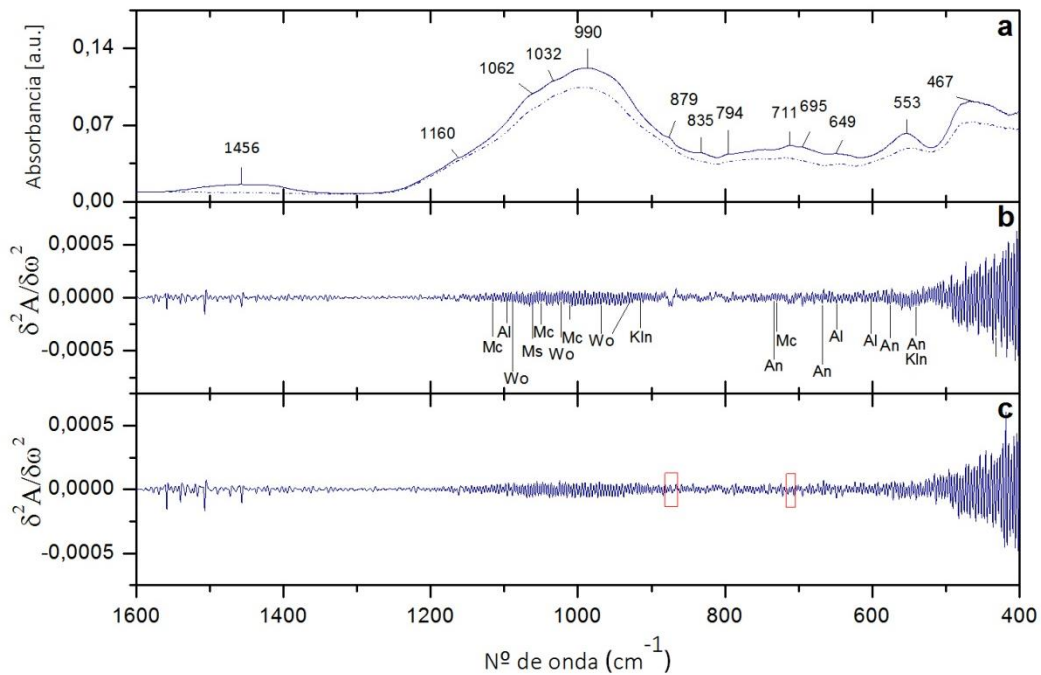
Tabla 4. Grupos de las muestras cerámicas de acuerdo a su similitud espectral

Grupos	Muestras
CER A	A2-1 (1), F2-2 (9)
CER B	A3-4 (17), C3-3 (97)
CER C	F3-3 (65), D2-6 (113)
CER D	D2-11 (25), D4-4 (49), B5-6 (57), E5-4 (73), B4-6 (81)
CER E	B2-2 (33)
CER F	A2-4 (89)

En la figura 9 se observan los espectros que pertenecen al grupo CER A y las segundas derivadas respectivas de cada muestra. El espectro de A2-1, similar a F2-2, indica presencia de cuarzo (1160 cm^{-1} , 695 cm^{-1} y 794 cm^{-1}), calcita (711 cm^{-1} , 835 cm^{-1} , 879 cm^{-1} y 1456 cm^{-1}), moscovita (1062 cm^{-1} y 553 cm^{-1}), moscovita/albita (990 cm^{-1}), albita/microclina (742 cm^{-1}) y albita (1032 cm^{-1} y 649 cm^{-1}). Otros minerales que pertenecen a los silicatos, como moscovita, microclina (feldespato potásico) y albita (feldespato plagioclasa) son inferidos de manera más clara usando la segunda derivada.

En la segunda derivada como se puede observar en la figura 16, la cantidad de microclina y moscovita es mayor a la cantidad de albita, lo cual puede deducir mayor cantidad de potasio en la muestra, siendo corroborado este dato con el porcentaje de concentración de K 5,44 % sobre el total de la muestra, en comparación con el porcentaje de concentración del Na 0,62%.

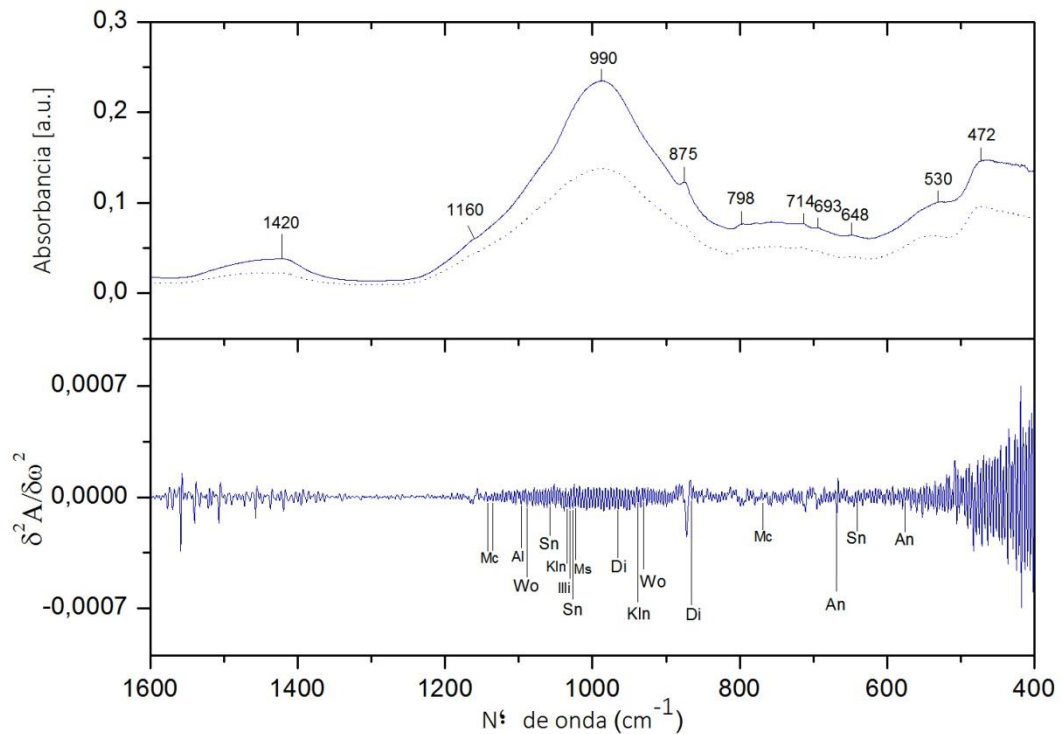
Figura 9. (a) Espectros de las muestras que pertenecen al grupo CER A: A2-1 (línea sólida) y STII F2-2 líneas. Segunda derivada de la muestra (b) A2-1 y C F2-2



Los dos cuadros rojos que encierran dos rangos de frecuencia muestran la ausencia de calcita en la muestra, comparada con la figura 9b.

En el grupo CER B se encuentran las piezas A3-4 y C3-3, teniendo mayores índices de absorbancia la muestra C3-3. La pieza de cerámica A3-4 presenta un color mate (serial 17) y C3-3 un color mate (serial 97). Según los análisis de DRX presentan cuarzo, moscovita, albita, microclina y calcita. Estos resultados se corroboran con el espectro de IR donde indica cuarzo a 694 cm^{-1} , 798 cm^{-1} y 1160 cm^{-1} ; calcita a 875 cm^{-1} y 1420 cm^{-1} ; En base al espectro y tomando en cuenta la segunda derivada del espectro se identifican la moscovita a 1022 cm^{-1} , albita a 530 cm^{-1} y 1096 cm^{-1} , microclina a 463 cm^{-1} , 648 cm^{-1} , 768 cm^{-1} , 768 cm^{-1} , 1049 cm^{-1} , 1134 cm^{-1} y 1142 cm^{-1} , wollastonita a 930 cm^{-1} , 1088 cm^{-1} , sanidina a 540 cm^{-1} , 640 cm^{-1} , 1026 cm^{-1} , 1057 cm^{-1} , caolinita a 938 cm^{-1} , 1034 cm^{-1} , illita a 1030 cm^{-1} , diópsido a 470 cm^{-1} , 510 cm^{-1} , 965 cm^{-1} , 864 cm^{-1} y anortita a 482 cm^{-1} , 540 cm^{-1} , 575 cm^{-1} , 668 cm^{-1} y ortoclasa a 428 cm^{-1} . El pico de absorción más alto es 990 cm^{-1} , el cual puede corresponder a minerales como la moscovita o la albita. En la segunda derivada hay presencia de illita, caolinita, sanidina, wollastonita, ortoclasa, diópsido y anortita, sin embargo, estos minerales no fueron encontrados en los análisis de DRX.

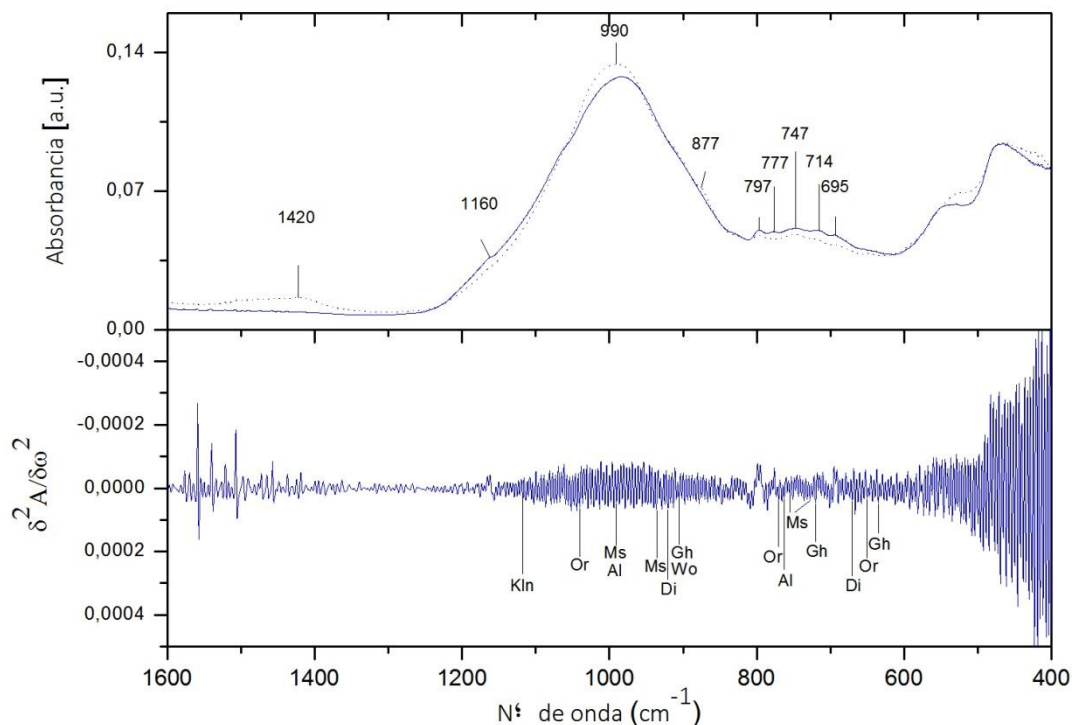
Figura 10. Espectros de las muestras que pertenecen al grupo CER B: C3-3 (línea sólida) y A3-4 líneas. Abajo: Segunda derivada de la muestra A3-4



Según los análisis de DRX el contenido de calcita de la muestra C3-3 presenta mayor contenido de magnesio que la muestra A3-4, sin embargo, esto no se observa en los espectros de infrarrojo.

En el grupo CER C se encuentran dos muestras de cerámica, la primera es una cerámica de color gris claro (F3-3) y la segunda es de color marrón rojizo (D2-6). Los espectros son bastante parecidos, sin embargo, presentan variaciones en el número de bandas con presencia de calcita, en F3-3 (714 cm^{-1} , 877 cm^{-1} y 1420 cm^{-1}) y en D2-6 (714 cm^{-1}), teniendo en cuenta que para la muestra F3-3 no se encontró ningún mineral con calcio y en D2-6 presenta dolomita según los análisis DRX. Lo cual revisando los datos de FRX se encuentra que el porcentaje de concentración de CaO en F3-3 es de 1,67 % y en D2-6 es de 3,3 %. A lo cual se podría incluir la calcita como mineral presente en estas muestras.

Figura 11. Espectros de las muestras que pertenecen al grupo CER C: F3-3 (línea sólida) y D2-6 líneas. Abajo: Segunda derivada de la muestra F3-3

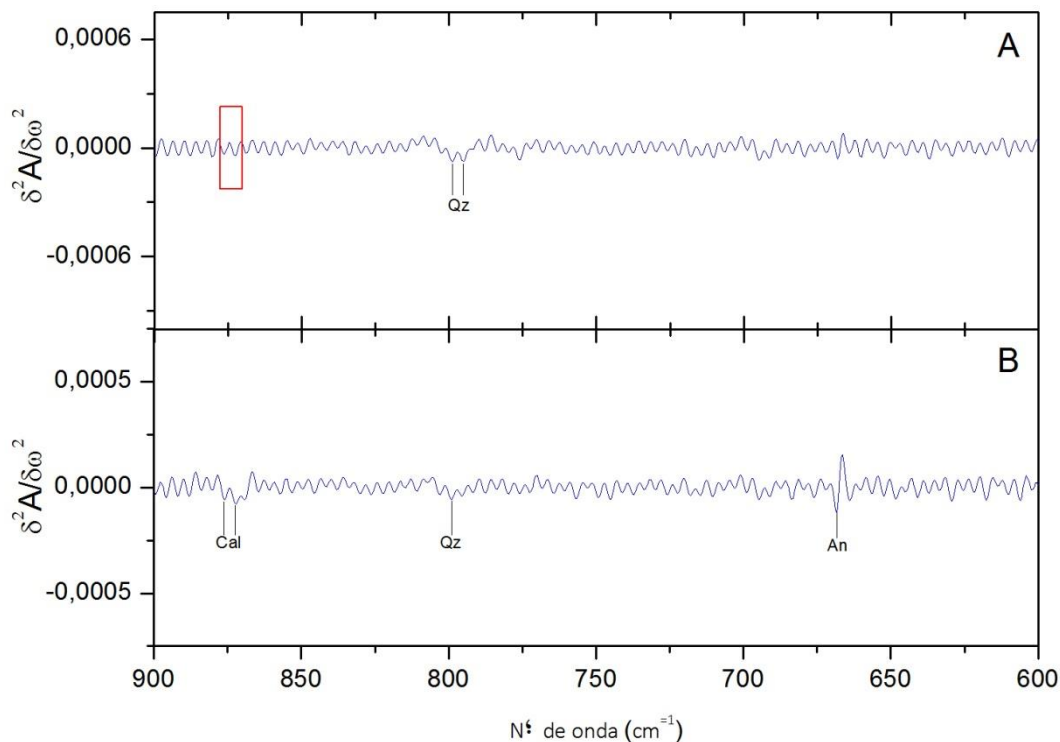


Los espectros indican presencia de cuarzo (695 cm^{-1} , 777 cm^{-1} , 797 cm^{-1} y 1160 cm^{-1}), moscovita/albita (982 cm^{-1} y 990 cm^{-1}), albita (530 cm^{-1} y 746 cm^{-1}) y por ultimo microclina (650 cm^{-1}).

En el análisis que se realiza respecto a las segundas derivadas (Figura 12) se observa como en la muestra que presenta mayor cantidad de calcita (b) las bandas se encuentran más pronunciadas.

También esta misma pieza presenta menos bandas de cuarzo y posible presencia de anortita (668 cm^{-1}) aunque en los datos de DRX no esté presente este mineral. La anortita es un mineral que en las segundas derivadas se encuentra en varios espectros, aunque en los análisis de DRX ninguna pieza cerámica la presenta. Lo cual nos indica una vez más que para una mejor representación de los minerales es necesario varios análisis mineralógicos y geoquímicos, donde en base a todos se puedan identificar la mayor cantidad de minerales posibles.

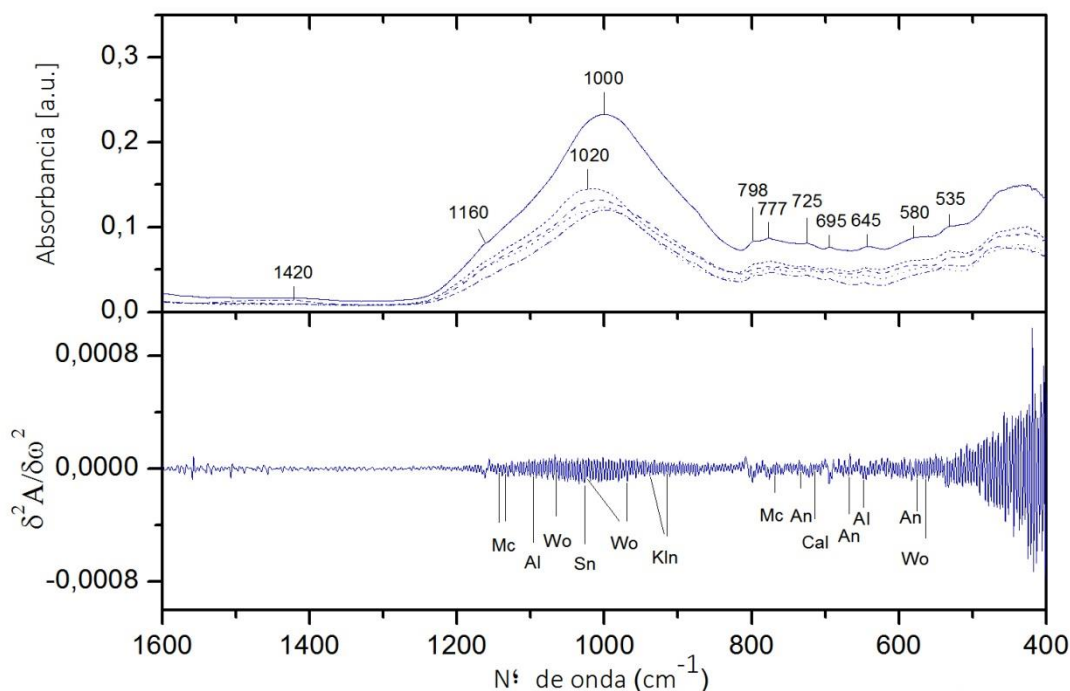
Figura 12. Segundas derivadas de los espectros IR de (A) F3-3 y (B) D2-6 con un rango de 900-600 cm^{-1}



El siguiente grupo (CER D) es en el que más espectros fueron similares entre sí, aunque con diferentes índices de absorbancia. Se encuentra que los colores de las cerámicas presentes en este grupo son muy diversos, pasando de naranja, gris oscuro, gris claro a negro; lo cual indica que su color no va ligado con los minerales encontrados en los espectros de infrarrojo.

El espectro indica presencia de cuarzo (695 cm^{-1} , 777 cm^{-1} , 798 cm^{-1} y 1160 cm^{-1}), ortoclasa/moscovita (535 cm^{-1}), ortoclasa (580 cm^{-1}), albita (645 cm^{-1} y 530 cm^{-1}), moscovita/albita (725 cm^{-1}), moscovita (1021 cm^{-1}) y caolinita (1000 cm^{-1}). El único espectro que indica calcita a 1420 cm^{-1} es el de la muestra B4-6, siendo esta la única muestra de las cinco que presenta calcita con alto contenido de magnesio en los datos de DRX.

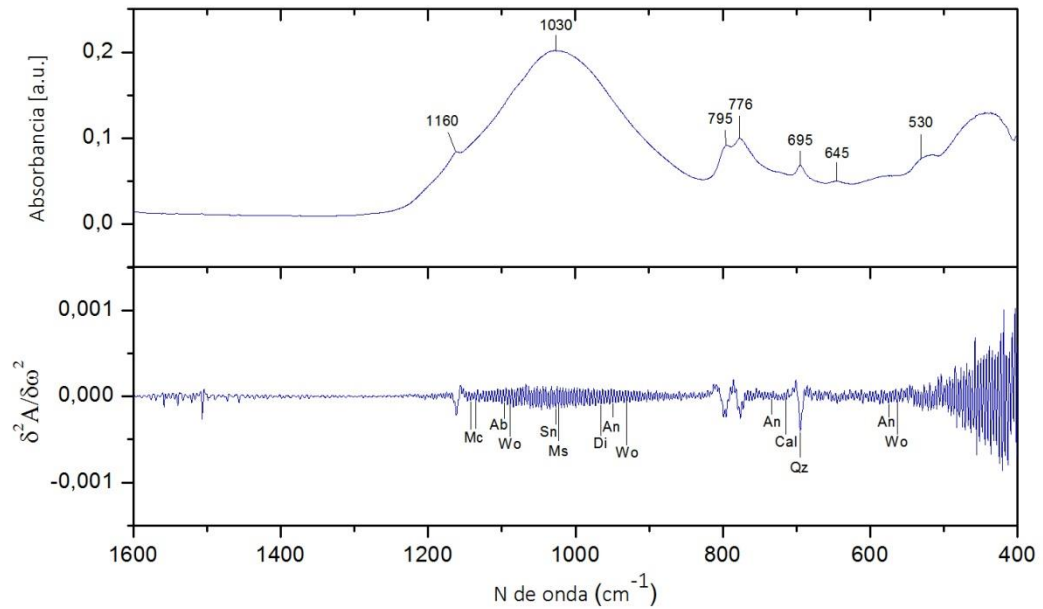
Figura 13. Espectros de las muestras que pertenecen al grupo CER D: E5-4 (línea sólida), B5-6 líneas, D4-4 puntos, D2-11 (puntos cortos) y B4-6 (línea y punto). Abajo: Segunda derivada de la muestra D2-11.



Los picos de absorción de la microclina, wollastonita, sanidina, caolinita, anortita y calcita, fueron detectados en la segunda derivada de la muestra D2-11. Las fases de anortita, wollastonita y diópsido son generalmente formadas durante la cocción de cerámicas ricas en calcio, de hecho, la wollastonita es un inosilicato del grupo de los piroxenoides formado por la reacción de calcita con cuarzo, proceso que ocurre alrededor de 750 °C a 850 °C. (Benedetto et al., 2002). Se identifica en una pequeña cantidad diópsido con un pico de absorción de 470 cm^{-1} .

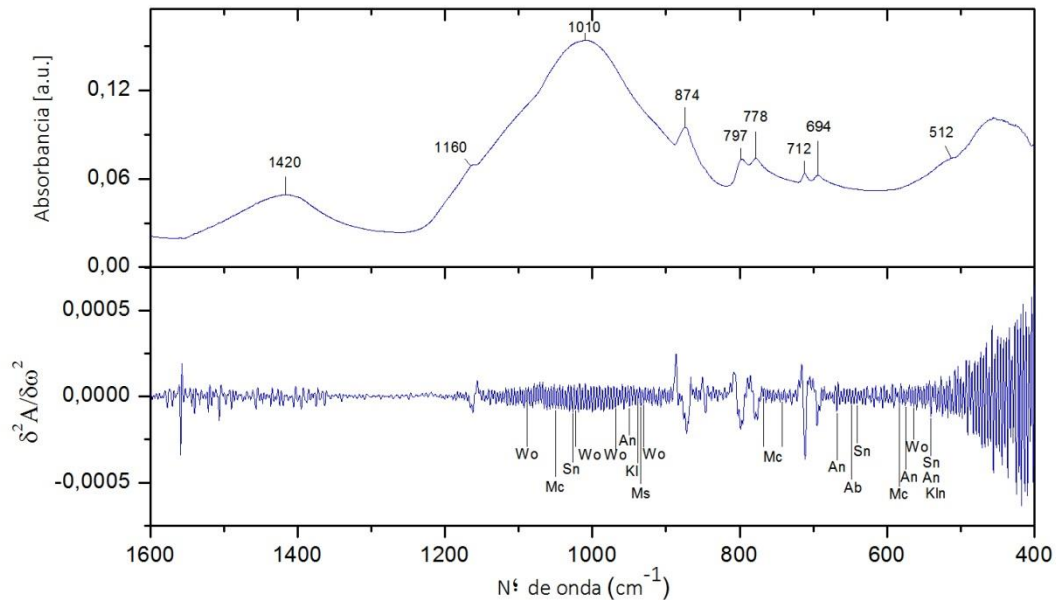
Al grupo CER E sólo pertenece la muestra B2-2 ya que este espectro no se asemejó a ninguno de los espectros anteriormente vistos. La muestra en DRX presenta cuarzo, moscovita, albita, microclina, caolinita y braunita. El espectro indica la presencia de cuarzo (530 cm^{-1} , 695 cm^{-1} , 776 cm^{-1} , 795 cm^{-1} , 1160 cm^{-1}), albita (1030 cm^{-1}) y microclina (646 cm^{-1}). La segunda derivada presenta cuarzo, microclina y albita, también indica la presencia de moscovita a 1022 cm^{-1} , caolinita a 1010 cm^{-1} , diópsido a 965 cm^{-1} y posible presencia de anortita a 575 cm^{-1} , 733 cm^{-1} y 950 cm^{-1} , wollastonita (1088 cm^{-1} , 930 cm^{-1} y 563 cm^{-1}) y sanidina (1026 cm^{-1}). Terminando de corroborar los minerales encontrados en DRX.

Figura 14. Espectro de la muestra CER E: B2-2. Abajo: Segunda derivada de B2-2



Y, por último, la muestra de cerámica A2-4 (CER F) tampoco pudo ser clasificada en base a los espectros en los otros grupos.

Figura 15. Espectro de la muestra que pertenece al grupo CER F: A2-4. Abajo: Segunda derivada de A2-4



En los análisis de DRX se encontraron apenas cuatro minerales en esta muestra: cuarzo, moscovita, calcita magnesiana y sanidina. El espectro indica presencia de cuarzo (512 cm^{-1} , 694 cm^{-1} , 778 cm^{-1} , 797 cm^{-1} , 1160 cm^{-1}), calcita (712 cm^{-1} , 874 cm^{-1} , 1420 cm^{-1}) y microclina/ortoclasa (1010 cm^{-1}). También se logra identificar en la segunda derivada minerales como albita, ortoclasa, microclina, sanidina, anortita, moscovita, wollastonita y caolinita.

La anortita al hacer parte de la serie de plagioclasa con alto contenido de calcio, es comúnmente un mineral de cocción producido por la descomposición de los minerales arcillosos que contenían calcita. La microclina es estable a un rango de 500 a $750 \text{ }^\circ\text{C}$ mientras que el rango de la ortoclasa llega hasta $1050 \text{ }^\circ\text{C}$, lo cual indica que los dos minerales son indicadores de temperaturas de cocción (De Benedetto et al., 2002).

7.5 ANÁLISIS DE LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS APLICANDO SEM-EDS

7.5.1 Análisis textural y grado de vitrificación. La examinación por medio del SEM de las piezas cerámicas arqueológicas proporcionó información acerca de la morfología interna desarrollada durante la cocción de estas piezas en la antigüedad, y en particular permitió definir el grado de vitrificación, y la estructura de los poros. Maniatis and Tite, (1978) y Maniatis and Tite (1981) definieron en base a texturas de fusión observadas en el SEM, cuatro estadios o grados de vitrificación según la temperatura alcanzada, los cuales son:

1. No Vitrificación (NV): En este grupo como no hay vitrificación, los agregados en hojuelas son esencialmente los mismos como en el material en bruto.
2. Vitrificación Inicial (VI): Apariencia de superficies aisladas lisas o filamentos de vidrio en las superficies de las fracturas examinadas al SEM.
3. Vitrificación (V): Se observa una red de superficies lisas de filamentos de vidrio los cuales forman una superficie abierta o celular sobre la superficie de la fractura.
4. Vitrificación Total (VT): En este la superficie celular ha desaparecido y ha sido remplazada por una superficie continua vitrificada de poros aislados.

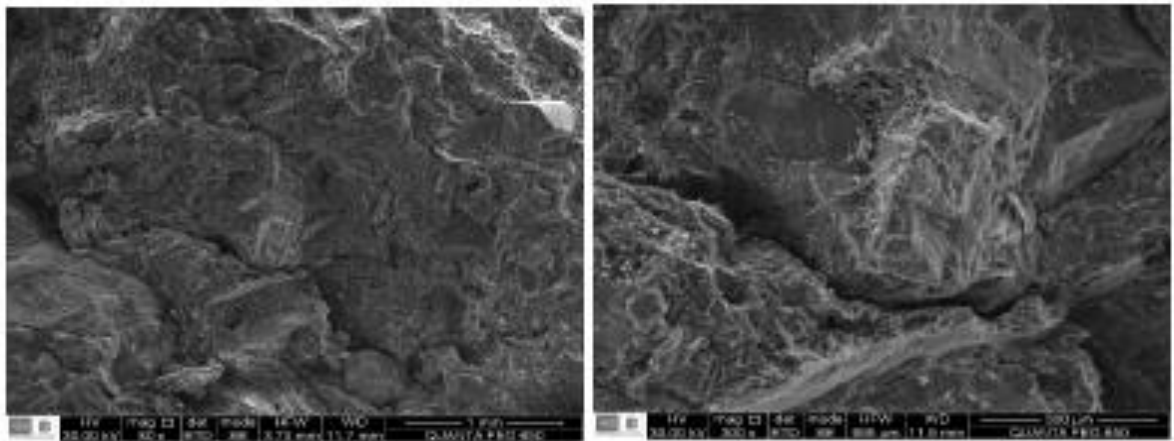
Tomando en cuenta la definición planteada por estos autores respecto a los grados de vitrificación, fueron buscadas evidencias de cada una de estas texturas de fusión y a partir de lo observado se agruparon las piezas cerámicas en base su grado de vitrificación, sin embargo, cabe considerar que algunos factores tales como los diversos tamaños de aumento en la adquisición, la poca calibración del material debido a él gran tamaño de las inclusiones presentes, ambientes de cocción, posiblemente variables, distinta preparación de las piezas cerámicas para el análisis SEM. Por esto, el análisis por medio de estas texturas no es definitivo, por ende, este estudio se limita a mencionar las texturas de fusión observadas, y en las cuales piezas cerámicas fueron encontradas.

No Vitrificación (NV):

La No Vitrificación (NV) se evidenció principalmente como una textura en mortero. Hay piezas cerámicas que si bien poseen una textura de este tipo es posible en estos algunos ligeros pandeos y ocasionales bordes redondeados de las pequeñas placas de arcilla, lo cual es un posible indicativo que si bien la pieza cerámica no

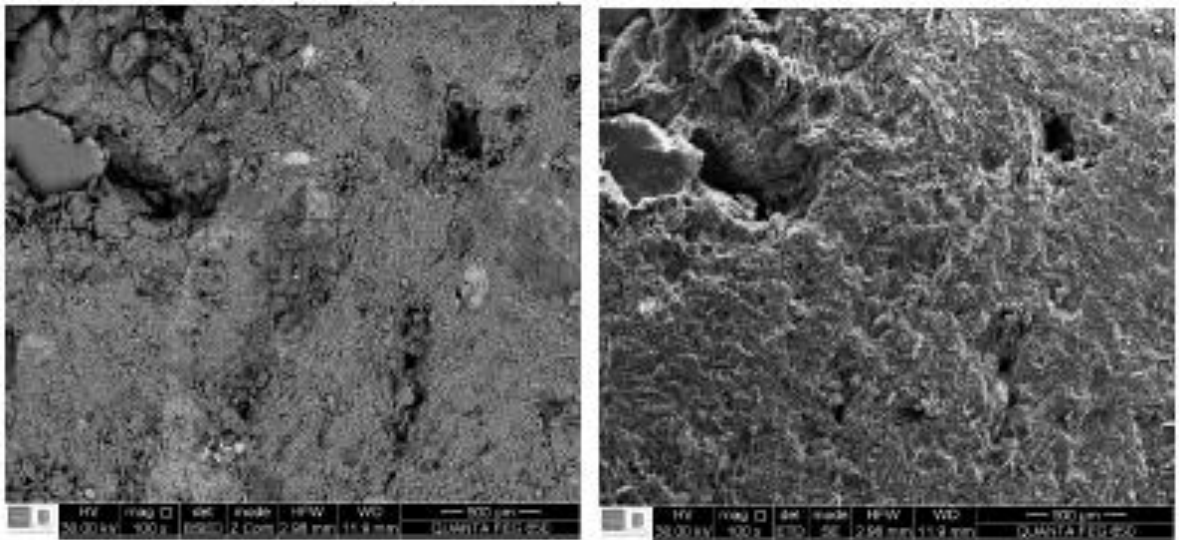
alcanzo un estado de vitrificación si hubo minerales que reaccionaron a la temperatura alcanzada, estando una etapa ligeramente anterior al desarrollo de la vitrificación, ya que en algunas piezas que no se nota ningún grado de vitrificación no se observó estas pequeñas evidencias, se trata posiblemente que estas piezas cerámicas alcanzaron una temperatura mayor, o el material arcilloso reacciono de distinta manera a la cocción.

Figura 16. SEM de la pieza F2-2, en la primera de ellas no se observa una anisotropía marcada, tampoco el desarrollo de fases vidriosas, al ver esta zona a un mayor aumento no hay evidencias de fusión. NV



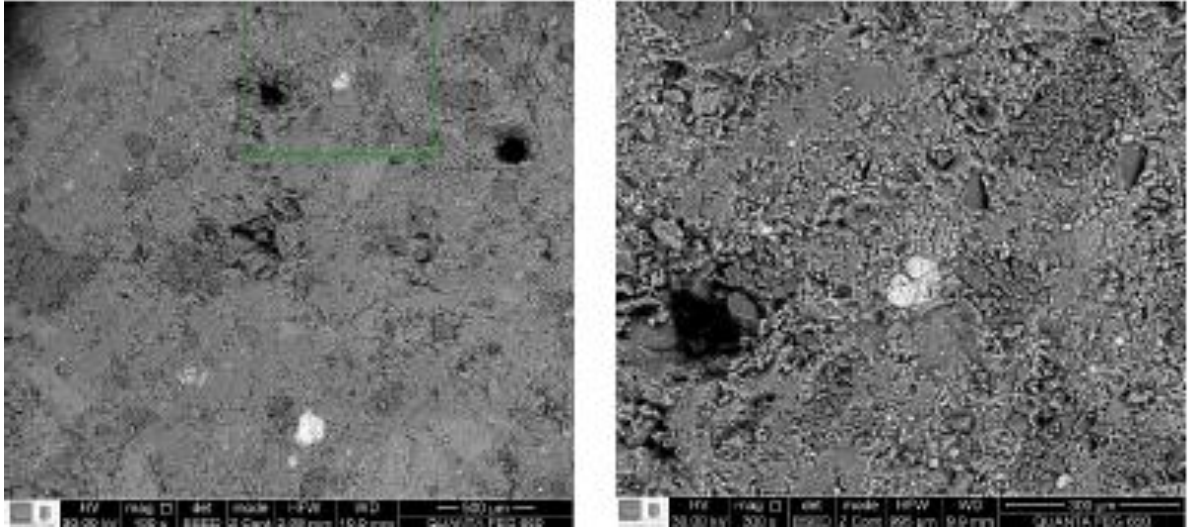
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 17. SEM de la pieza C3-3 en la cual se evidencia la textura en mortero, sin ninguna anisotropía calcarea marcada, y con inclusiones de gran tamaño. Esta pieza ceramica es una ceramica carbonatada. NV.



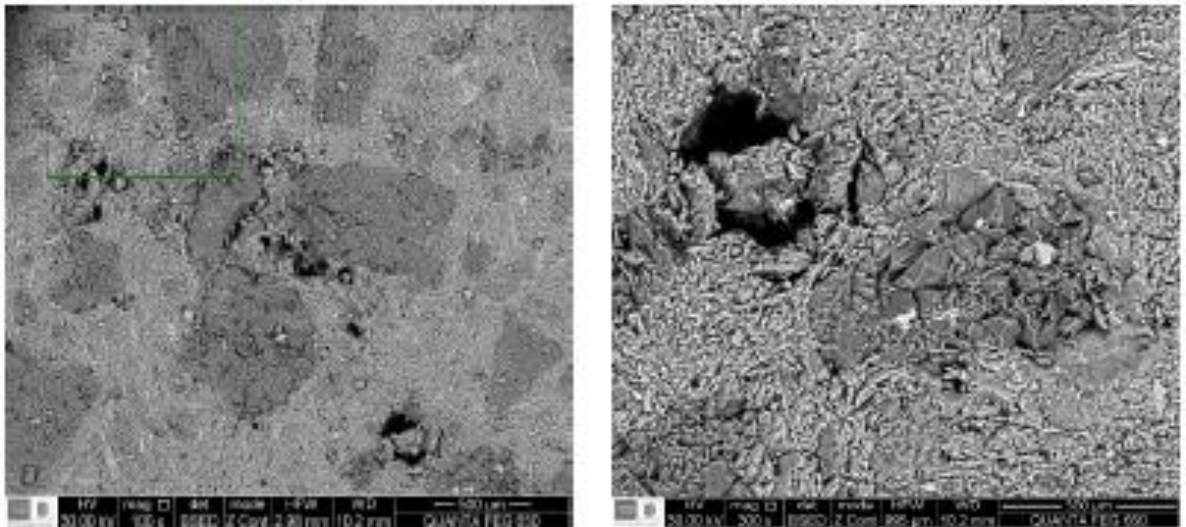
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 18. SEM de la pieza A2-4 en la cual al igual que en las fotografías se evidencia una textura en mortero y una mala calibración del material, al ver una zona de esta pieza a un mayor aumento se corrobora que no hay una marcada anisotropía estructural y las hojuelas de arcilla y materia amorfa se presentan orientadas al azar. Muestra con tratamiento de pulido. NV.



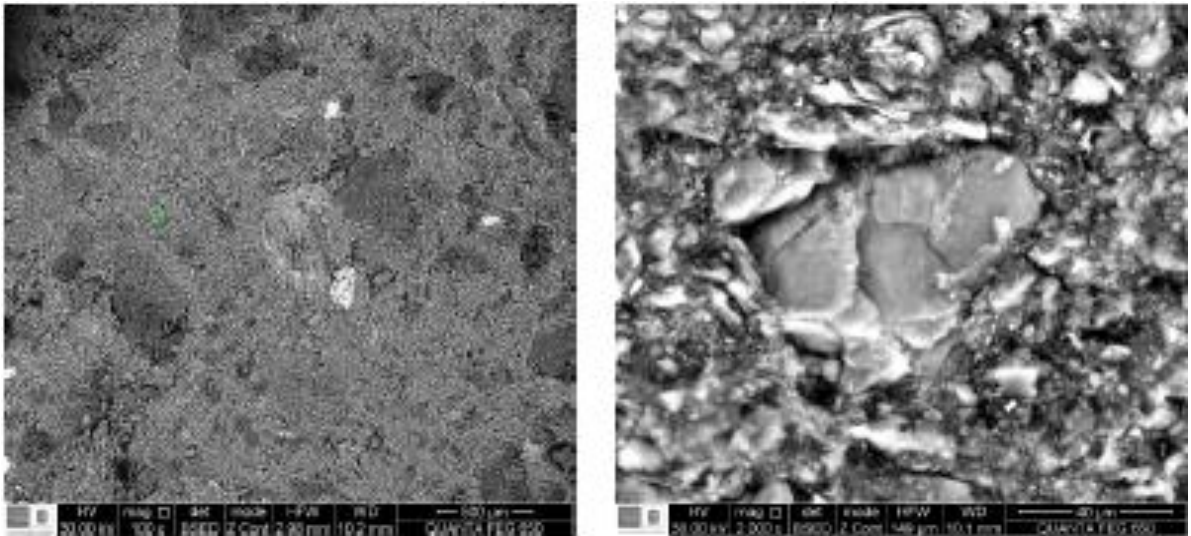
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 19. SEM de la pieza E5-4 en la cual se aprecia en el cuadro verde superior izquierdo un pandeamiento, vista esta zona un mayor aumento se aprecia que si bien la anisotropía estructural no es marcada, si tiende a ver una orientación de la materia amorfa y minerales arcillosos hacia los bordes de los grandes granos minerales. Muestra con tratamiento de pulido. NV+.



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 20. clásica textura en mortero que define la NV, hay evidencias que si bien el material no se vitrifico si reacciono a la temperatura, como bordes redondeados de las placas de arcilla. Muestra con tratamiento de pulido. NV.

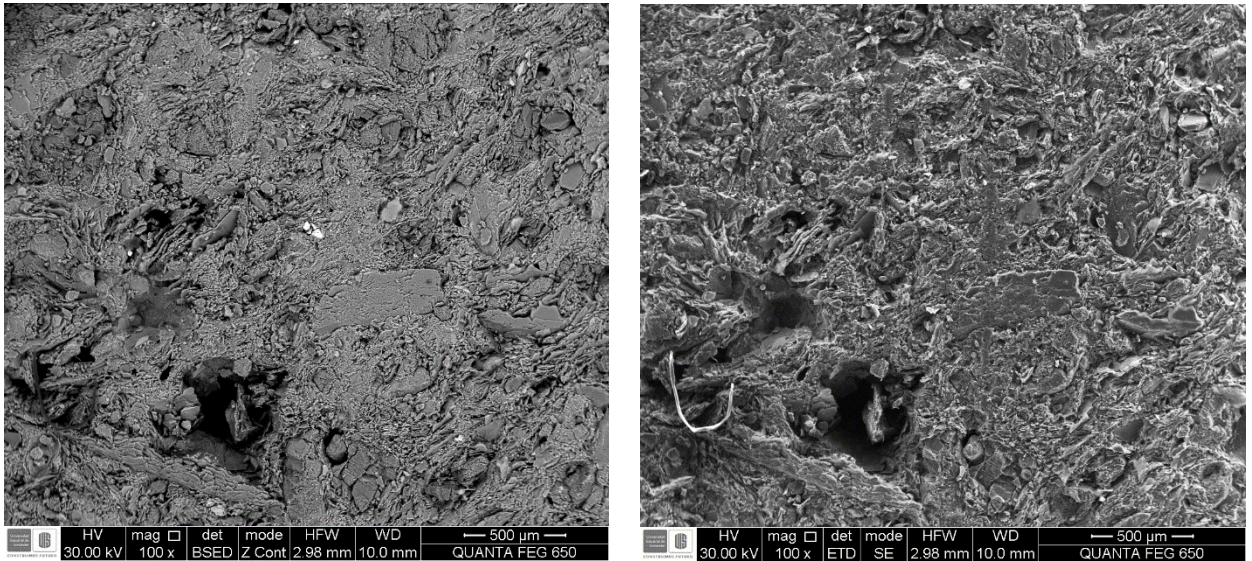


Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Vitrificación Inicial (VI):

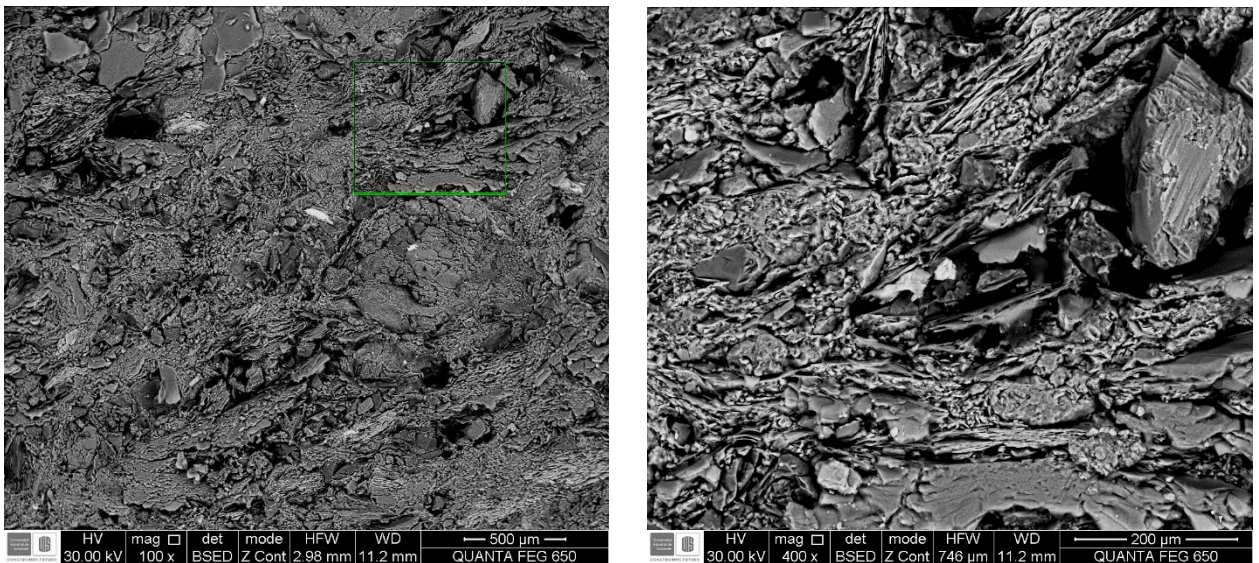
Marcar la diferencia entre el estado de vitrificación (V) o vitrificación intermedia y el estado de vitrificación inicial (VI) en las piezas cerámicas analizadas fue confuso debido a en lo que se refiere a la VI, Maniatis and Tite, (1978) anotan que debe ser posible ver superficies suaves o filamentos de vidrio, los cuales se encuentran aislados, y poseen una marcada anisotropía estructural evidente en la alineación de las partículas de tamaño arcilloso y de la materia amorfa bajo una dirección determinada, sin embargo, el autor analizo cerámicas las cuales poseían un escaso contenido de inclusiones y poseían un muy buen grado de calibración, lo cual evidentemente no es el caso de gran parte de las piezas cerámicas analizadas en el presente estudio. Ante este reto se decide acoger el grado de VI como las piezas vistas bajo el SEM, las cuales no poseen filamentos claramente interconectados, pero si poseen una anisotropía estructural marcada o las texturas en las cuales debido a la mala calibración del material que compone la pieza cerámica no poseen una marcada anisotropía estructural, pero si pequeñas zonas en las cuales es posible seguir una dirección determinada.

Figura 21: SEM de la pieza B4-6 en la cual se observa un grado de vitrificación incipiente, el cual a pesar de la mala calibración y del gran tamaño de las inclusiones posee una anisotropía estructural no muy marcada, que la separa de la no vitrificación.VI



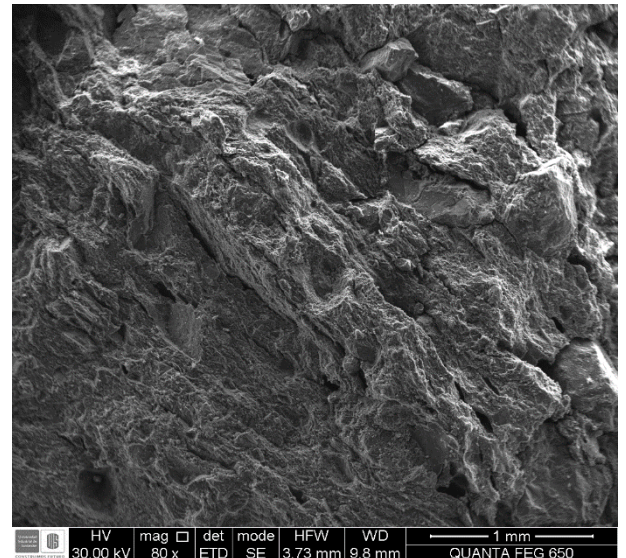
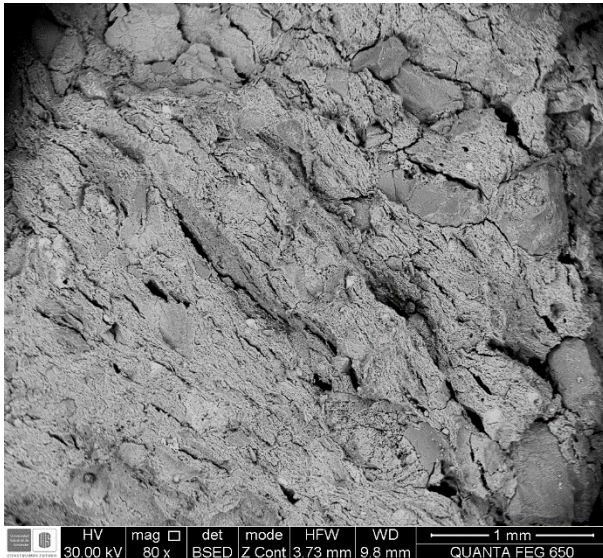
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander.

Figura 22. SEM de la pieza D2-6. Similar a la anterior se observa un grado de vitrificación incipiente, pero en esta la anisotropía estructural es algo más marcada, lo que se corrobora al ver la zona superior derecha a un mayor aumento en el cual es evidente orientaciones alrededor de un cristal mineral.VI.



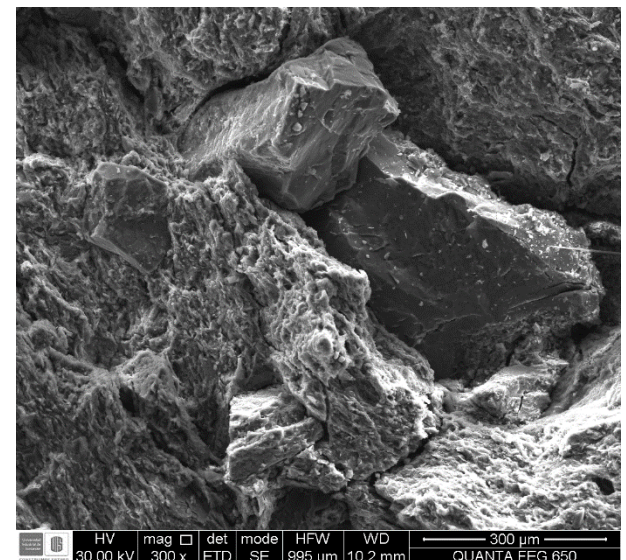
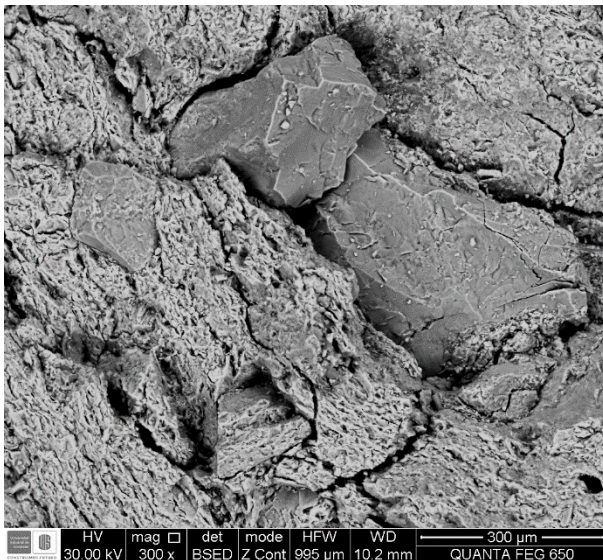
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 23. SEM de la pieza A2-1 en la cual la anisotropía estructural ya es marcada y es posible detallar minúsculos filamentos de vidrio.VI+.



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 24. SEM de la pieza A2-1. Al observar la muestra anterior más de cerca se hacen evidentes la fase vidriosa, representada por filamentos de vidrio hacia la parte izquierda de las fotografías. VI+.

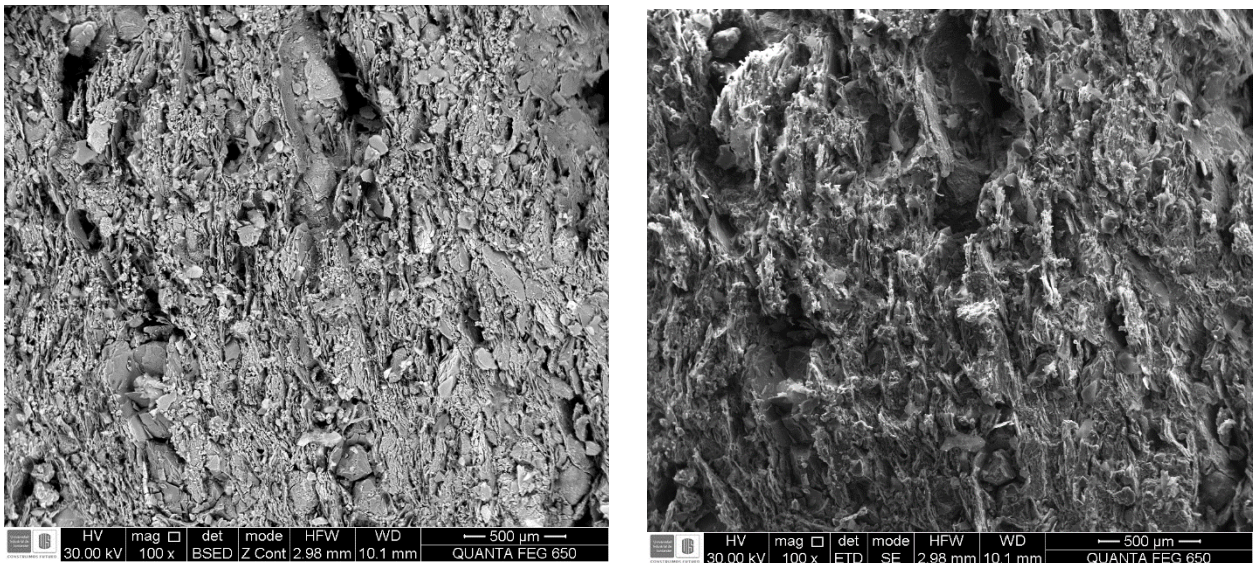


Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Vitrificación (V):

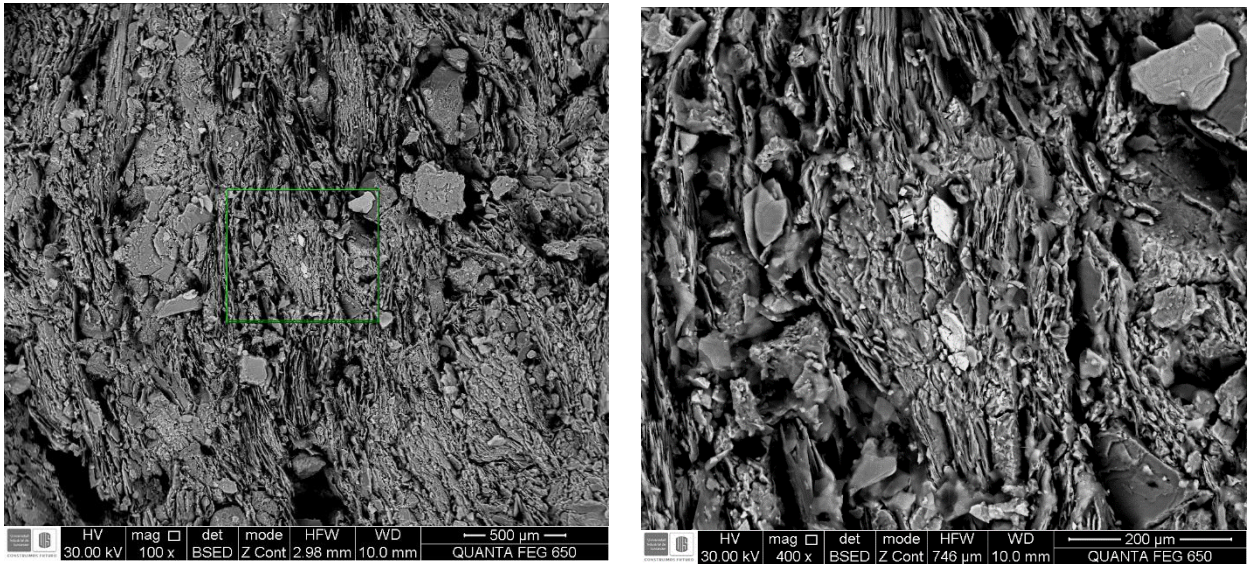
Este grado de vitrificación se observa en gran cantidad de las piezas cerámicas, como claras alineaciones a pesar de la cantidad de inclusiones de la materia amorfa, los minerales arcillosos, y los escasos poros. Claros enrejados de filamentos vitrificados son observados, los cuales se encuentran mayoritariamente conectados unos a otros formando redes con la misma orientación. Estas alineaciones de filamentos vitrificados son observadas principalmente en piezas cerámicas en las cuales el material se encuentra mejor calibrado. A diferencia de las piezas cerámicas en las que se observa un grado de VT la porosidad en estas piezas cerámicas vista al SEM se observa muy escasa, y tiende a estar orientada bajo una dirección preferencial.

Figura 25. SEM de la pieza F3-3. Es evidente una clara anisotropía estructural, a su vez, los poros se encuentran alineados, y observado con un mayor detalle es posible ver que la fase vidriosa forma una red con pequeños filamentos conectados.



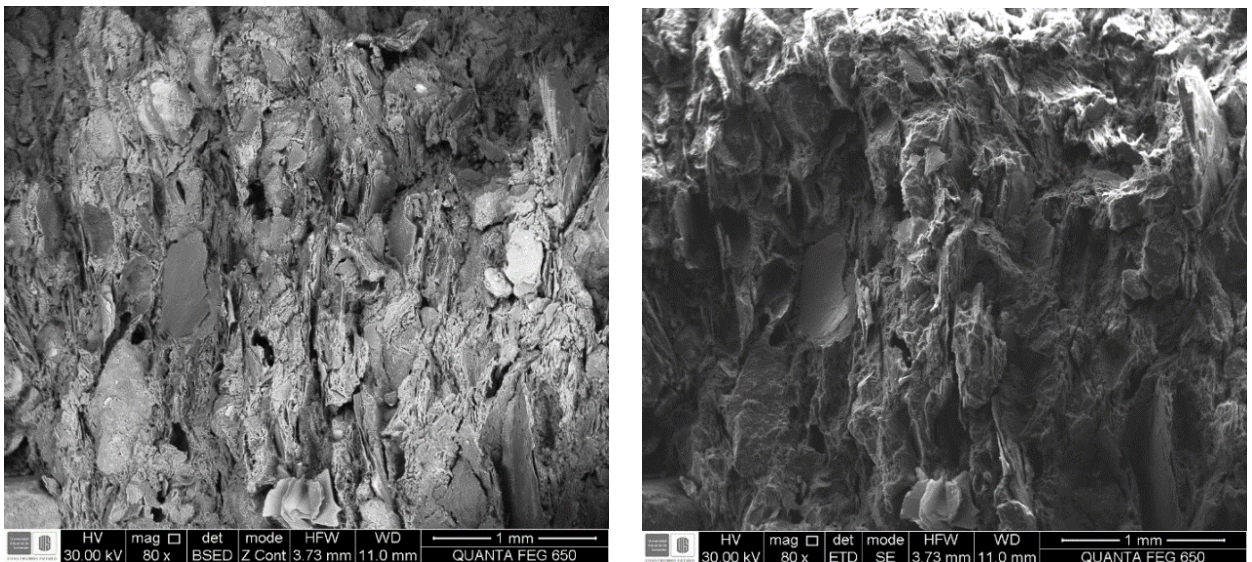
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatimar. Universidad Industrial de Santander

Figura 26. SEM de la pieza F3-3. Otra vista de la misma muestra anterior, en esta se resalta de mayor forma la anisotropía estructural. Al observar la zona central a un mayor aumento es posible ver placas de minerales arcillosos orientadas en la dirección predominante.



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 27. SEM de la pieza A3-4 Si se observa a detalle es posible ver la fase vidriosa y la formación de una textura en red de esta fase, y la presencia de gran cantidad de poros alineados hacia la dirección preferente.



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará.

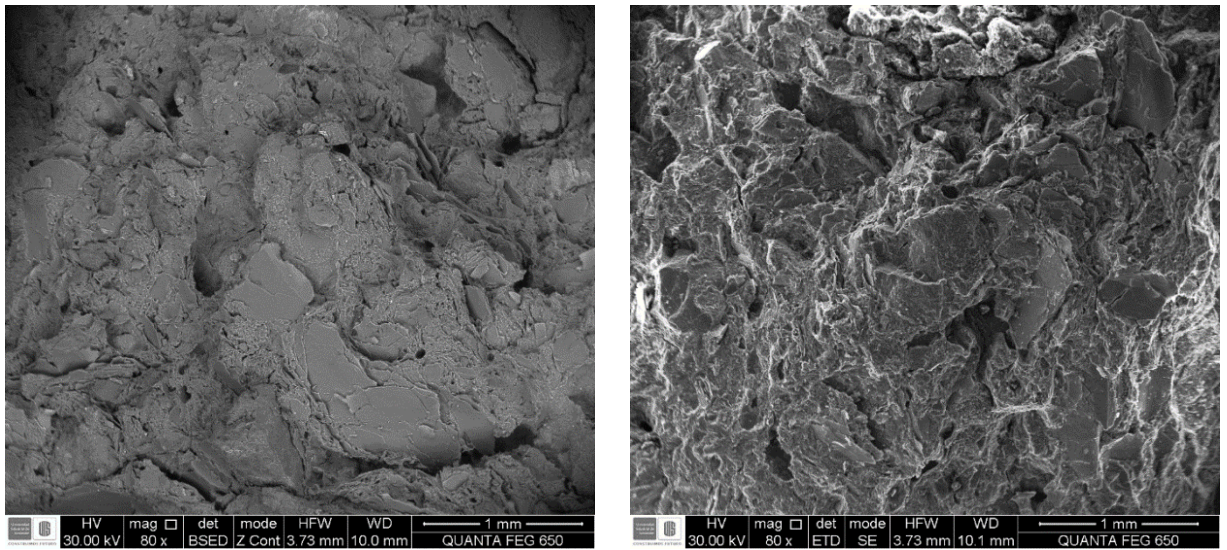
Vitrificación Total (VT):

Este grado de vitrificación fue evidente en algunas de las piezas cerámicas, especialmente observado con la textura “bubbly”, o de poros hinchados, la cual es atribuida a fusión parcial en altas temperaturas, el desarrollo de esta textura no es muy notorio en muchas imágenes debido a que la mala calibración de los materiales usados en la elaboración de estas piezas cerámicas fue una constante, siendo observada principalmente en la materia amorfa como zonas irregulares con muy alta concentración de poros. El tamaño predominante de estos poros se encuentra entre 5 a 10 μm , por lo cual la textura principal de estos poros hinchados es porosa media “medium pores bloating”. La significación de encontrar la textura “bubbly” radica en que es indicativa de una posible atmosfera de cocción principalmente reductora, desarrollada a partir de una temperatura de 850 °C en cerámicas no carbonatadas (Maniatis and Tites, 1981). Si bien es cierto que un grado de total vitrificación también puede ser encontrado bajo atmosferas oxidantes a una mayor temperatura, este tipo de textura “bubbly” tan desarrollada como la encontrada en algunas piezas es indicativa de una atmosfera reductora, y se encuentra asociada según Maniatis and Tites, (1975) con la liberación de gas, después que la vitrificación ha comenzado, siendo pronunciado a altos cambios de temperatura. Al ser principalmente estos poros finos a medios y aislados, indican que esta VT no se encuentra en su estado final.

Si bien esta vitrificación tuvo un gran y continuo desarrollo, la gran cantidad de inclusiones limitó la extensión de esta a la sustancia amorfa, lo que hace que en muchas imágenes SEM, el grado de VT no sea tan evidente. Este desarrollo de la fase vidriosa, el cual implica altas temperaturas en las piezas cerámicas analizadas, está de acuerdo con los indicadores de minerales de cocción o de neoformación, encontrados en el análisis de los datos IR, tales como la wollastonita, el dióxido, y la gehlenita, ubicando a las cerámicas desarrolladas por estas culturas, a un grado mayor de tecnología de cocción

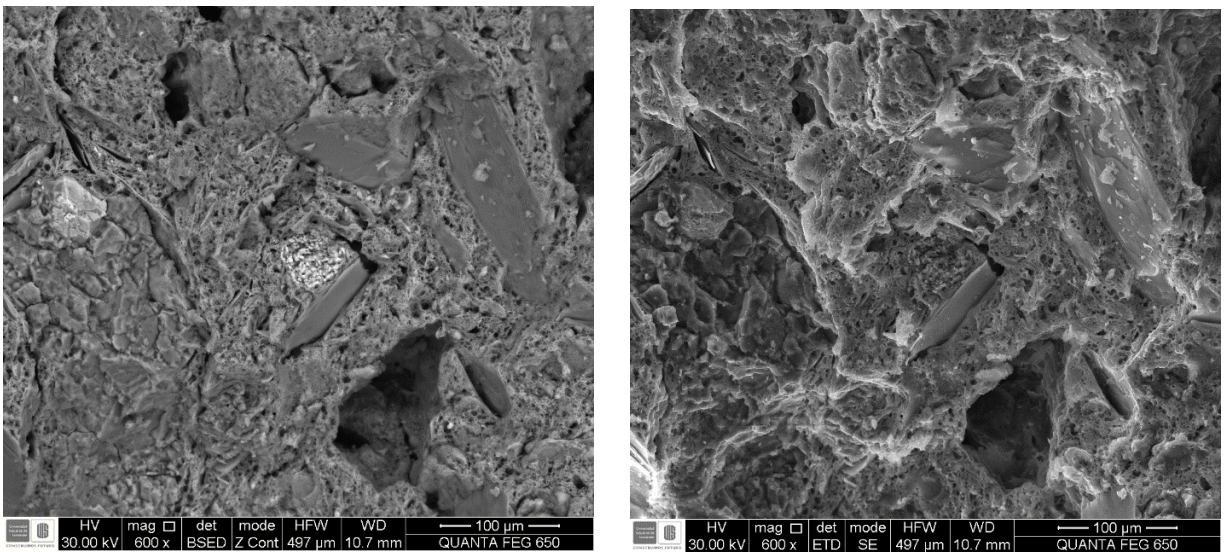
Figura 28. SEM de la pieza D2-11. La anisotropía estructural ya no es evidente quizás fue perdida en el desarrollo de la vitrificación o fue inexistente en esta pieza cerámica, y ya que la topografía de esta muestra es bastante irregular, a una simple observación parece tener una textura en mortero, pero al observar esta muestra con mayor detalle se ve el desarrollo de gran cantidad de poros. Por lo que se decidió analizar esta muestra

bajo un mayor aumento 300-100-50 μm evidenciándose bajo todos estos aumentos el desarrollo de la textura bubbly.VT.



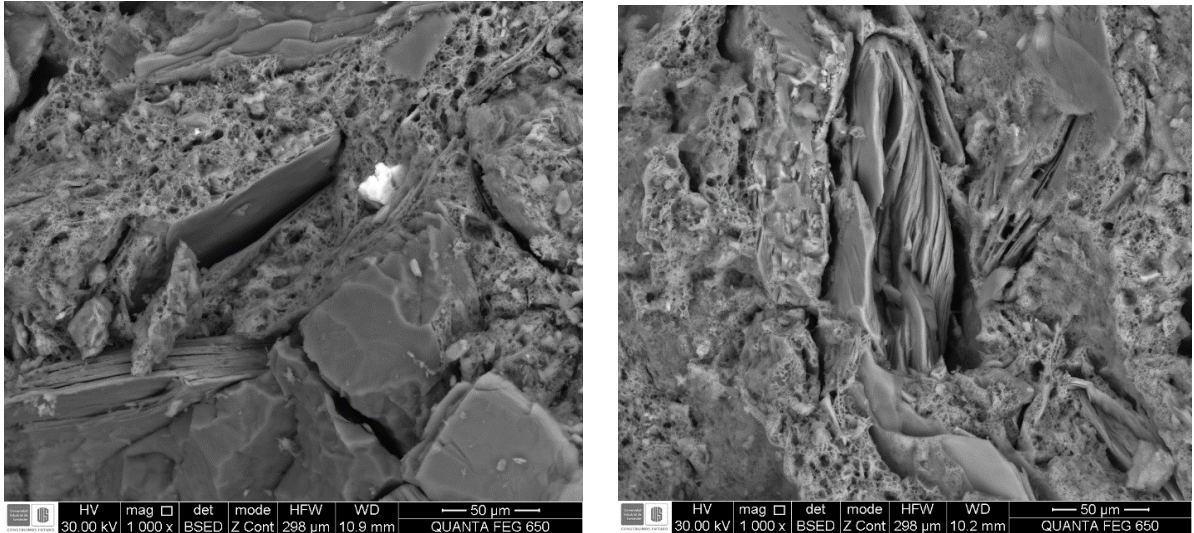
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 29. SEM de la pieza D2-11. Visto bajo un mayor aumento es evidente el gran desarrollo de la textura bubbly o de poros aislados.VT.



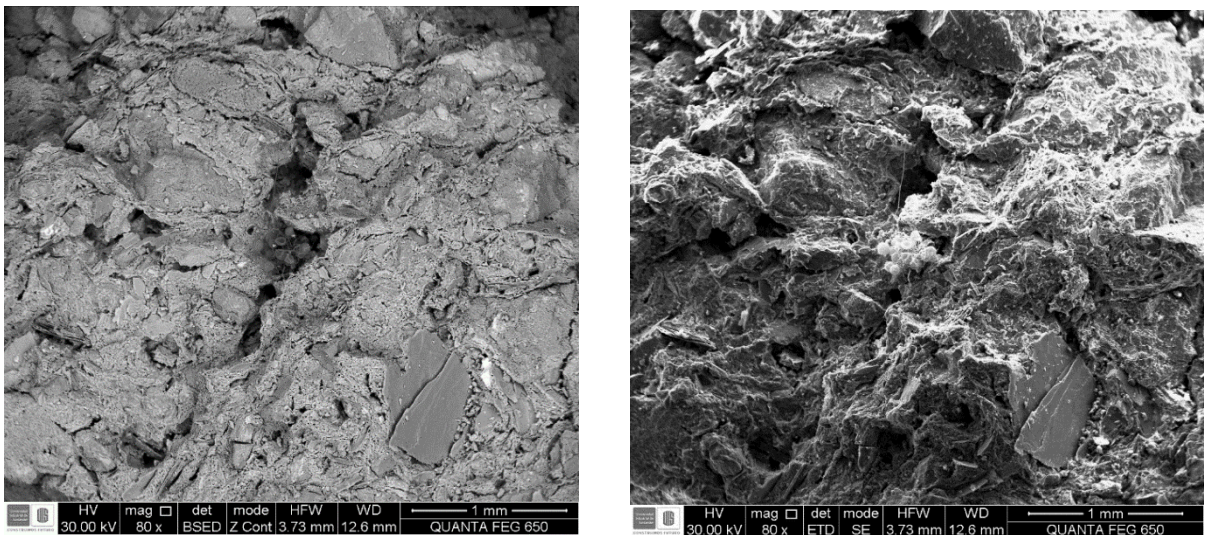
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 30. SEM de la pieza D2-11. El tamaño de los poros vistos en estas fotografías esta entre 5-10 μm ,en el centro tenemos cristales de filosilicatos.VT.



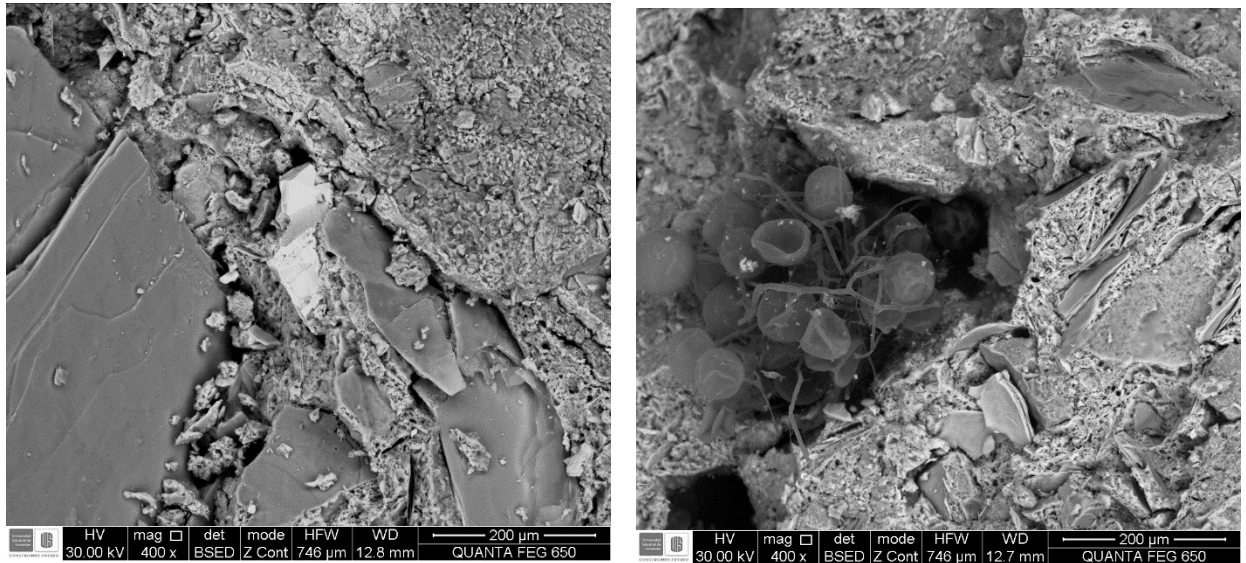
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará.

Figura 31. SEM de la pieza D4-4. A este aumento ocurre el caso de la muestra anterior, observado a detalle es posible ver gran cantidad de poros.VT.



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 32. SEM de la pieza D4-4. Se observa claramente la textura bubbly, en la imagen izquierda es posible observar el desarrollo de actividad biológica sobre esta pieza.VT.



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

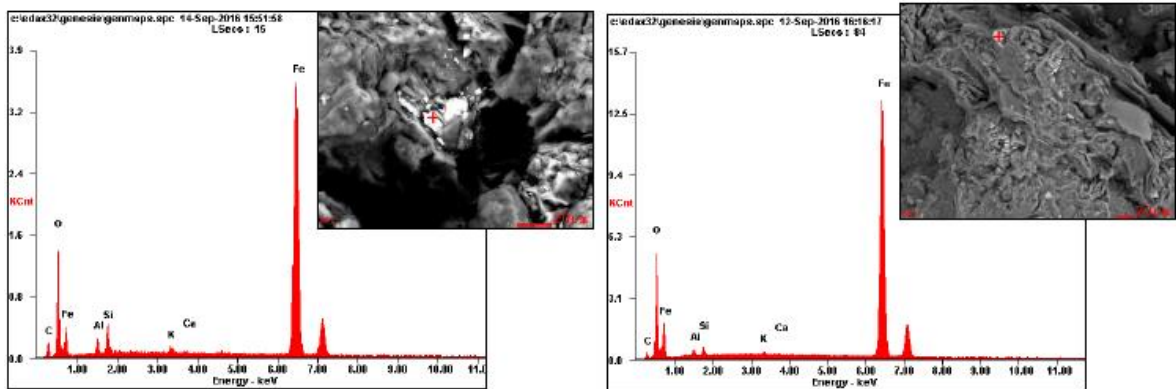
En relación con las implicaciones de los grados de vitrificación, una conclusión inmediata surge al respecto, y es que si bien gran parte de la marcada anisotropía de vitrificación puede ser solo un reflejo de la alineación del material durante la formación de las piezas cerámicas, la formación de esta, tanto en piezas cerámicas de material grueso como de fino, la observación de las fases vidriosas y estructuras en red, es un indicativo que posiblemente esta alineación se desarrolló o estuvo favorecida con el desarrollo de la vitrificación.

7.5.1 Análisis de los datos obtenidos con EDS

Los análisis por medio de la espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (EDS) permitieron corroborar la presencia de minerales vistos en el análisis DRX y comprobar la presencia de algunas fases minerales, que quizás por la escasa cantidad de estas no fueron evidenciadas por medio del análisis DRX. Muchas de las piezas cerámicas mostraron la gran presencia de Óxidos de Fe, aun en piezas

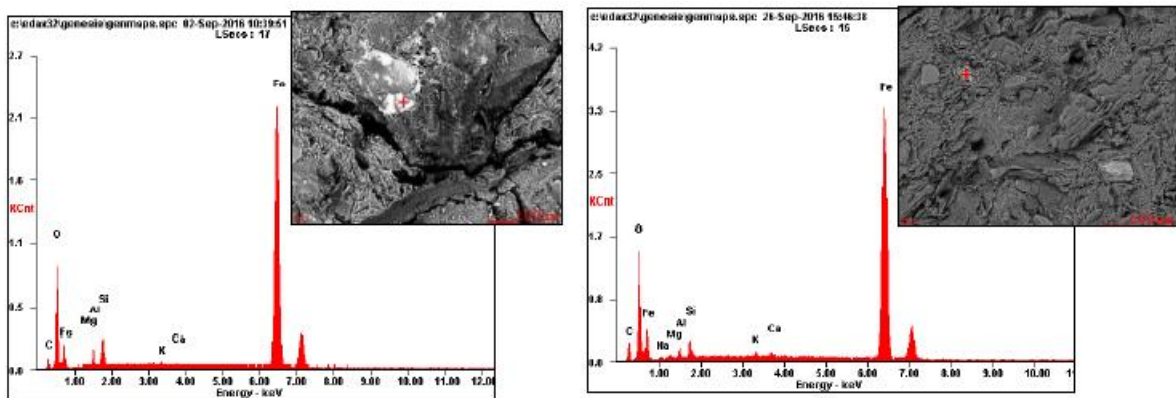
cerámicas las cuales no mostraron fases minerales que contienen estos minerales DRX, tal es el caso de las piezas F2-2, B4-6, E5-4, B2-2, lo que comprueba por un lado que la materia prima arcillosa con la cual fueron fabricadas gran parte de las piezas cerámicas fue ligeramente enriquecida en hierro, y por otro lado, es una prueba de la presencia de óxidos de hierro tales como magnetita y hematita que no fueron contemplados por los análisis de DRX, a partir de estos resultados, puede ser inferido el fino tamaño o la pobre cristalización de estas fases minerales.

Figura 33. Presencia de óxidos de hierro en las piezas E5-4 (izq) y B2-2 (der), escala 20 μm .



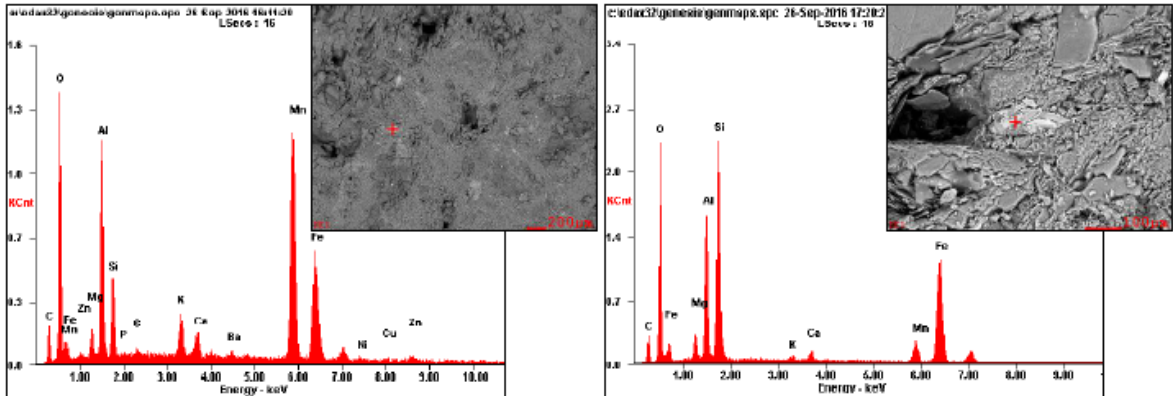
Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Figura 34. Presencia de óxidos de hierro en las piezas F2-2 (izq) y B4-6 (der) escala 100 μm .



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

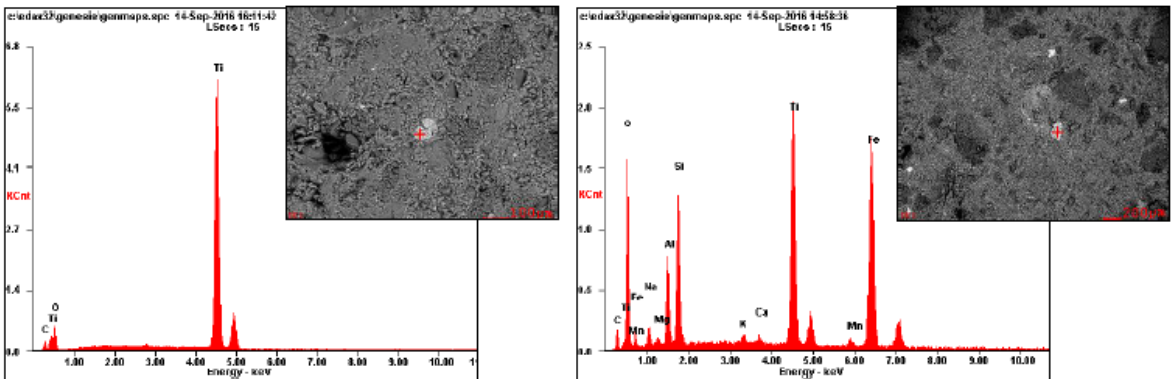
Figura 35. Presencia de manganeso en las piezas C3-3 (izq) y D2-6 (der), escala 200 y 100 μm .



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará. Universidad Industrial de Santander

Desde esta perspectiva destaca también la abundante presencia de óxidos de titanio, en piezas cerámicas en las cuales no se identificaron fases minerales con este elemento, tal es el caso de la pieza A2-4, B5-6, B4-6, y en muchas otras fue identificado el titanio en menores cantidades, como constituyente de la matriz, a su vez importantes concentraciones de manganeso se encontraron en las piezas C3-3 y D2-6, en las cuales no fueron reportados fases minerales que tengan Mn en su estructura.

Figura 36. Presencia de titanio en las piezas A2-4 (izq) y B5-6 (der), escala 100 y 200 μm .

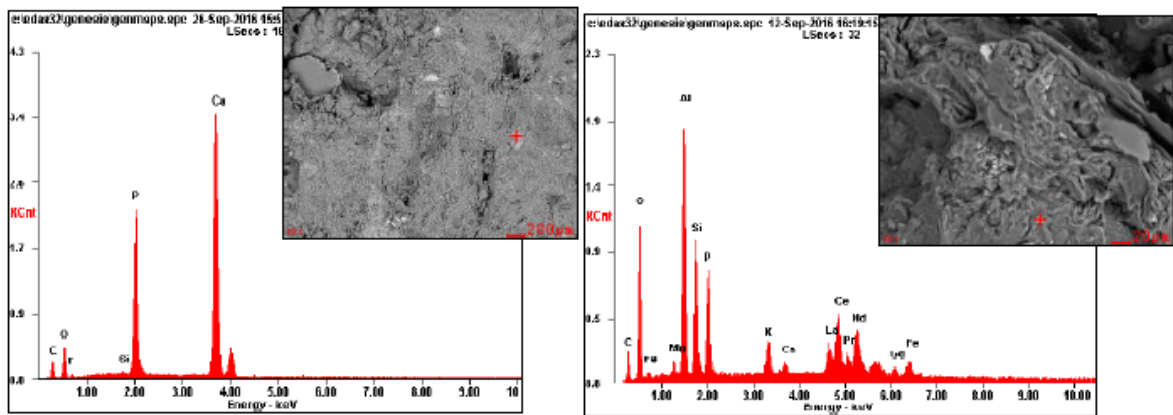


Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará.

El análisis EDS también mostro la presencia de moderadas cantidades de Si, Al, Mg, Na, K, Fe, bajas cantidades de Ca, Ti, Mg, Mn y muy altas cantidades de C, lo cual confirma que este carbón, está en su forma amorfa, y se encuentra en el

contenido de lo determinado en el DRX como sustancia amorfa. Este alto contenido de carbón es un indicador que el material arcilloso con el cual fueron fabricadas estas cerámicas contenía gran cantidad de materia orgánica. Es llamativa también la presencia de fósforo, el cual muestra una alta concentración en algunas piezas, tal es el caso de C3-3, B2-2, en las cuales esta alta concentración muestra minerales fosfatados, y en otras piezas, en las cuales la concentración es baja E5-4, B4-6, A3-4. Lo cual sustenta lo dicho anteriormente respecto al alto contenido de materia orgánica, y por otra parte puede ser un indicador del posible uso doméstico en la cocción de alimentos que se le dio a algunas de estas piezas, ya que gran parte de este fósforo puede tener su origen en plantas o huesos de animales, pero al haber sido estas piezas higienizadas con agua, la mayor parte de este fósforo producto de la cocción de alimentos pudo haber desaparecido.

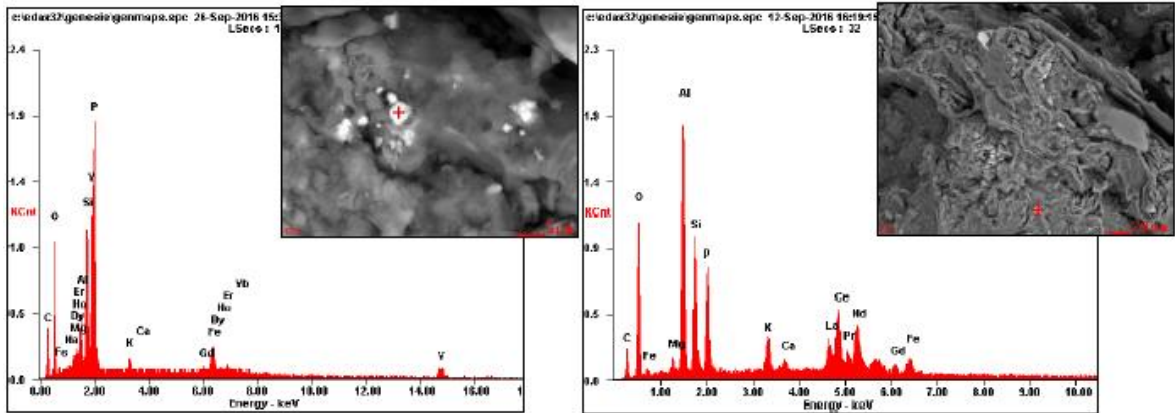
Figura 37. Presencia de posible apatito en la pieza C3-3 (izq) y de importante presencia de fósforo y REE en la pieza B2-2 (der), escala 200 y 20 μm .



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará.

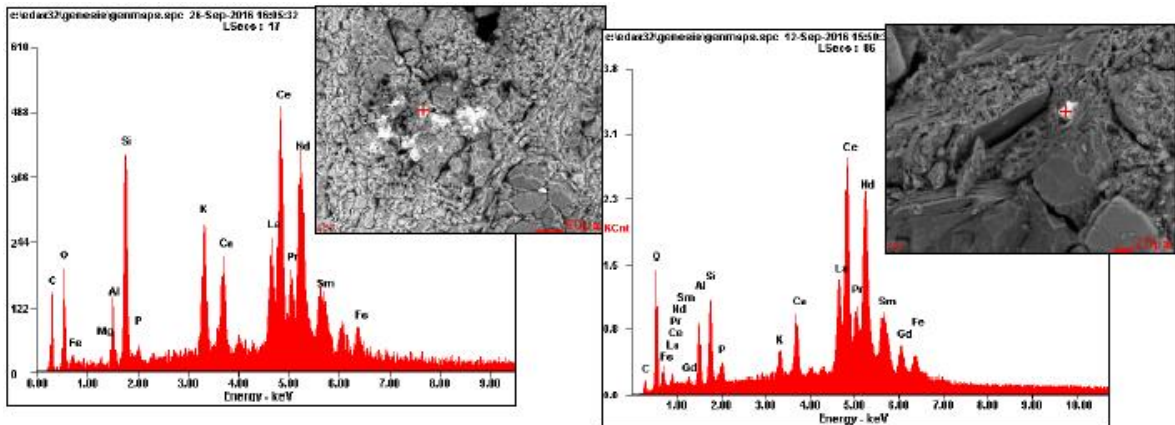
Llama también la atención, la presencia de pequeñas concentraciones de Ba, Zn, Cu, Pr, Sm, La, Ce, Nd, Gd, las cuales en algunas piezas cerámicas tales como C3-3, B4-6, D2-11 alcanza grandes concentraciones, reflejando fases minerales con importantes contenidos en elementos de tierras raras (REE). Revisando la literatura se encuentra a Ravinsakar et al., (2014) y a Szilágyi et al., (2011) quienes describen piezas cerámicas con concentraciones moderadas de elementos de tierras raras, sin embargo, las altas concentraciones encontradas en algunas piezas sugieren que estas fases minerales con contenidos de REE en su estructura, las cuales no fueron cualificadas ni cuantificadas por el DRX, ni por el IR, debido a su muy baja proporción y tamaño, provienen de la materia arcillosa con la cual estas fueron fabricadas.

Figura 38. Presencia de fases minerales con REE en las piezas B4-6 (izq) y B2-2(der) escala 5 y 20 μm .



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará.

Figura 39. Presencia de fases minerales con REE en las piezas C3-3 (izq) y D2-2(der) escl 50 y 20 μm .



Fuente. Laboratorio de Espectroscopia. Sede Guatiguará.

7.6 ANÁLISIS DE LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS APLICANDO FRX.

Si bien es cierto que idealmente los análisis de REE son claves para la caracterización de cerámicas provenientes de distintas fuentes, o de la misma fuente, pero sensiblemente distintas entre sí químicamente, sin embargo, los análisis de elementos mayores pueden también ser usados para discriminar distintos tipos cerámicos, y están fuertemente ligados a la fuente de proveniencia

del material arcilloso usado para su elaboración. Según Degryse and Braekmans, (2014) las firmas elementales de cerámicas arqueológicas son un reflejo de la arcilla, las inclusiones aplásticas (naturales o desgrasantes), y para el caso de REE el agua y cambios causados por el uso o la diagénesis.

Los análisis químicos de FRX fueron llevados a cabo en 13 pastas cerámicas de las piezas analizadas en el desarrollo de esta investigación A2-1 (1), F2-2 (9), A3-4 (17), D2-11 (25), B2-2 (33) del grupo rojo, D4-4 (49), B5-6 (57), F3-3 (65), E5-4 (73) del grupo gris, B4-6 (81), A2-4 (89) del grupo negro, C3-3 (97) del grupo café y D2-6 (113) del grupo marrón rojizo, mostrado en el anexo 1. Posterior a este análisis también fue llevado a cabo otro análisis de FRX con tratamiento muestral, y calcinación con la respectiva determinación del porcentaje de pérdida por ignición (L.O.I) desarrollado específicamente sobre las muestras analizadas con DRX cuantitativo (A2-1 , F2-2 , D2-11 del grupo rojo, D4-4 , B5-6 del grupo gris, A4-4 (105) del grupo café, y D2-6 del grupo marrón rojizo) mostrado el anexo 1 y fue llevado a cabo tomando en cuenta la pasta cerámica y la parte externa de la cerámica.

Los altos valores en pérdida de ignición (LOI) evidenciados en la muestra A4-4 (105) son atribuidos a las altas cantidades de CaO, lo cual es un reflejo de las altas cantidades de calcita evidenciadas en el análisis DRX cuantitativo para esta pieza, mientras las más altas cantidades en SiO₂ son vistas en las piezas D2-11 (25), B2-2 (33), E5-4 (73), A2-4 (89), lo cual es relacionado al alto contenido en cuarzo y/o feldespatos de estas piezas. El rango de concentraciones en hierro (Fe₂O₃) y aluminio (Al₂O₃) fue de 6,6 % a 9,29 % y 16,81 % a 26,3 %, respectivamente, la pieza A4-4 (105) revela los más bajos contenidos en óxido de hierro (Fe₂O₃) 4,11% y en hierro elemental 2,88 % lo cual puede encontrarse directamente relacionado a su color claro, los óxidos alcalinos tienen concentraciones altas de 2,98 % a 7,72 % para el K₂O y moderadas de 0,25 % a 1,82 % para el Na₂O, que están relacionados con los contenidos elementales de K 2,48 % a 6,41 % y Na 0,18 % a 1,35 %. Estos altos contenidos de elementos alcalinos y óxidos alcalinos favorecen la vitrificación, y el alto contenido en potasio puede estar relacionado aparte de su ocurrencia natural a la adición de ceniza de madera. (Iordanis et al., (2008). Los más bajos contenidos en sodio y potasio son observados en la pieza A4-4 (105), y está relacionado al no contenido de feldespatos encontrado en esta pieza.

Los contenidos en MgO son bajos y varían entre 0,67 % a 4 % estando relacionados a la escasa presencia de piroxenos ricos en Mg, los cuales no fueron observados en los análisis DRX, más en los análisis de IR, aparecen en algunas cerámicas en una cantidad tan ínfima, que es considerada como traza. Los contenidos en MnO

varían entre 0,05 % a 0,2 % y 0,04 % a 0,15 % no encontrándose contenido alguno de Manganeseo (Mn) en la pieza A2-4 (89) lo que se refleja en la no presencia en esta pieza cerámica de mineral alguno que contenga Mn en su estructura. El contenido de TiO_2 varía entre 0,7% a 1,51% y entre 0,42 % a 0,91 % para el Titanio, estos altos contenidos son debidos a la presencia de polimorfos de TiO_2 en muchas de las piezas cerámicas, y el contenido de P_2O_5 varía entre 0,09 % a 1,29 % y 0,04 % a 0,5% para el fósforo elemental. Ahora bien, comparando las concentraciones obtenidas en las piezas cerámicas analizadas sin tratamiento alguno con las piezas analizadas con un tratamiento de tamizaje, molido y un tratamiento térmico posterior se percibió que, si bien los valores variaron, los contenidos permanecieron dentro de un rango similar, excepto para el CaO que como se verá más adelante tendieron a disminuir.

En lo concerniente a la clasificación de estas cerámicas en provenientes de arcillas carbonatadas o no carbonatadas se siguió lo dictado por Maniatis and Tite, (1978) quien definió a las cerámicas provenientes de arcillas carbonatadas como las cerámicas que contienen más de 5 % en contenido de CaO. Con el fin de buscar grupos cerámicos carbonatados se revisaron los contenidos de CaO mayores a este valor en la totalidad de las piezas analizadas, encontrándose que solo cuatro de estas hacen parte de este grupo y son la pieza A2-4 (89) cerámica del grupo negro, unidad negro sin mica, que contiene calcita magnesiana y tiene un porcentaje de 5.92, la pieza A3-4 (17) cerámica mate del grupo rojo que tiene un porcentaje de 5.31 % y las dos piezas C3-3 (97), A4-4 (105) cerámica analizadas del grupo café, que contienen 6.29 % y 34.19% respectivamente.

No habiendo una clara relación en estas piezas carbonatadas se procedió a realizar en algunas piezas en las que apareció poco contenido de CaO, un análisis más preciso en el que no únicamente se analizó la parte interna, en cambio se analizó la parte interna y externa, para la determinación de contenidos elementales de la totalidad del cuerpo cerámico, en el cual uno de los fines fue el de comparar los contenidos obtenidos por medio de la técnica de FRX sin tratamiento alguno, con los obtenidos por medio de la técnica FRX con un tratamiento específico de tamizado, molido y calcinación posterior, tendiendo este último a ser más preciso en la determinación del CaO.

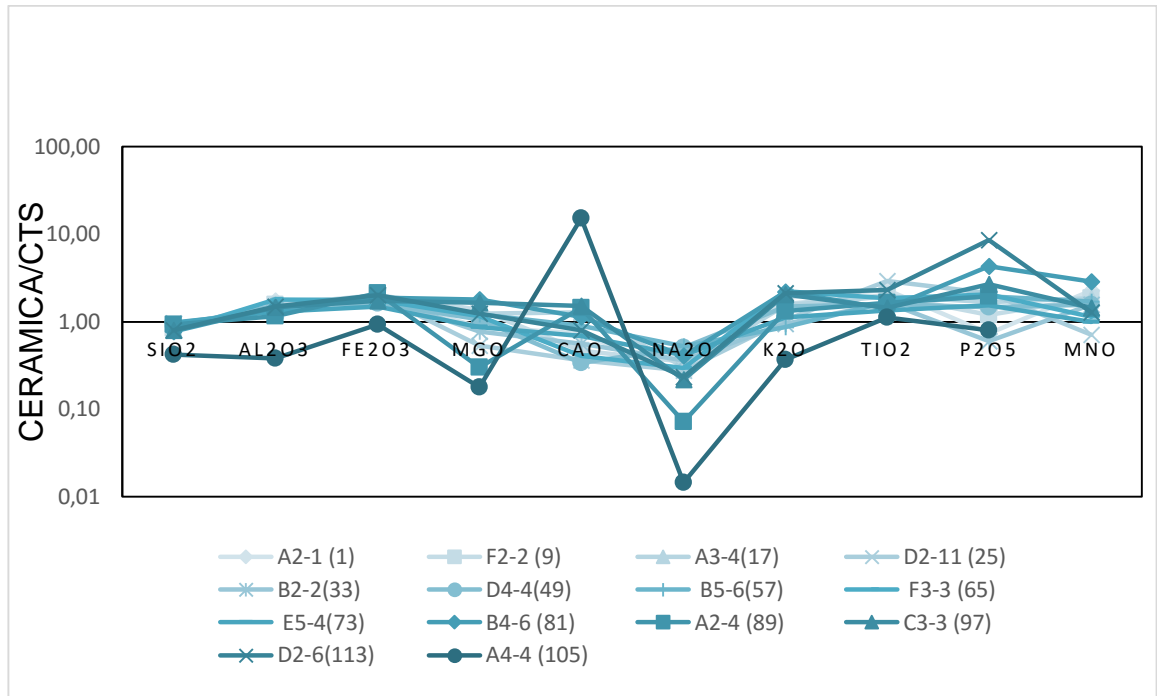
A partir de estos resultados se evidencia que los resultados obtenidos con tratamiento de la muestra y calcinación en su totalidad tienden a contener menores contenidos de CaO comparados con los resultados de FRX sin tratamiento alguno. Esto parece indicar que las unidades que se alejan por menos de 1 de este valor de 5, pueden contener ligeramente menores contenidos de CaO de los que indica el

análisis FRX sin tratamiento alguno, a lo cual se acoge únicamente las piezas cerámicas analizadas del grupo café como piezas provenientes de arcillas carbonatadas. Este uso de arcilla calcárea según Tite and Maniatis, (1975) determinada en parte que su disponibilidad es de interés e importante definirla ya que este tipo de arcilla, posee distintas propiedades de vitrificación, lo cual facilita la cocción.

Dos maneras de procesar los resultados de los análisis de FRX fueron aplicadas: (1) Representación de las concentraciones elementales normalizadas en diagramas de abundancia multi-elemental, conocidos como diagramas spider y (2) Representación de las concentraciones en diagramas de correlación bivariados haciendo uso de los radios elementales en vez de las concentraciones absolutas y diagramas ternarios. Esta última forma de representación fue mejor para perfilar las similitudes y diferencias entre las piezas individuales. Para lograr una mayor comparación, la normalización fue realizada usando dos modelos, los datos fueron normalizados respecto a la media de la corteza terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995 en: Santos, (2010)) y también a las arcillas australianas post-arquéanas (PAAS) el cual es un geo estándar preferido en las investigaciones geoquímicas de rocas sedimentarias para sedimentos siliciclásticos de grano fino (Taylor and McLennan, 1985). Cabe resaltar que los estudios por medio de la estadística multivariable, fueron realizados en base a los datos de FRX para lograr un mejor análisis de estos datos

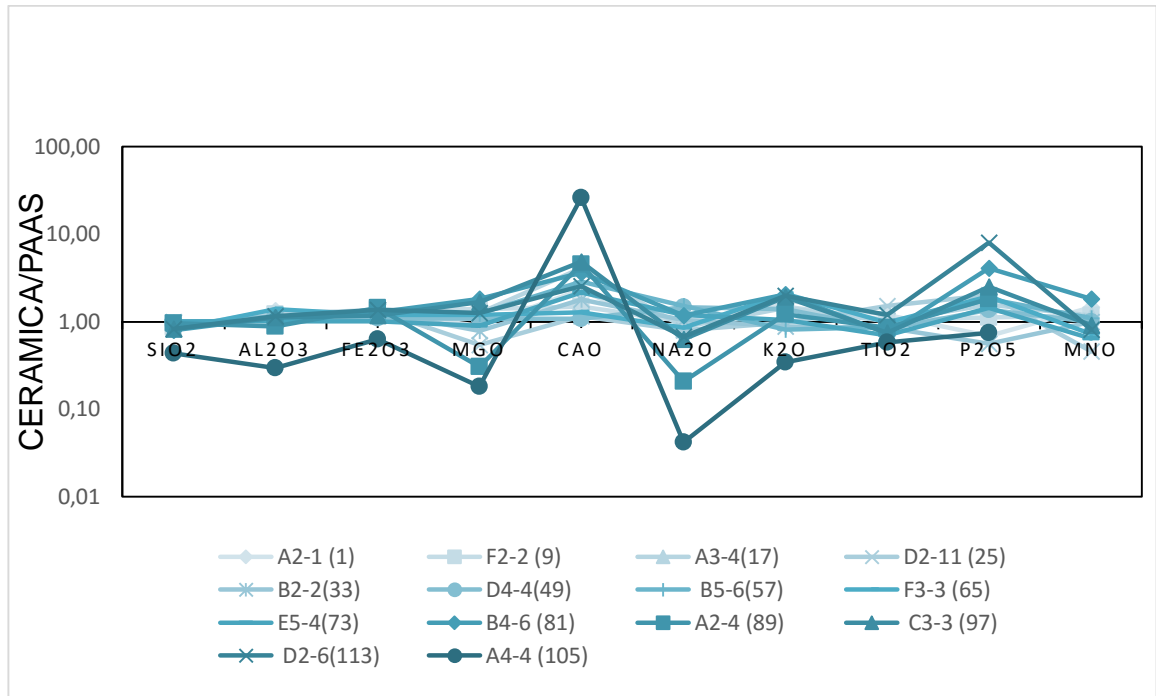
Ahora bien, al confrontar las concentraciones de los elementos mayores con la media crustal (Wedepohl, (1995) en: Santos, (2010)) es observado el enriquecimiento en hierro lo cual puede deberse a la gran disponibilidad de este elemento en el área que se ve reflejado en la materia prima con la cual fueron hechas estas piezas. Por otra parte, los valores de Al, Mg, K, Ti y Mn, son ligeramente mayores a la media crustal, el Si y el Ca se encuentran ligeramente empobrecidos, y el Na se encuentra muy empobrecido respecto a la media crustal. Un alto valor en P comparado con la media crustal es el proveniente de la pieza D2-6 (113) y es posible que se deba a posibles usos de estas piezas para preparar alimentos.

Figura 40. Concentraciones de los elementos mayores en los fragmentos cerámicos analizados siendo normalizados a la corteza media según los datos de Wedepohl, (1995) en: Santos, (2010).



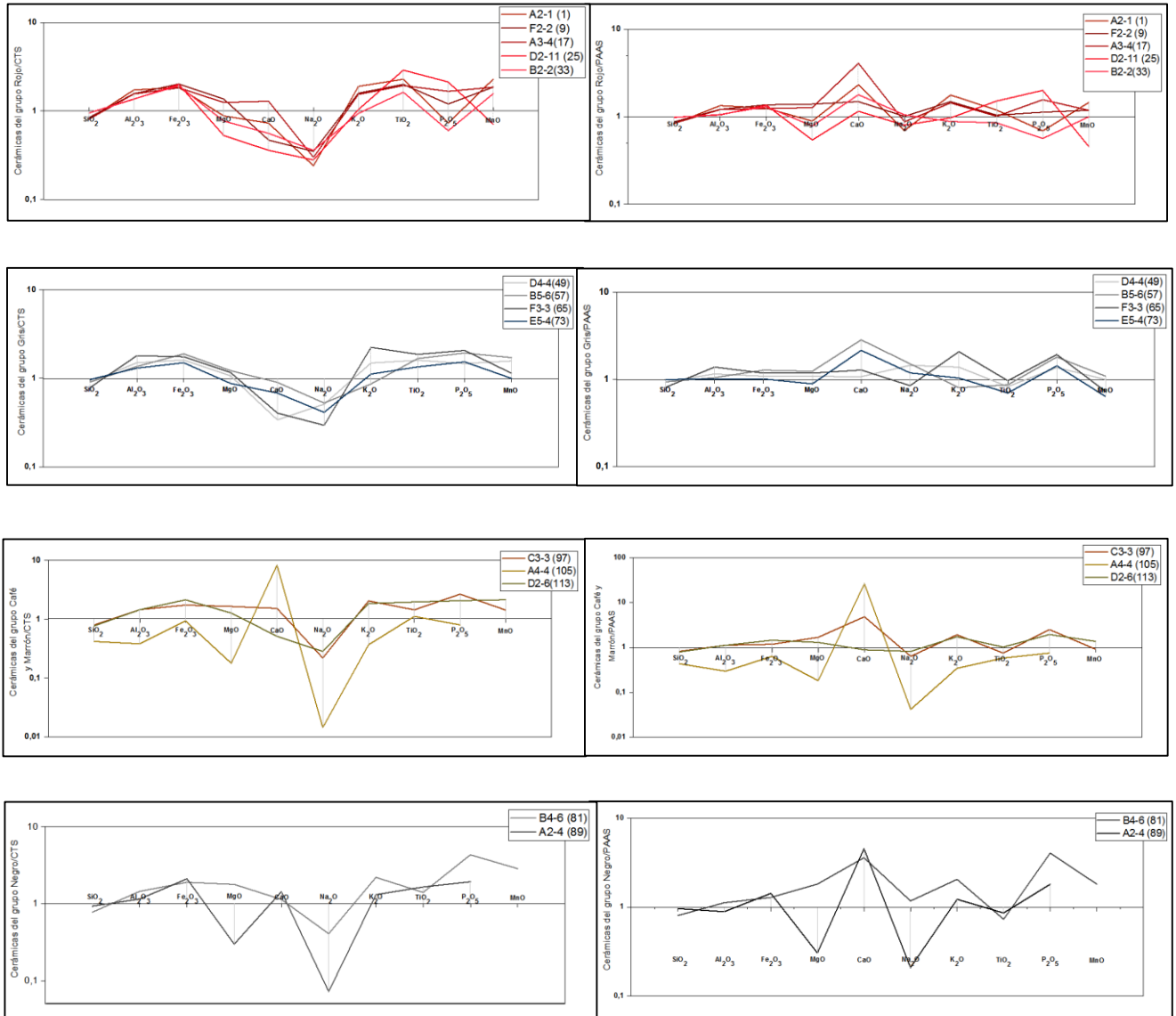
Comparando los contenidos de Na con el PAAS (Taylor and McLennan, 1985) se encuentran próximos estos dos valores, en general se observa una mayor similitud, en las concentraciones al ser comparadas con el PAAS, lo que se debe al hecho que la materia prima empleada para las piezas cerámicas estuvo constituida principalmente de arcillas. El enriquecimiento en Fe comparado con el PAAS es un poco menor, lo que indica principalmente, que el material arcilloso con el cual se elaboraron gran parte de estas piezas estuvo ligeramente enriquecido en hierro.

Figura 41. Concentraciones de los elementos mayores en los fragmentos cerámicos analizados siendo normalizados a PAAS según los datos de Taylor and McLennan, (1985).



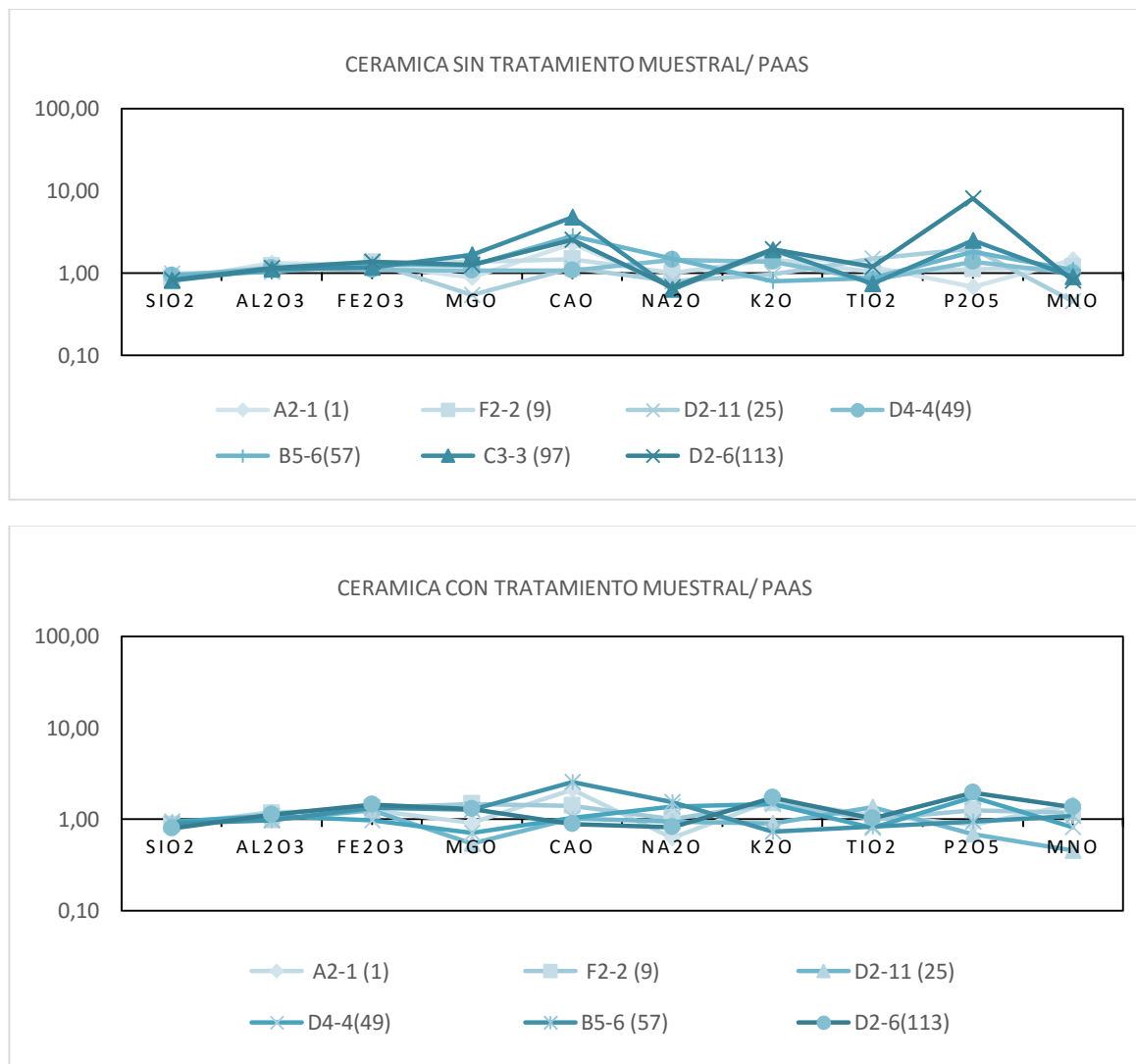
Por medio de la interpretación de los diagramas spider se puede evidenciar por una parte el alto grado de similitud entre las piezas que conforman el grupo rojo y por otra un bajo grado de similitud, el cual si bien se hace más evidente debido al pequeño espacio muestral son en algunos casos, grandes las diferencias entre piezas en los grupos grises, negro y café, las cuales se hacen más o menos notorias según si se encuentran normalizados a la media cortical o al PAAS. Estas diferencias para el caso del grupo gris son pequeñas y se observan principalmente en las concentraciones de calcio, sodio y potasio, para el caso del grupo negro las diferencias son notorias en los contenidos de magnesio, manganeso y sodio, es pequeña en el potasio y hay una cercana coincidencia en las concentraciones de calcio. Para el caso del grupo café, las dos piezas del grupo analizado son muy diferentes entre sí, en casi todas las concentraciones, y para el caso del grupo marrón rojizo, al tener un espacio muestral de una unidad, no se pueden hacer comparaciones con esta pieza cerámica.

Figura 42. Concentraciones de los elementos mayores en los fragmentos cerámicos organizados según el sistema alfarero y normalizados a la media cortical y al PAAS.



Desde otra perspectiva se hace necesaria una comparación entre los resultados obtenidos sin ningún tratamiento muestral, analizando solo la parte interna de los cuerpos cerámicos, con los resultados obtenidos con tratamiento muestral de molturado y calcinado y en los cuales fueron analizados tanto la parte externa como la interna, de seis piezas cerámicas analizadas. Esta comparación fue realizada haciendo uso de la normalización por medio de los datos de PAAS Taylor and McLennan, (1985), ya que con estos datos se obtuvo una mayor correlación.

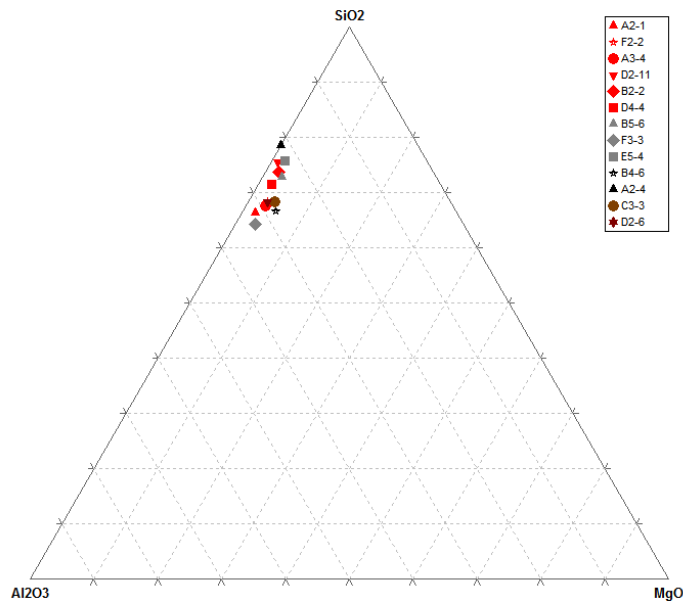
Figura 43 y 44. Concentraciones de los elementos mayores en los fragmentos cerámicos sin y con tratamiento muestral, normalizados a PAAS según los datos de Taylor and McLennan, (1985).



En esta comparación pueden ser observados en los diagramas spider, la mayor homogeneidad presente en los datos de FRX se da en los datos obtenidos con tratamiento muestral, aunque con la observación de estos diagramas se puede evidenciar que a excepción de las concentraciones de calcio y fósforo, las concentraciones normalizadas tienden a permanecer similares, lo cual hace pensar que algunas de las pastas cerámicas analizadas se encuentran ligeramente enriquecidas en estos dos componentes.

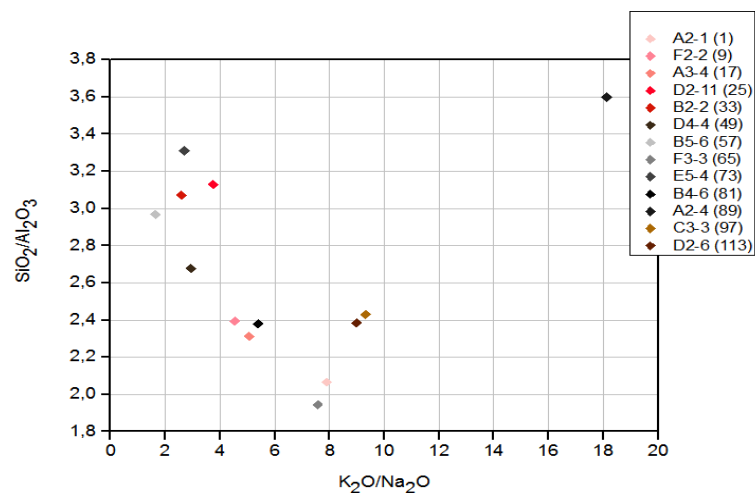
En el diagrama SiO_2 , Al_2O_3 , MgO no es posible hacer distinción entre los grupos cerámicos planteados por el sistema alfarero, sin embargo, puede ser observada una marcada homogeneidad en la totalidad de estas piezas, lo cual puede ser un indicador que no fueron empleadas materiales primas distintas en la elaboración de las piezas cerámicas, o las materias primas empleadas no tenían una gran variación. También por medio de esta gráfica se puede evidenciar que los horizontes o niveles no presentan una relación con el contenido en SiO_2 , siendo similares entre las piezas cerámicas más profundas encontradas a 120-130 centímetros (D2-11) y entre 50-60 centímetros o más superficiales. Lo cual puede ser un indicativo que el empleo de desgrasante cuarzoso, o arena cuarzosa, en la fabricación de las piezas cerámicas, y también puede indicar el mantenimiento en el tiempo de la técnica de producción, en especial el uso de material cuarzoso como desgrasante.

Figura 45. Diagrama ternario SiO_2 vs Al_2O_3 vs MgO . Los colores no son un reflejo de los colores de las piezas cerámicas.



Si bien esta homogeneidad no es tan evidente en el diagrama de radios elementales $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Vs $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, continua y no es muy notable debido a la escala del diagrama. En este se puede observar una gran variación en el eje de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, pero si se observa detalladamente esta variación es de apenas 2 unidades $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, lo cual representa una muy baja variación, y es debido a valores altos de Al_2O_3 unido a valores normales a bajos en SiO_2 , los cuales reflejan predominancia de silicatos en estas piezas. Principalmente las piezas cerámicas de este diagrama pueden ser separadas en dos grupos; bajo $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ - bajo $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ y bajo $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ - alto $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$.

Figura 46. Diagrama $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Vs $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$



7.7 DETERMINACIÓN DE LAS MÁXIMAS TEMPERATURAS ALCANZADAS POR LAS PIEZAS DE CERÁMICA.

En referencia a los antecedentes de esta investigación en muchas de las cuales la presencia o ausencia de fases minerales específicas son a menudo usadas para la estimación de las temperaturas de cocción en cerámicas arqueológicas y sobre la base del análisis de las fases cristalinas y débilmente cristalinas presentes en las pastas cerámicas encontradas, las cuales fueron determinadas haciendo uso de diversos métodos de examinación mineralógica instrumental se han encontrado claros indicios que sugieren que las temperaturas a las cuales fueron coccidas estas piezas cerámicas fueron mucho mayores a las pensadas por los arqueólogos que estudiaron estas piezas, quienes por medio de comunicación hablada manifestaron la hipótesis en la cual expresaban que en general las cerámicas encontradas en Los Teres al ser cocidas bajo hoguera no llegaron a sobrepasar los 400 °C.

Sobre la validez y en base al análisis de los resultados expuestos en esta investigación se sugieren mayores temperaturas de cocción de las piezas analizadas principalmente en un rango fluctuante arriba de los 500 °C e inferior a los 900 °C, siendo 900°C probablemente la temperatura máxima alcanzada por algunas de estas piezas. Las principales evidencias que sugieren estas altas temperaturas serán resumidas a continuación:

El escaso/nulo contenido de claras evidencias de materia orgánica tales como relictos de raíces, hojas, madera, etc. Junto al color oscuro de estas piezas y en algunas su drástico cambio de tonalidad entre la parte interna y la parte externa, llamado en esta investigación como estructura en corazón negro puede ser originado probablemente por la pirolisis de vapores orgánicos originados de un material probablemente con alto contenido de materia orgánica y en un horno con poca o nula admisión de aire, sugieren una temperatura mayor a 400 °C, y una tecnología de cocción más elaborada con algún tipo de horno que restringió el ingreso de aire e hizo que esta cocción operara también bajo una atmosfera reductora.

El encuentro de algunos indicios en espectroscopia infrarroja IR de fases minerales propias de altas temperaturas de cocción, como la anortita, wollastonita, gehlenita y dióxido sugieren temperaturas de cocción superiores a 700 -800 °C, más al no ser estas fases minerales encontradas en los análisis DRX cualitativos ni cuantitativos, puede ser un indicativo del bajo desarrollo, la baja cristalinidad y la escasa proporción presente de estas fases, a lo cual su probable presencia puede estar en el porcentaje de lo conocido como materia amorfa y otros. La excepción a lo dicho anteriormente es la pieza B4-6 la cual el análisis DRX cualitativo mostro fosagita, mineral del grupo de la wollastonita el cual confirma para esta pieza temperaturas ligeramente superiores a 800 °C. La presencia de anatasa y la no transformación de este en rutilo permite suponer que el rango de cocción fue de 500-600 °C en algunas piezas del grupo rojo en las cuales fue encontrado este mineral.

La presencia de Calcita, Calcita magnesiana y dolomita, impone un límite de 900 °C como máxima temperatura de cocción, este límite es teóricamente 100 °C menor para la dolomita. Entonces en virtud de este dato las muestras se asumen que las piezas cerámicas en la cuales fue encontrada calcita, no alcanzaron temperaturas superiores a los 900 °C.

La albita heat treated parece tener una relación con el grado de vitrificación observado en el SEM, siendo observada esta fase de la albita, cuando las piezas cerámicas muestran algún grado de vitrificación. La albita desordenada no muestra esta relación, a su vez, la microclina tampoco presentó una relación aparente con las texturas vistas en el SEM ni con la serie polimórfica de la albita, a excepción de cuando la microclina máxima coincide con la albita (heat treated), que sucedió en las piezas (D2-11 (25) y B2-2 (33)) en las cuales se logró observar un grado de vitrificación superior, VT, V+ respectivamente, mas esta relación no es tan clara ya que en la muestra D4-4 posee albita (heat treated) y microclina ordenada mostrando una textura de total vitrificación VT en el SEM, e indica que probablemente los mayores picos de temperaturas pudieron haber pasado los 900 °C y fueron evidenciados en piezas sin contenidos de minerales carbonatados.

El gran contenido en materia amorfa probablemente sea un reflejo de que muchas de las fases minerales presentes en un tamaño fino hayan perdido su cristalinidad o hayan pasado a su fase inestable aportando al contenido de materia amorfa debido a altas temperaturas experimentadas por el material, sin embargo, no se encontró una relación directa entre la cantidad de materia amorfa con el grado de cristalinidad mostrado en la pieza, ni con la mineralogía presente.

Si bien es cierto que el análisis de texturas en el SEM fue clave para indicar temperaturas por arriba de 600 °C, en Maniatis and Tites, (1978) se encontró, teniendo presente que la mayor parte de las cerámicas analizadas fueron no carbonatadas, que en general el grado de no vitrificación se encuentra en cerámicas con temperaturas menores a 800 °C y 750 °C, la vitrificación inicial a temperaturas entre 800-850 °C y 750-800°C, la vitrificación o extensiva vitrificación a temperaturas entre 850-950 °C y 800-850 °C, la total vitrificación a temperaturas entre 950-1000 °C y 850-900 °C, para ambientes reductores y oxidantes respectivamente. Mas no se realizó una relación directa entre el grado de vitrificación mostrado y un rango de temperatura específico, debido a que la evidencia apunta a condiciones fluctuantes entre oxidantes y reductoras, siendo predominantes las condiciones reductoras, por esto esta investigación se limitó a indicar en esta investigación que los grados de vitrificación más altos fueron alcanzados a una más alta temperatura, y el grado de no vitrificación representa cerámicas en las que la temperatura predominante fue menor a 750-800 °C.

7.8 DETERMINACIÓN DEL AMBIENTE DE COCCIÓN

El encontrar magnetita en el cuerpo cerámico es un indicativo de que este cuerpo fue cocido en un ambiente reductor, a su vez, el encontrar hematita en un cuerpo cerámico es indicativo que fue cocido en un ambiente oxidante, es decir con gran entrada de aire, o una combustión más eficiente del combustible. Si bien esto dicta la base teórica con la cual comenzamos esta investigación (Velraj et al.,(2005), Szilágyi et al., (2012), Kramar et al., (2012) entre otros) tanto la posibilidad que mucha de esta magnetita o hematita proviniera de la materia prima y no fuese un reflejo de la cocción, como el no encontrar en el DRX fases cristalizadas de magnetita o hematita en algunas piezas cerámicas, bien pudieron ser el reflejo del fino tamaño o de la pobre cristalización de la fase, pero también son un reflejo de que este argumento se queda limitado al no encontrar fases cristalizadas de estos minerales en el cuerpo. Cabe destacar el análisis de los datos EDS, el cual proporciono evidencia de la presencia de estos óxidos de hierro, en piezas cerámicas en las cuales el DRX no mostro su presencia, lo cual apoya la hipótesis del fino tamaño o pobre cristalización de estas fases minerales y permite indicar, no sin un grado de error, el ambiente de cocción predominante para las piezas cerámicas analizadas.

Por otro lado, en las piezas cerámicas analizadas es mayor por una relación de casi 3:1 la presencia de magnetita que de hematita, que bien puede ser un indicativo de la amplia presencia de este mineral en la materia prima, o realmente que las amplias presencias de magnetita estén indicando condiciones de cocción principalmente reductoras. Por otra parte, las estructuras en corazón negro evidenciadas en algunas piezas cerámicas es un indicio de condiciones reductoras, en las visitas a campo se evidencio la gran presencia de hematita en su variedad terrosa y botroidal y también en comunicación hablada con campesinos y personas de la zona que han estudiado empíricamente los relictos de estas sociedades se planteó la idea de hornos bajo tierra en los cuales cocían las cerámicas.

Tomando en cuenta las apreciaciones anteriores se propone que las condiciones de cocción, o el ambiente de cocción, fue principalmente variable, en condiciones reductoras y oxidantes, lo cual hace pensar una mayor tecnología en la cocción y no solamente bajo una hoguera, con el probable uso de toscos hornos, ya sea formados en la superficie con capas de material arcilloso conocido por los arqueólogos como greda, puestas sobre madera, u hornos bajo la superficie en una combustión subterránea.

7.9 METODOLOGIA Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIABLE PARA LA REDUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DATOS DE FRX DE LAS CERÁMICAS.

Los resultados obtenidos en los análisis FRX fueron procesados por métodos estadísticos, en los cuales por medio de análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados o clusters, se agrupan de una manera ordenada y fácil a la vista los datos. Estos análisis se realizaron tomando en cuenta bibliografía de Medeghini et al., (2016), Maritan, (2015), Kramar et al., (2012), Pillay, (2000), y Teoh et al., (2004), donde son empleadas estas herramientas para analizar estadísticamente los diversos datos que se encuentren en la muestra, ya sea usando técnicas como IR, DRX o FRX.

Realizar estos estudios estadísticos tiene como principal fin organizar los datos de manera que se visualicen correlaciones entre las variables existentes, ya que se espera que éstas estén relacionadas entre sí o bajo un patrón base de referencia. Esto nos permite tener un mejor entendimiento de los resultados que se obtienen en las diferentes técnicas analíticas, buscando una mejor interpretación de estos, teniendo en cuenta todas las variables, sin prescindir de ninguna de ellas en el análisis. Otro punto importante por el cual se realizan estos estudios estadísticos utilizando dos análisis de multivariantes, es analizar las ventajas y desventajas en la utilización de información que contiene cada uno de estos.

Para la presente metodología, las 13 piezas cerámicas analizadas usando la técnica de FRX, fueron analizadas haciendo uso del software OriginPro 2016, el cual es usado para gráficos y análisis de datos científicos, utilizado tanto en la industria como en instituciones académicas y laboratorios, por ser una herramienta fácil de utilizar a medida que se familiariza con sus funciones.

7.9.1 Análisis de componentes principales. El análisis de componentes principales se identifica por el número más pequeño de variables no correlacionadas sobre un conjunto de datos multivariantes, siendo su objetivo, explicar la máxima cantidad de varianza con el menor número de componentes principales. Es decir, estos análisis transforman las variables obtenidas en nuevas variables, llamados componentes, los cuales a partir de desigualdades permiten elegir los principales datos y descartar los menos importantes, prescindiendo de algunos de éstos que

no tienen tanta relevancia en la interpretación, ya que antes de realizar este tipo de análisis estadístico, todos los datos obtenidos en un estudio analítico son principales. El objetivo de esta técnica de análisis es conseguir una representación bidimensional de una realidad multidimensional, conseguir girar los ejes de estas nuevas variables independientes entre sí, de tal forma que exista la mayor desigualdad posible entre la varianza de los datos que se tienen inicialmente en las proyecciones en cada uno de los respectivos nuevos ejes.

Inicialmente para hallar estas nuevas variables se realiza el cálculo de los vectores propios y valores propios teniendo en cuenta el uso de la matriz de correlaciones, realizadas a todas las variables del estudio. En este caso a los óxidos mayores, que son los datos analizados en la técnica de FRX, se estudian con la matriz de correlaciones que se muestran en la TABLA 5.

Tabla 5. Matriz de correlación de las variables, resultados del análisis de FRX.

	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>K₂O</i>	<i>CaO</i>	<i>Na₂O</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>TiO₂</i>	<i>MgO</i>
<i>SiO₂</i>		-0,6448	-0,3078	-0,7785	-0,121	0,13214	-0,5691	-0,1339	-0,77
<i>Al₂O₃</i>	-0,645	1	-0,174	0,71554	-0,203	-0,0343	0,20084	0,14316	0,481
<i>Fe₂O₃</i>	-0,308	-0,174	1	-0,0458	0,1296	-0,4161	-0,0298	0,3152	0,072
<i>K₂O</i>	-0,778	0,71554	-0,0458	1	0,16044	-0,3039	0,73707	-0,1383	0,583
<i>CaO</i>	-0,121	-0,2036	0,12961	0,16044	1	-0,4260	0,44104	-0,4294	0,229
<i>Na₂O</i>	0,1321	-0,0343	-0,4161	-0,3038	-0,4260	1	-0,0566	-0,2517	0,249
<i>P₂O₅</i>	-0,569	0,20084	-0,0298	0,73707	0,44104	-0,0567	1	-0,4974	0,596
<i>TiO₂</i>	-0,134	0,14316	0,3152	-0,1383	-0,4294	-0,2517	-0,4974	1	-0,31
<i>MgO</i>	-0,774	0,48131	0,07167	0,58277	0,22938	0,24996	0,5965	-0,3095	1

Al realizar esta matriz de correlación se unifica el peso de las variables obtenidas en FRX, ya que se crean variables estandarizadas, lo cual quiere decir que la muestra se transforma a media cero y desviación estándar uno, lo que significa que se resta a cada valor muestral de la media y se divide por su desviación estándar. Tabla 6.

Tabla 6. Desviaciones estándar

	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>K₂O</i>	<i>CaO</i>	<i>Na₂O</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>TiO₂</i>	<i>MgO</i>
Desviación estándar	4,459	2,405	0,904	1,674	1,829	0,417	0,147	0,183	0,974

Como resultado de este desarrollo, las variables de FRX tienen la misma media y la misma desviación estándar, por lo cual ninguna pesa más que otra.

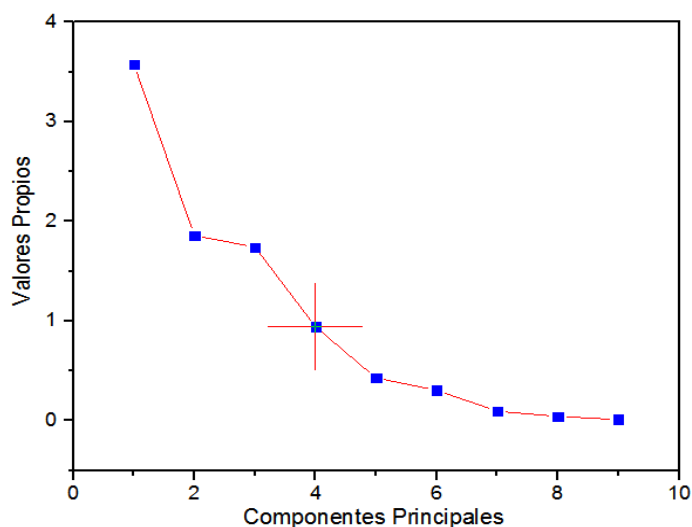
Los valores propios de cada componente nos indica la cantidad de varianza, es decir, la cantidad de información que tiene cada componente. En la tabla 7, tabla que muestra la correlación de la matriz de los valores propios, se observa como los tres primeros componentes explican el 79.73 % y los cuatro primeros componentes explican el 90.2 % de la varianza, lo cual observando el porcentaje de varianza que siguen luego de este componente, contribuye con un porcentaje menor de 5.

Tabla 7. Porcentajes de varianzas.

Valores Propios	3,5768	1,8581	1,7405	0,942	0,4283	0,3051	0,0949	0,0427	0,0114
% de Varianza	39.74	20.65	19.34	10.47	4.76	3.39	1.05	0.47	0.13

Según esta información, al realizar una gráfica de dos dimensiones con esas dos primeras componentes que suman entre sí 60,39%, se pierde un 39,61 % de información. Para lo cual se encuentra recomendable hacer varios gráficos con sus cuatro componentes principales con el fin de obtener la mayor cantidad de información posible.

Figura 47. Gráfica de los componentes principales y los valores propios de las piezas analizadas. Tomada del software OriginPro 2016.



El gráfico de la varianza asociado a cada valor propio, se utiliza para determinar el número de valores que deben retenerse. Para una mejor explicación se muestra en la figura 47 la clara ruptura entre la pronunciada pendiente de los valores propios más importantes y el descenso gradual de los restantes. La tabla 8 representa los cuatro primeros componentes respecto al valor absoluto de los nuevos ejes.

Tabla 8. Tabla de pesos de los cuatro componentes principales para este análisis

	Coefficiente CP1	Coefficiente CP2	Coefficiente CP3	Coefficiente CP4
SiO_2	-0,46725	-0,26008	-0,06171	-0,22663
Al_2O_3	0,34382	0,24158	0,3894	-0,30671
Fe_2O_3	0,03536	0,4173	-0,39822	0,58345
K_2O	0,48395	0,09335	0,04158	-0,324
CaO	0,17346	-0,24353	-0,58832	-0,0757
Na_2O	-0,07367	-0,36986	0,53024	0,47081
P_2O_5	0,42683	-0,26048	-0,15875	-0,00436
TiO_2	-0,13503	0,64293	0,12268	0,01026
MgO	0,43826	-0,11757	0,12934	0,42622

En base a los datos de la tabla 8 se puede obtener la representación gráfica bidimensional, variando los componentes principales entre los ejes X y Y. Las

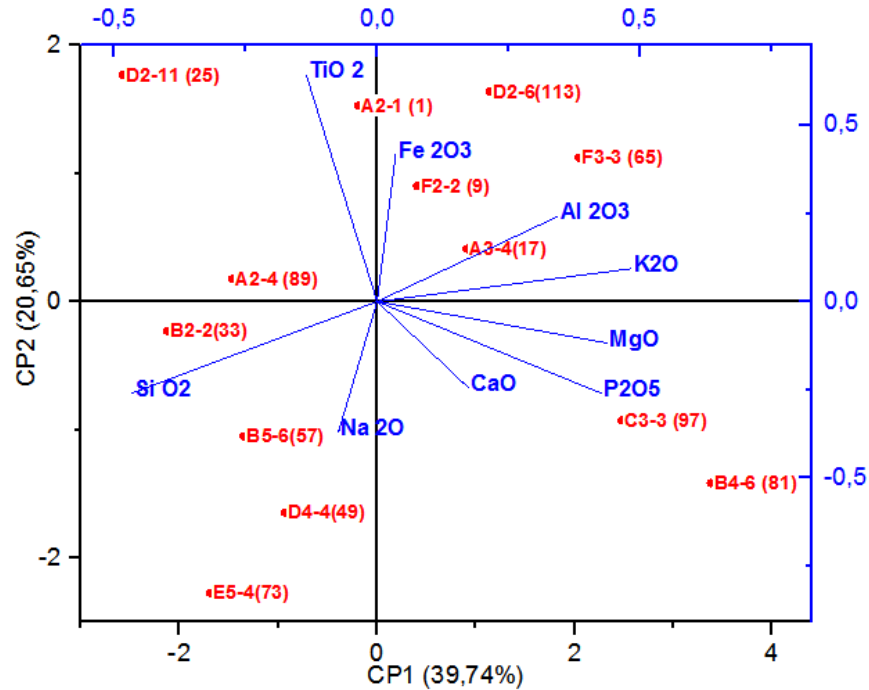
coordenadas que tienen cada muestra de cerámica de esas cuatro componentes, se puede hallar multiplicando cada elemento con su dato inicial dado en FRX por su coeficiente respectivo.

Es importante tener en cuenta para el procedimiento de interpretación el valor absoluto de cada componente, si este es grande o pequeño respecto al mismo componente. Por ejemplo, en la tabla 5, si se observa el coeficiente del valor absoluto de K_2O , MgO , P_2O_5 , Al_2O_3 y SiO_2 . Del primer componente, los coeficientes están cercanos a 0,42, siendo estos valores grandes. Se debe tener en cuenta el signo del valor, ya que en los elementos nombrados indica que todos tienen contenido menos el SiO_2 que se encuentra con signo negativo, lo cual indica su baja cantidad y su alta cantidad en los ejes negativos en el componente principal. Contrariamente, valores absolutos pequeños como el caso de Fe_2O_3 , Na_2O , CaO y TiO_2 , pesan poco.

En el segundo componente el peso principal está dado por TiO_2 , Fe_2O_3 y Na_2O , los dos primeros con signo positivo indicando alta cantidad y el último de signo negativo indicando muy baja cantidad en los ejes positivos. Por el contrario, indica poco óxido de potasio y óxido de Magnesio.

En el tercer componente se encuentran con altos coeficientes, dos de signo positivo y dos de signo negativo, Na_2O , Al_2O_3 , y CaO , Fe_2O_3 , respectivamente. Y, por último, en el cuarto componente pesan especialmente las variables de Fe_2O_3 , Na_2O y MgO , siendo estas positivas.

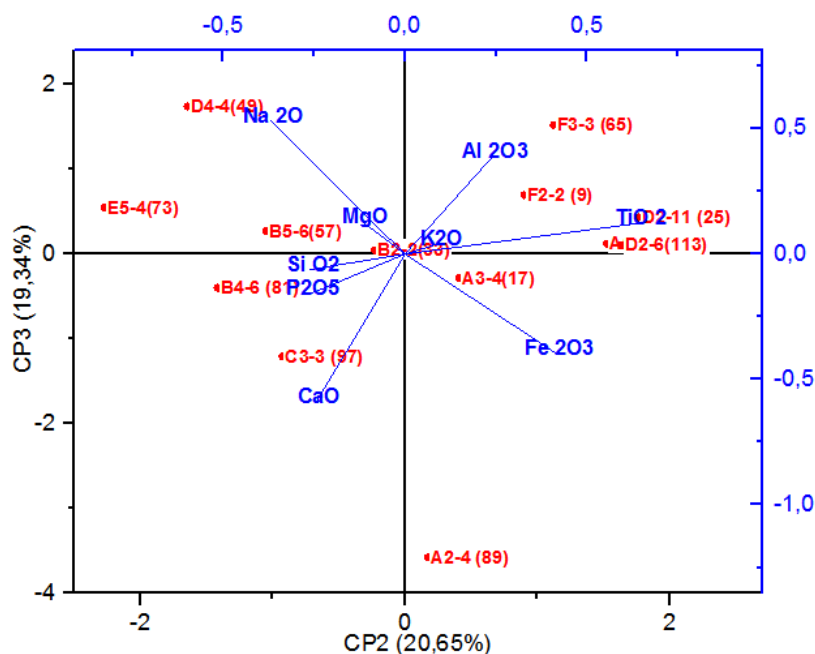
Figura 48. Gráfico del Primer Componente Principal vs Segundo Componente Principal



La representación de los óxidos mayores según las dos primeras componentes, Figura 48, teniendo en cuenta la interpretación anterior de los componentes principales y observando las cuatro divisiones que tiene el gráfico, se puede afirmar que: a) El cuadrante de abajo a la derecha contiene dos de los valores absolutos grandes y el óxido de calcio que se encontraba con un coeficiente de 0,17. b) En el cuadrante de abajo a la izquierda se encuentra el cuarzo ya que este tiene un valor absoluto grande con signo negativo. c) El cuadrante de arriba a la izquierda contiene óxido de titanio como un coeficiente de muy alto valor lo cual se corrobora con un coeficiente de 0,64, siendo este coeficiente el más alto de todos los coeficientes de los componentes principales.

Estas gráficas obtenidas con el software OriginPro 2016, además de dar las coordenadas de las variables (óxidos mayores), nos muestra una manera práctica de incluir las etiquetas de las muestras dentro del mismo diagrama, permitiendo relacionar los elementos mayores que se encuentra en mayor proporción en cada muestra, dependiendo de la distancia a la que se encuentre de la coordenada de los elementos.

Figura 49. Gráfico del Segundo Componente Principal vs Tercer Componente Principal.

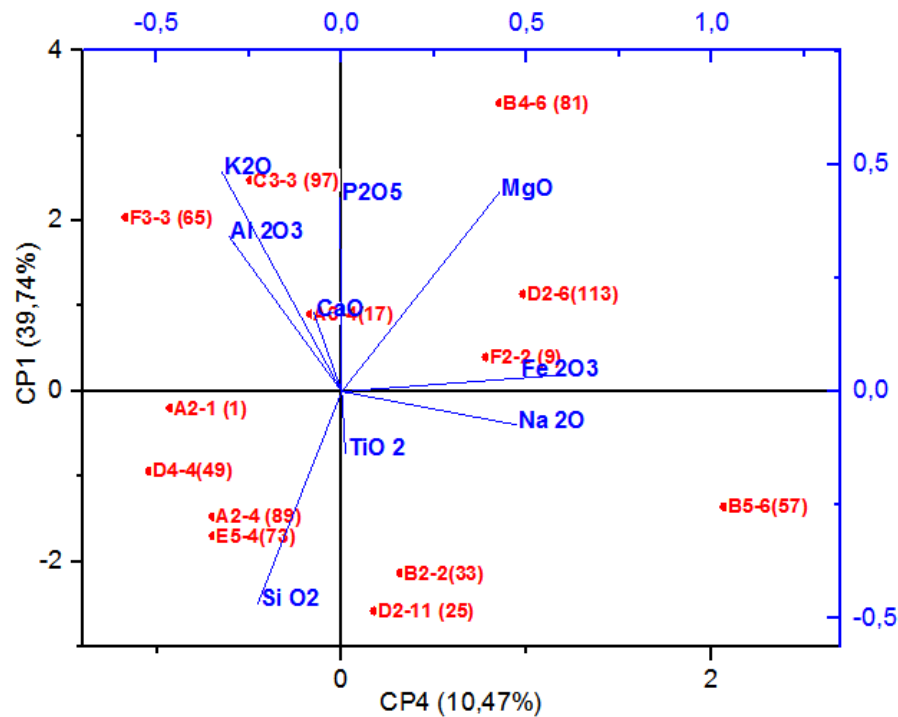


En este gráfico (figura 49) se observa que en los cuadrantes de abajo se encuentra con un valor absoluto alto de signo negativo al CaO siendo correspondiente a un valor de -0.58 en los coeficientes del Componente Tercero y a un valor también de signo negativo, -0.24, en los coeficientes del segundo componente. El Fe_2O_3 en el cuadrante de abajo a la derecha con un valor de 0,41 en los coeficientes del tercer componente. Lo interesante en este tipo de diagramas es la relación variable e individuo, es decir óxidos mayores con las muestras de cerámica. Por ejemplo, en medio del CaO y del Fe_2O_3 se encuentra la muestra A2-4 (89), lo cual revisando los datos de FRX, ésta muestra contiene las cantidades más altas de estos dos elementos, 5.92 % y 9.290 %, respectivamente.

En la representación de los óxidos mayores según el cuarto y el primer componente, Figura 50, se observan dos elementos que sobresalen tanto en los cuadrantes de abajo como en los cuadrantes de arriba, el SiO_2 que como ya se había mencionado

en el primer diagrama, tiene un valor absoluto que nos infiere una alta cantidad en los valores negativos de los coeficientes del Componente Principal 1 e infiere una cantidad moderada en los mismos valores negativos del Componente Principal 4. En el cuadrante de abajo a la izquierda se encuentran las muestras E5-4 (73), A2-4 (89) y D4-4 (49), las cuales en los análisis de FRX contienen los más altos porcentajes de concentración de SiO_2 .

Figura 50. Gráfico del Cuarto Componente Principal vs Primer Componente Principal



El otro elemento que tiene un valor significativamente positivo es el MgO, con un valor de 0.43 y 0.42 en el primer y cuarto componente principal, escrita respectivamente. A ese vector propio se le asigna la muestra B4-6 (81) que contiene (7.6%) la segunda concentración más alta de MgO en FRX.

En las gráficas de las Figuras 51, 52 y 53, se representa de manera tridimensional los tres componentes principales. La Figura 58 muestra en la escala real tipo lineal

como se observarían las variables que se trabajaron en este estudio respecto a la escala de las muestras de cerámica.

Figura 51. Diagrama tridimensional de los vectores del Primer, Segundo y Tercer Componente, escala real comparada con el diagrama tridimensional de las muestras de cerámica.

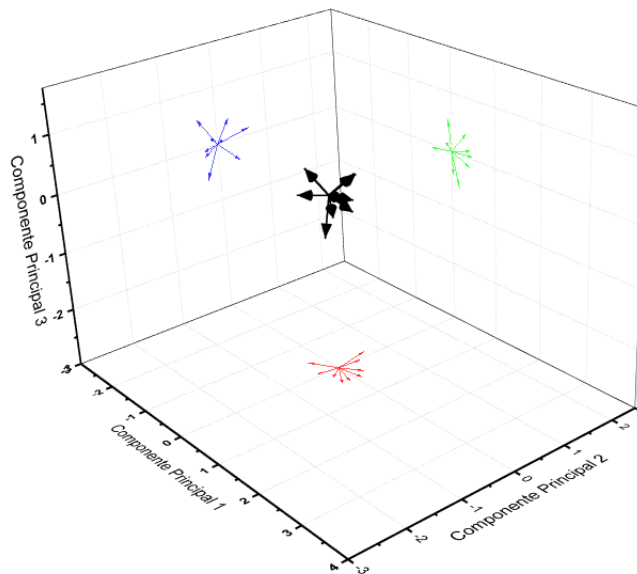


Figura 52. Diagrama tridimensional de los vectores del Primer, Segundo y Tercer Componente

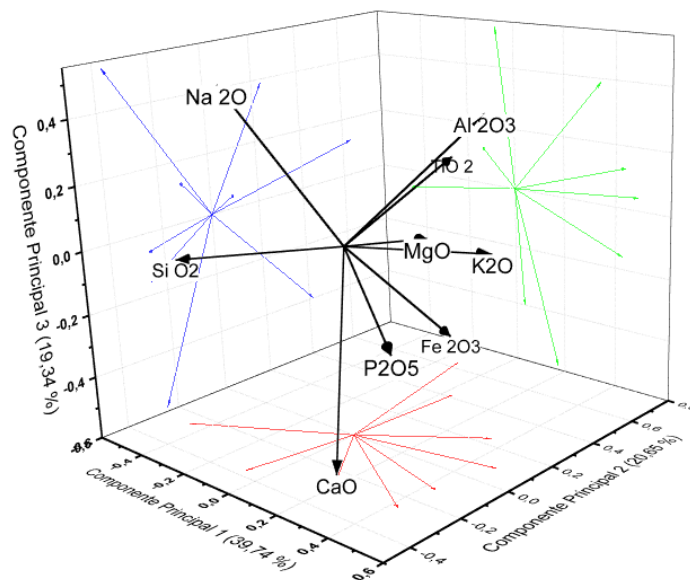
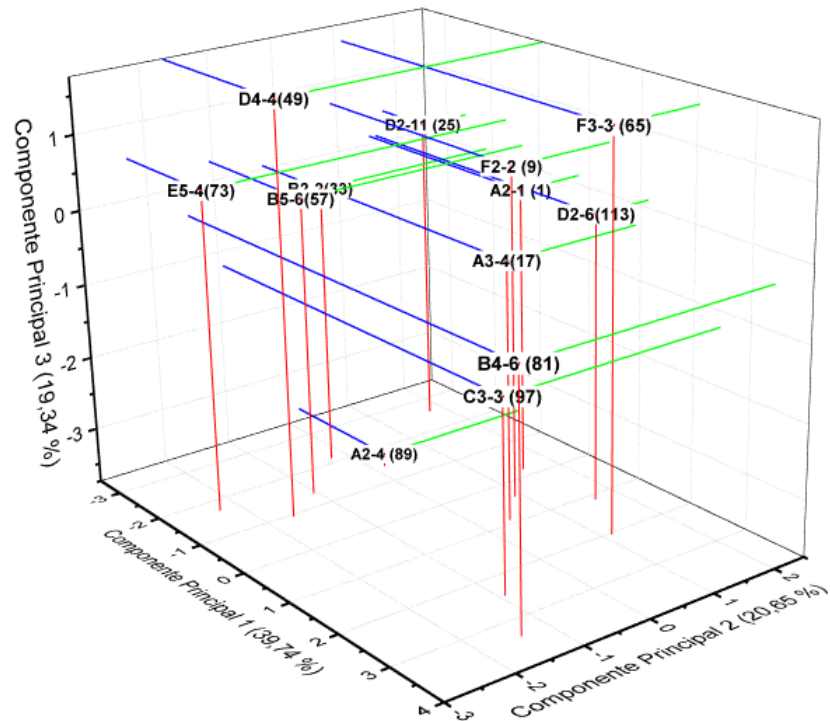


Figura 53. Diagrama tridimensional del Primer, Segundo y Tercer Componente



7.9.2 Análisis de cluster. Este análisis es conocido también como Análisis de conglomerados, es una estadística multivariable que se encarga de agrupar variables con el fin de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y también la máxima heterogeneidad entre los demás grupos. La característica principal del análisis de Cluster se basa en la manera en que se utiliza esta técnica, ya que se trata de una agrupación exploratoria, descriptiva pero no explicativa, utilizando un dendograma, una representación muy distinta en comparación con otros análisis de multivariados.

Se utilizaron dos métodos para realizar estos análisis Cluster, el primero es un método jerárquico de clasificación aglomerativa con el método de Simple Linkage (vecino más próximo), donde se parte de tantos grupos como individuos y se van agrupando hasta llegar a tener todos los casos en un mismo grupo, los cuales permiten construir un árbol de clasificación o dendograma. Y el segundo método utilizado es el no jerárquico de clasificación, la reasignación fue tratada con K-medias, este método está diseñado para la clasificación de individuos (no de variables) en K grupos, el cual elige una participación de los individuos en K grupos

e intercambiar los miembros de los clusters para tener una participación mejor (Fuente, (2011)).

Para realizar el análisis de conglomerados se debe tener en cuenta la elección de las variables pertinentes para obtener resultados con mayor aporte a la clasificación que se requiere. Este análisis se puede realizar por variables o por individuos, es decir, si se pretende agrupar a los individuos en grupos se debe realizar un análisis cluster de los individuos (Figura 54), mientras que si se pretende agrupar las variables más parecidas se debe realizar un análisis cluster de las variables (Figura 55).

Figura 54. Dendograma con las muestras de cerámica

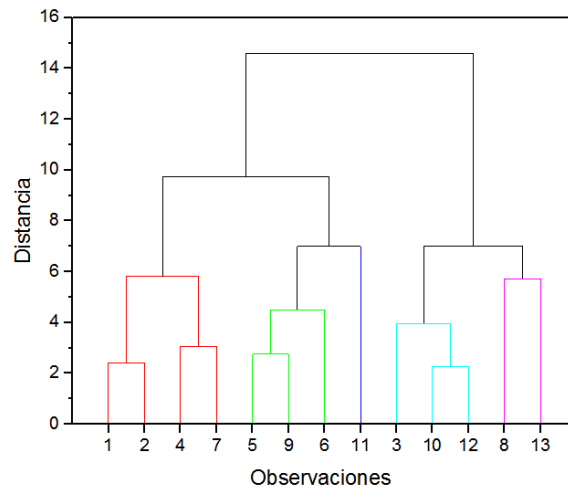
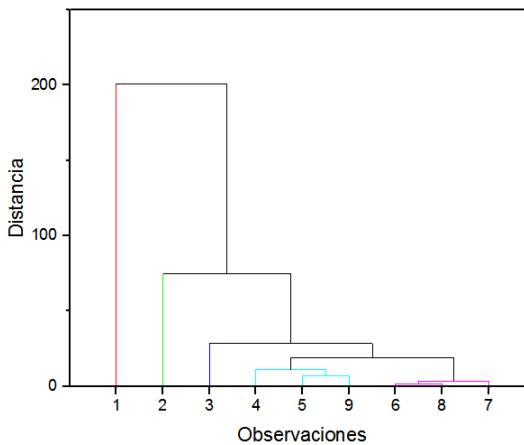


Figura 55. Dendrograma de óxidos mayores.



El siguiente paso a realizar es la elección de la medida de asociación, las cuales caracterizan las relaciones entre las variables o los individuos. Cada medida refleja una asociación en un sentido particular y es necesario elegir una medida apropiada para el problema concreto que se requiere tratar. La asociación más utilizada y más intuitiva es la distancia euclídea, la cual calcula la distancia en línea recta entre los puntos en el espacio o en el hiperespacio de la nube de puntos original. Esta distancia es una aplicación del teorema de Pitágoras.

Y por último se debe tener en cuenta los diferentes criterios que se pueden usar para definir la distancia entre un punto y un grupo o la distancia entre dos grupos. Los seis criterios que se usaron fueron: a) El criterio de la media, b) El criterio de la suma de distancias, c) El criterio del mínimo, c) El criterio de la mediana, d) El criterio del máximo y e) La desviación estándar, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Descripción estadística de los algoritmos para medir la distancia entre los clusters.

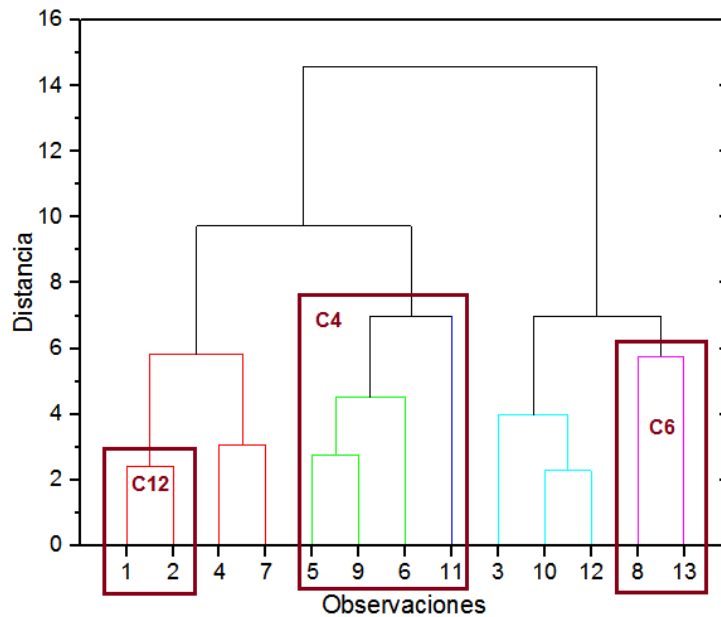
	Media	Des.Estánd.	Suma	Mínimo	Mediana	Máximo
<i>SiO₂</i>	55,79615	4,4589	725,35	49,97	55,88	63,03
<i>Al₂O₃</i>	20,83077	2,40524	270,8	16,81	21,15	26,3
<i>Fe₂O₃</i>	8,11692	0,90432	105,52	6,32	8,18	9,41
<i>K₂O</i>	5,28154	1,67372	68,66	2,7	5,42	7,72
<i>CaO</i>	3,13154	1,82943	40,71	1,15	2,76	6,29
<i>Na₂O</i>	1,13615	0,41706	14,77	0,25	1,14	1,85
<i>P₂O₅</i>	0,26231	0,14732	3,41	0,09	0,25	0,65
<i>TiO₂</i>	0,92231	0,18281	11,99	0,7	0,86	1,36
<i>MgO</i>	2,39154	0,97434	31,09	0,67	2,61	4

En la tabla 10 se muestran las distancias existentes entre cada dos individuos, en este caso la distancia entre las concentraciones que contiene cada muestra de cerámica, observando cuáles son las muestras más similares o más próximas. Las muestras que son similares forman un grupo que no vuelve a separarse durante el proceso. En la figura 56, se realiza un dendograma con la representación de los clusters y los números del cluster según la distancia y grupos que formaron. El proceso completo de fusiones se resume mediante un dendograma.

Tabla 10. Explicación de las agrupaciones y sus distancias, usando el método del vecino más lejano y la asociación euclídea

Etapas	Distancia	Cluster 1	Cluster 2	Número del cluster
1	2,28213	10	12	12
2	2,42054	1	2	11
3	2,75376	5	9	10
4	3,07078	4	7	9
5	3,97179	3	10	8
6	4,50725	5	6	7
7	5,73432	8	13	6
8	5,82046	1	4	5
9	6,9944	5	11	4
10	6,99691	3	8	3
11	9,72939	1	5	2
12	14,59318	1	3	1

Figura 56. Dendograma señalando tres clusters



Con el fin de cubrir con los análisis Cluster las dos finalidades que persigue los análisis de componentes principales, que son: 1) Representar los puntos, visualizarlos y 2) Ver las relaciones entre las variables, las agrupaciones que conforman y las conexiones entre estas mismas, se realiza entonces un dendrograma donde la matriz de datos se realiza con las variables, obteniendo como resultado la figura 58.

Figura 57. Dendrograma de los elementos mayores obtenidos en FRX

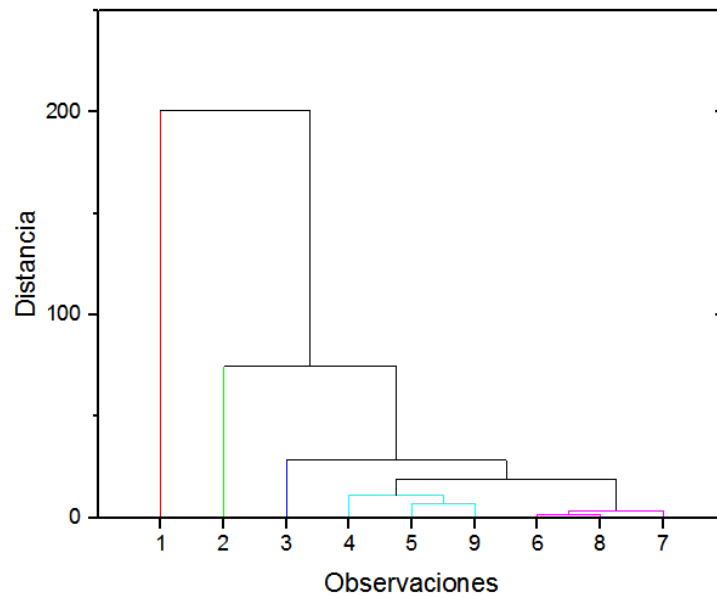


Tabla 11. Relación de las observaciones con las variables

1	2	3	4	5	9	6	8	7
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	Na_2O	TiO_2	P_2O_5

Se observan 5 agrupaciones de acuerdo con las similitudes de las variables (diferentes colores en el dendrograma), presentándose en estas agrupaciones, 3 clusters de una sola variable cada una, tales como: a) SiO_2 , b) Al_2O_3 y c) Fe_2O_3 , lo cual indica la no semejanza de cada uno de estas variables con las demás variables estudiadas. También presentan 2 clusters de tres variables cada una, con 1 subgrupo en cada cluster, tales como: d) Na_2O , TiO_2 y P_2O_5 , y e) CaO , MgO y K_2O .

Figura 58. Dendograma de las muestras de cerámica.

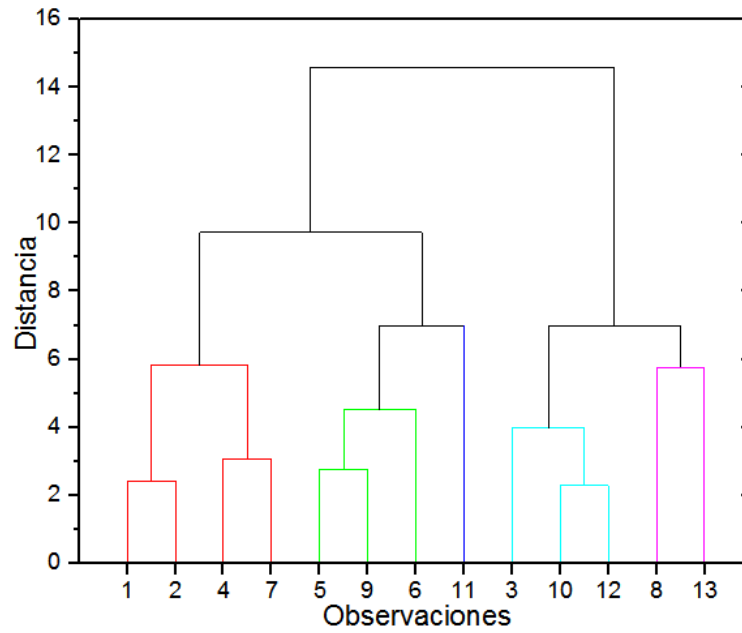
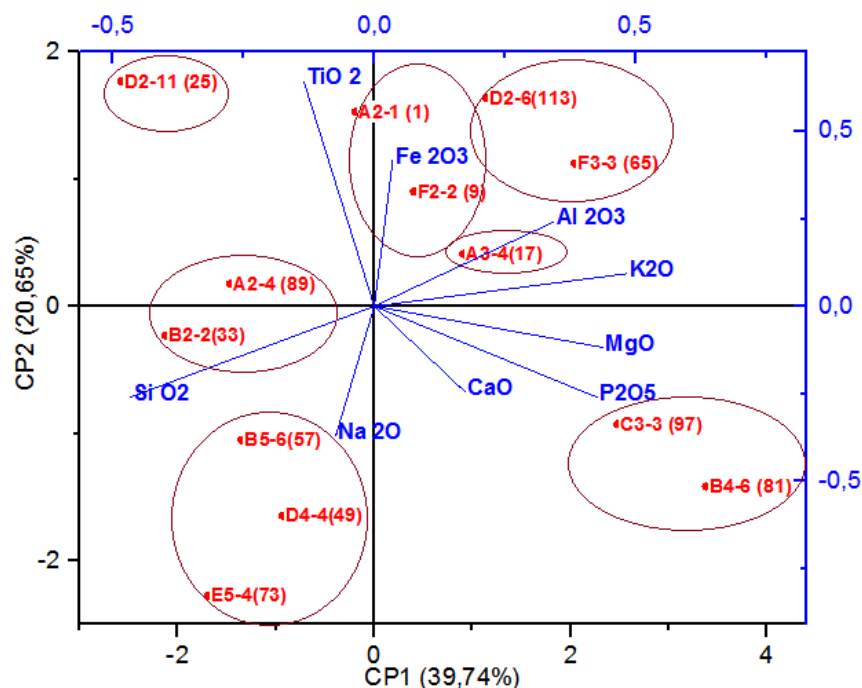


Tabla 12. Relación de las variables con los individuos, con las muestras de cerámicas.

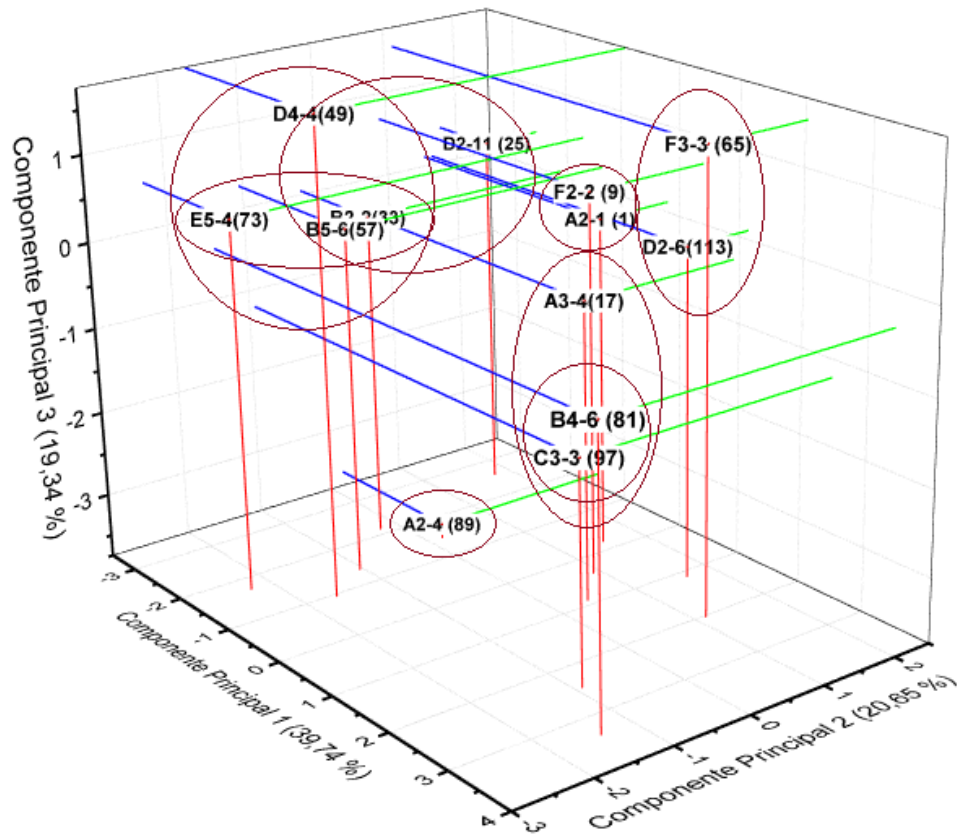
1	2	4	7	5	9	6
A2-1 (1)	F2-2 (9)	D2-11 (25)	B5-6 (57)	B2-2 (33)	E5-4 (73)	D4-4 (49)
11	3	10	12	8	13	
A2-4 (89)	A3-4 (17)	B4-6 (81)	C3-3 (97)	F3-3 (65)	D2-6 (113)	

Figura 59. Diagrama de ACP. Relación del componente principal 1 vs componente Principal 2.



Es interesante comparar los resultados obtenidos con los análisis de componentes principales. Al final se tienen dos formas de representación muy distintas, teniendo en cuenta que la finalidad de ambas es descriptiva, es representar lo que no podemos visualizar con los datos iniciales sin un proceso estadístico. El gráfico de la figura 58 representa el análisis cluster comparado con la figura 59 que representa el análisis de componentes principales. Para una mejor visualización y comparaciones de los grupos de estos dos análisis, se muestra la figura 60, que es un diagrama tridimensional de los tres primeros componentes.

Figura 60. Diagrama en 3D de los tres principales componentes.



8. CONCLUSIONES

Los resultados aquí presentados proporcionan una metodología para abordar el estudio principalmente de cerámicas, la cual también puede ser usada en el estudio de diversidad de tipos de piezas arqueológicas, y evidencias forenses. Siendo este estudio y principalmente la metodología planteada, novedosa para Colombia, sentando las bases para investigaciones posteriores y permitiendo la discusión de los relictos de la ocupación humana primigenia en Colombia desde otro punto de vista. La presente investigación conto con un fuerte apoyo interdisciplinar de geoquímicos, químicos, arqueólogos, antropólogos y geólogos, y es solo un avance, sujeto a revisión, de una serie de publicaciones, en un esfuerzo mancomunado interdisciplinar por abrir este campo de estudios para Colombia y por nuestra parte y la parte de todos los geólogos que participamos en esta investigación, de abrir un nuevo campo para el ejercicio de la geología en Colombia.

Ahora bien, sobre la base de lo expuesto se concluye que si bien, con base a relaciones estratigráficas y antropológicas, dos momentos de ocupación fueron identificados para este sitio por los arqueólogos que han estudiado la zona, el Pre Guane y el Guane, las cerámicas analizadas no muestran variaciones importantes con respecto al nivel de profundidad en el cual fueron encontradas estas piezas, lo que sugiere que no hubo cambios significativos en la forma de fabricación de la cerámica por parte de estas sociedades, específicamente en la cocción y en el uso de material arcilloso y desgrasante.

El estudio revela también que la presencia de mica en las cerámicas, la cual junto al color son tomados como los únicos indicativos en la diferenciación de distintas cerámicas encontradas en el área, si bien puede ser utilizada con este fin de diferenciación, el sistema alfarero planteado para Los Teres se equivoca al suponer la presencia o ausencia de este mineral como indicador de diferenciación, ya que en la totalidad de todas las piezas analizadas, clasificadas en los subgrupos del sistema alfarero como sin la presencia de este mineral, fue encontrado mica tipo moscovita, más los resultados cuantitativos mostraron que la diferencia entre las piezas cerámicas clasificadas por medio de la presencia o no de este mineral, se encuentra en la cantidad presente, la cual es casi tres veces mayor en las cerámicas clasificadas por la presencia de este mineral. Por lo tanto, la principal diferencia

radica en los contenidos de este mineral y no en su presencia o ausencia. Aunado a esto, la presencia de moscovita en materiales arcillosos analizados de la zona, indican que este mineral estuvo presente en la materia prima desde un inicio, pero no en tan altas cantidades.

Los altos contenidos presentes en algunos subgrupos indican el uso de esta como desgrasante, lo cual fue para fines decorativos, ya que la presencia de este filosilicato hace que la cerámica pierda consistencia y crea puntos de debilidad donde están los mayores cristales, también es probable que no haya sido un elemento de distinción entre grupos o sociedades en lo que respecta al tiempo, ya que no hay distinción alguna en el contenido de moscovita y el nivel de profundidad. Siguiendo esta línea es evidente que el material con el cual fueron fabricadas estas piezas fue seleccionado, en ocasiones molido, lo cual se evidencia con el pequeño tamaño de los cristales de moscovita. El principal desgrasante usado fue arena cuarzosa más una de las piezas de las dos piezas catalogadas en este estudio como cerámicas carbonatadas muestra el uso de calcita como principal desgrasante, y es posible que fuese usado con el fin de dar tonos muy claros a la pieza fabricada. Estas dos piezas del grupo Café parecen tener un origen similar, desarrollado a partir de material arcilloso carbonatado.

La mineralogía no mostro una clara relación con los colores expresados por el sistema alfarero, a partir de la geoquímica se realizaron algunas inferencias de las firmas geoquímicas de cada pieza comparadas con patrones geoquímicos como la CTS (Wedepohl, 1995 visto en: Santos, (2010)) y el PAAS (Taylor and McLennan, 1985). Y el uso del diagrama ternario SiO_2 , Al_2O_3 , MgO junto al diagrama de radios elementales permitieron observar el uso de arena cuarzosa como principal desgrasante usado en la fabricación de estas piezas, y la homogeneidad de estas piezas con algunas interesantes variaciones.

En relación a la temperatura, el análisis y discusión de las fases minerales y la geoquímica mostraron que la temperatura a la cual fueron coccidas gran parte de las piezas analizadas es probablemente mayor a los 500 °C debido a la deshidroxilación de la caolinita, ya que hay una importante fase amorfa resultante del proceso de deshidroxilación durante la cocción, y menor a 900 °C por la amplia presencia de minerales carbonatados. Los conjuntos de evidencias apuntan a que

este fue un rango fluctuante de temperatura principalmente de temperaturas entre 600-800°C, para la mayoría de las piezas, más para algunas piezas del grupo rojo este rango posiblemente fluctúa entre 500-600° C. El encuentro de algunos indicios de fases minerales de alta temperatura en IR, algunas en DRX, y la presencia de altos grados de vitrificación vistos al SEM, indican que las cerámicas pasaron por altos picos de temperatura, y la cocción no fue homogénea. La presencia primaria de caolinita fue comprobada analizando material arcilloso cerca a la excavación y en la zona, más contrariamente la presencia de minerales arcillosos cristalizados es muy escasa encontrándose en 3 de las piezas analizadas, principalmente esta caolinita se encuentra en la materia amorfa y ha sufrido un proceso de colapso estructural y una deshidroxilación irreversible, el significado de encontrar caolinita en algunas de las piezas analizadas es que fueron empleados periodos de cocción cortos, no uniformes o una cocción no homogénea, lo cual impidió que la totalidad de caolinita presente en la pasta arcillosa, colapsara para formar meta caolinita (amorfa) , mas no se descarta que una muy pequeña parte sea formada a partir de la rehidroxilacion, por la poca cristalización que indica esta fase mineral.

Ahora bien, el hecho que algunas de las piezas cerámicas mostraran un grado de vitrificación total puede deberse al alto grado de calentamiento debido al cual estas piezas perdieron su estructura, la cual paso principalmente a ser materia amorfa porosa, o deberse a una diferencia de calentamiento muy alta, que provoco que estas piezas pasaran de una textura principalmente en mortero, a desarrollar texturas “bubbly” o de poros hinchados en la materia amorfa. Este cambio rápido de temperatura en estas piezas cerámicas, puede haberse debido a un cambio de posición de la pieza durante la cocción y no a un proceso de cocción diferente. También en muchas imágenes SEM tomadas es evidente el desarrollo de actividad biológica en las piezas, representada por distintas clases de hongos y actividad microbiana.

También se infiere en base a pocas evidencias que las condiciones de cocción fueron variables, entre oxidantes y reductoras, aunado a esto la presencia mayoritaria de magnetita, en los cuerpos cerámicos junto a algunas texturas vistas al SEM posiblemente indican que las condiciones fueron predominantemente reductoras, mas no fueron exclusivas de este tipo. Lo cual permite suponer un desarrollo mayor en la fabricación de las cerámicas por parte de esta cultura.

El encontrar en los análisis cualitativos de dos muestras de arcilla, una cercana a la excavación y otra distante de esta por 6 kilómetros, algunas evidencias tales como;

mineralogía similar, abundancia en las muestras arcillosas de moscovita, y pocas variaciones mineralógicas y geoquímicas de las piezas cerámicas analizadas, hace pensar que gran parte de estas piezas tuvieron principalmente un origen común, desarrollado por una cultura la cual a través de los siglos no realizó cambios sustanciales en la forma de fabricar las cerámicas, y esto a su vez es un posiblemente indicativo que la mayoría de estas piezas cerámicas no son foráneas, si no que tienen un origen común, y el aprovechamiento del material arcillosos por parte de estas se dio en la región hoy considerada como La Mesa De Los Santos, ya que así lo deja entrever su mineralogía y sus semejanzas geoquímicas.

Al poseer el museo Arqueológico del Gran Santander más de 10.000 piezas de cerámicas arqueológicas, recolectadas de estas sociedades, se decidió que los análisis serían llevados a cabo principalmente por métodos destructivos. Cada uno de estos métodos aportó valiosa y gran cantidad de información en el estudio de estas piezas, así que determinar el mejor método a aplicar en el estudio de piezas arqueológicas es difícil, y debe estar supeditado a las necesidades particulares. Los métodos de microdifracción de rayos X, y FRX de rayos X portable, y al ser principalmente plana la superficie de los tiestos puede ser aplicado el análisis de Infrarrojo directos por medio de espectroscopia de Reflexión Total Atenuada (RTA) con cristal de diamante, implementado en este proyecto, pueden ser usados, si son requeridos análisis que no involucren destrucción alguna de la pieza, lo cual en muchos casos es preferible. Cabe señalar que los análisis con tratamiento muestral, tal fue el caso del análisis de FRX con tratamiento y calcinación posterior, y los análisis de difracción de rayos X cuantitativos son más idóneos para un estudio destructivo de piezas arqueológicas. A su vez, el análisis por medio del SEM-EDS, presto una ayuda secundaria, en la caracterización del sistema alfarero, y permitió corroborar mucha información, y fue una base para la caracterización de las temperaturas de cocción. Al realizar una segunda derivativa a cada difractograma el análisis de espectroscopia Infrarroja proporciono una mayor cantidad de información, este proceso fue muy tedioso, pero permitió observar fases no contempladas por medio de otros análisis.

En consideración a la metodología de análisis estadístico multivariable, planteada detalladamente, la cual a pesar de no ser muy utilizada se mostró su aplicación directa en muchos campos de estudio geológico, químico y arqueológico, algunas conclusiones son hechas, y es que, al plantear grupos cerámicos estadísticos, representando cercanías geoquímicas en piezas de distinta clasificación por el sistema alfarero se encontró una gran semejanza entre estos grupos y los grupos

clasificados en IR, los cuales se agruparon teniendo en cuenta la similitudes de los espectros de las segundas derivadas de los datos de IR. Como resultado de la creación de estos grupos y la comparación de las similitudes y diferencias geoquímicas y mineralógicas, se evidencia que las piezas cerámicas a pesar de diferenciarse por su color tienen características de composición similares, que provocan en algunas ocasiones cercanías con piezas de distintos grupos del sistema alfarero, que con piezas de el mismo color. Aun así, las mayores cercanías mineralógicas y geoquímicas se evidencian entre piezas clasificadas en el mismo grupo del sistema alfarero.

La clasificación de los grupos según las representaciones de los análisis de componentes principales (ACP) y los análisis clusters (AC) mostraron que es posible correlacionar los grupos encontrados, y que, utilizando el mayor número de componentes principales, en este caso los diagramas tridimensionales, las agrupaciones se asemejan más a la representación dada por el dendograma. Lo cual permite interpretar que los ACP al utilizar menos dimensiones conllevan a una pérdida de información de los datos iniciales, mientras que los ACP al no reducir sus dimensiones, tiene en cuenta todos sus datos iniciales sin pérdida de información. Sobre la base de esta metodología desarrollada fue posible observar que tanto los análisis de componentes principales y los análisis de clúster son técnicas que ayudan a comprender, gracias a sus diferentes representaciones, una realidad que es difícil de visualizar debido a la multidimensionalidad de los datos que se están estudiando.

9. RECOMENDACIONES

En la búsqueda de evidencias de los ambientes de cocción, se encontró por medio del EDS la presencia de concentraciones importantes de óxidos de hierro, en piezas cerámicas que no mostraban contenidos de estas fases minerales al DRX, ni al IR, más al ser el EDS un análisis semicuantitativo, no fue posible diferenciar si estos óxidos vistos son magnetita o hematita. Se recomienda caracterizar estas piezas cerámicas por medio de la espectroscopia Mössbauer y así diferenciar y asignar un nombre específico a estas fases minerales encontradas con ayuda del EDS. Y en base a esto continuar con la discusión del uso de las fases minerales en la caracterización de los ambientes oxidante o reductores bajo los cuales fueron coccidos, las piezas cerámicas.

Se recomienda abordar la proveniencia de las piezas cerámicas encontradas en Los Teres, ya que aquí se dio solo una aproximación, por medio del uso de otros métodos aplicados comúnmente en las investigaciones geológicas, tales como el análisis de elementos de tierras raras (REE) y métodos isotópicos. Al respecto de esto, se debe prestar una mayor atención al encuentro de fases minerales con muy altos contenidos de REE en las piezas, los cuales fueron encontrados principalmente en piezas cerámicas consideradas como pertenecientes al periodo Guane, y supondrían posibles rutas de comercio, con otras zonas del país, en las cuales ya ha sido estudiada la amplia presencia de este tipo de fases minerales, tal es el caso, de zonas esmeraldíferas en el departamento de Boyacá, y algunas zonas del sur del departamento de Santander. Al respecto del abordaje de la proveniencia de estas piezas, sería interesante la búsqueda de circones en estas piezas cerámicas, para su respectivo análisis, y así su respectiva indicación de una zona geográfica determinada. En este sentido es pertinente concentrarse en las piezas cerámicas excavadas a más de 120-130 centímetros (nivel 11), para así trazar la proveniencia de esta sociedad, la cual es asumida por los arqueólogos como proveniente de la Orinoquia.

Si bien los análisis de fases y la discusión de las temperaturas de cocción y ambientes de cocción, fueron realizados gran parte en base a la mineralogía, hay que tener presente un grado alto de error que esto puede conllevar, se trató de ser prudentes y consultar de muchas fuentes, más los rangos de temperatura y los ambientes de cocción aquí interpretados no son definitivos, pero si pueden considerarse como cercanos. Se recomienda analizar de una manera precisa las

diferencias estructurales entre las piezas y las posibles proveniencias de una de las fases minerales más abundantes en las cerámicas, la moscovita.

Sobre la base de los resultados de futuras investigaciones realizadas en Colombia, en piezas de cerámicas arqueológicas, se hace prudente la comparación con los resultados obtenidos en la presente investigación, para así plantear relaciones en la mineralogía y geoquímica de los materiales arqueológicos fabricados por las distintas sociedades que habitaron este territorio, para así, pensar en la construcción de una base de datos, con los resultados de distintas investigaciones realizadas en nuestro territorio, que permita abordar el estudio de la cerámica arqueológica, por medio de una metodología aún más sólida .

Se recomienda abordar el estudio de las piezas arqueológicas por medio de otras técnicas, tales como la espectroscopia Ramman, la cual puede ser interesante para el estudio de las fases carbonatadas presentes en algunas piezas, y explorar otras como el uso de la Resonancia Magnética Nuclear (NMR) en la estimación de las temperaturas de cocción, para esto es útil aplicar metodologías de rango poco invasivo, tales como las características de tipo sólido, relaxometría simple, longitudinal y transversal.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, B. Geoarqueología: interpretaciones interdisciplinarias para la investigación arqueológica. *Revista geológica de América Central*. 2013, nro. 30. p. 121-130. DOI: 10.15517/rgac.v0i0.16574

AKYUZ, T., AKYUZ, S., BASARAN, C., BOLCAN, A., GULEC, J. Analysis of ancient potteries using FT-IR, micro-Raman and EDXRF spectrometry. *Vibrational Spectroscopy*. 2008, nro. 48. p. 276-280. DOI: 10.1016/j.vibspec.2008.02.011

AMORIM, J. Mineralogía e geoquímica de terra preta arqueológica para identificacao de padrao ocupacional pré-histórico no vale do baixo rio Amazonas (Juriti, Pará). Tese de Doutorado. Belém.: Universidade Federal do Pará, 2011. 124 p

ARNOLD, D. Ceramic Theory and Cultural Process. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 1985. DOI: 10.1017/S000358150002816X

BAYAZIT, M., IŞIK, I., ISSI, A., Genç, E. Spectroscopic and thermal techniques for the characterization of the first millennium AD potteries from Kuriki-Turkey. *Ceramics International*. 2014, nro. 40(9). p. 14769-14779. DOI: 10.1016/j.ceramint.2014.06.068

BERTOLINO, S., FABRA, M. Provenance and ceramic technology of pot sherds from ancient Andean cultures at the Ambato valley, Argentina. *Applied Clay Science*. 2003, nro. 24(1-2). p. 21-34. DOI: 10.1016/j.clay.2003.03.001

DE BENEDETTO, G., FABBRI, B., GUALTIERI, S., SABBATINI, L., ZAMBONIN, P. FTIR-chemometric tools as aids for data reduction and classification of pre-Roman ceramics. *Journal of Cultural Heritage*. 2005, nro. 6(3). p. 205-211. DOI:10.1016/j.culher.2005.06.004

DE BENEDETTO, G., LAVIANO, R., SABBATINI, L., ZAMBONIN, P. Infrared spectroscopy in the mineralogical characterization of ancient pottery. *Journal of Cultural Heritage*. 2002, nro. 3(3). p. 177-186. DOI: 10.1016/S1296-2074(02)01178-0

DEGRYSE, P., BRAEKMANS, D. Elemental and Isotopic Analysis of Ancient Ceramics and Glass. 2013. *Treatise on Geochemistry: Second Edition*. 2013, nro. 14. p. 191 – 207. Doi: 10.1016/B978-0-08-095975-7.01215-8

GÓMEZ, J.D., CUERVO, R.G. Estudio Geológico enfocado a la caracterización paisajística de La Mesa De Los Santos, Santander, Colombia. Trabajo de grado de Geología. Bucaramanga.: Universidad Industrial De Santander, 2012. 181 p.

GOLDBERG, P., HOLLIDAY, V., and FERRING, C. Reid. *Earth Sciences and Archaeology*. New York.: Springer Science + Business Media, LLC, 2000. 519 p.

GRIM, R. *Clay Mineralogy*. New York.: McGraw-Hill, 2006. 1953. 384 p.
DOI:10.1093/anb/9780198606697.article.1302604.

Grapes, R. Pyrometamorphism. Springer-Verlag, Berlin. DOI 10.1007/978-3-642-15588-8

HERON, A. Fertilidade, Caracterizacão química, Mineralogia e morfologia de cerâmicas e solos de terra preta arqueológica do sambaqui Jacarequara (Barcarena-Pa). Belén: Universidade Federal do Pará Instituto de Geociências. 2015. 107 p.

HOLAKOOEI, P., TESSARI, U., VERDE, M., VACCARO, C. A new look at XRD patterns of archaeological ceramic bodies an assessment for the firing temperature of 17th century haft rang tiles from Iran. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2014, nro. 118 (1). p. 165-176. DOI 10.1007/s10973-014-4012-z

IORDANIDIS, A. GARCIA-GUINEA, J., KARAMITOU-MENTESSIDI, G. Analytical study of ancient pottery from the archaeological site of Aiani, northern Greece. *Material characterization*. 2008, nro. 60. p. 292-302. DOI:10.1016/j.matchar.2008.08.001

KRAMAR, S., LUX, J., MLADENOVIC, A., PROSTACZ, H., MIRTIC, B., SAGADIN, M.M. ROGAN, S. Mineralogical and geochemical characteristics of Roman pottery from an archaeological site near Mošnje (Slovenia). *Applied Clay Science*. 2012, nro. 57. p. 39 -48. DOI:10.1016/j.clay.2011.12.008

KRIVENKO, P., KOVALCHUK, C. Directed synthesis of alkaline aluminosilicate minerals in a geocement matrix, *J. Mater Sci*. 2007, nro. 42. p. 2944-2952 .

LARCHER, N., OTERO, C., CREMONTE, M. Materias primas para la producción de alfarería prehispánica en la Quebrada de Humahuaca, Provincia de Juluy,

República Argentina. FRX, ICP y petrografía de pastas. *Arqueología Iberoamericana*. 2016, nro. 29. p. 50-56.

LIOU, Y. Multi-technique study of archaeological cordmarked wares decorated with red coatings from Taiwan. *Journal of Raman Spectroscopy*. 2014. DOI: 10.1002/jrs.4621

LLERAS, R., VARGAS, A. PALOGORDO. La prehistoria de Santander en los Andes Orientales. *Boletín Museo del Oro*. 1990, nro. 26. p. 143.

MANIATIS, Y., TITE, M. Technological examination of Neolithic e Bronze Age pottery from central and southeast Europe and from the Near East. *Journal of Archaeological Science*. 1981, nro. 8. p. 59-76. DOI:10.1016/0305-4403(81)90012-1

MANIATIS, Y., TITE, M. Ceramic Thecnology in the Aegean World during the bronze age. 1978. p. 482 – 492.

MALAINÉY, M. 2011 . A consumer's Guide to Archaeological Science. Analytical Techniques. Springer Science+Business Media. P. 603. DOI: 10.1007/978-1-4419-5704-7

MARITAN, L., HOLAKOOEI, P., MAZZOLI, C. Cluster analysis of XRPD data in ancient ceramics: What for?. *Applied Clay Science*. 2015, nro. 114, p. 540-549. DOI: 10.1016/j.clay.2015.07.016

MARITAN, L., NODARI, L., MAZZOLI, C., MILANO, A., RUSSO, U. Influence of firing conditions on ceramic products: Experimental study on clay rich in organic matter. *Applied Clay Science*. 2006, nro. 31(1-2). p. 1-15. DOI: doi:10.1016/j.clay.2005.08.007

MEDEGHINI, L., MIGNARDI, S., DE VITO, C., CONTE, A. Evaluation of a FTIR data pretreatment method for Principal Component Analysis applied to archaeological ceramics. *Microchemical Journal*. 2016, nro. 125. p. 224-229. DOI: 10.1016/j.microc.2015.11.033

MENEGHELLO L. Perizia antropologica su numerosi resti scheletrici di neonati rinvenuti nelle località di San Zeno e Mezzocorona (Trento) e databili al IV- V sec. d.C.. *Quaderni di Scienze Antropologiche*. 1989, nro. 15. p. 21-24.

MINC, L., SHERMAN, R., ELSON, C., WINTER, M., REDMOND E. Y SPENCER, C. Ceramic provenance and the regional organization of pottery production during the later Formative periods in the Valley of Oaxaca, Mexico: Results of trace-element and mineralogical analyses. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2016, nro. 8. p.28-46. DOI: 10.1016/j.jasrep.2016.05.016

MOODY, J., ROBINSON, H., FRANCIS, J., NIXON, L. Ceramic Fabric Analysis and Survey. Archaeology: The Sphakia Survey. *The annual of the British School at Athens*. 2013, nro. 98. p. 37-106. DOI: 10.1017/S0068245400016828

MORALES, J., CADAVID, G. (1984). Investigaciones etnohistóricas y arqueológicas en el área Guane. Publicaciones de la Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales, 24, Pt. 1: Etnohistoria Guane: territorio e identidad étnica / Jorge Morales Gómez, 11-70. Y Pt. 2: Investigaciones arqueológicas en el área Guane /Gilberto Cadavid, p. 77-163.

MORENO, L. Tecnología lítica y cerámica: sociedades prehistóricas del río Sogamoso, Santander, Colombia. Tesis doctoral. Bucaramanga: Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de filosofia i lletres. Departament de prehistòria, 2015. 749 p.

MORENO, L., Arqueología del Nororiente Colombiano. Los Teres: un sitio de asentamiento de las culturas prehispánicas Penguane y Guane. *Anuario de Historia Regional y de las Fronteras*. 2013, nro. 17 (2). p. 115-142.

MUSÍLEK, L., ČE CHÁK, T., TROJE K, T. X-ray fluorescence in investigations of cultural relics and archaeological finds. *Applied Radiation and Isotopes*. 2012, nro. 70(7). p. 1193-1202. DOI: 10.1016/j.apradiso.2011.10.014

ONAC, W., WHITE, I., VIEHMANN. Leonite $[K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O]$, konyaite $[Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 5H_2O]$ and syngenite $[K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O]$ from Tausoare Cave, Rodnei Mts, *Romania Mineralogical Magazine*. 2001, nro. 65(1). p. 103-109. DOI: 10.1180/002646101550154

PEACOCK, D. The scientific analysis of ancient ceramics: A review. *World Archaeology*. 1970, nro. 1(3). p. 375-389. DOI: 10.1080/00438243.1970.9979454

PEÑA, J. Estudio arqueométrico de cerámicas procedentes del yacimiento de Starosiedle (Gubin, Polonia). *Estrat Crític: Revista d' Arqueologia*. 2011, nro. 3. p. 82-90.

PERREAULT, C., BOULANGER, M., HUDSON, M., and BRANTINGHAM, P. Characterization of obsidian from the Tibetan Plateau by XRF and NAA. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2016. DOI: 10.1016/j.jasrep.2015.12.009

PILLAY, A., PUNYADEERA, C., JACOBSON, L., ERIKSEN, J. Analysis of ancient pottery and ceramic objects using x-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrometry*. 2000, nro. 29 (1). p. 53-62. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4539(200001/02)29:13.3.CO;2-J

POLLARD, M., CATHERINE, B., STERN, B. Y YOUNG. Analytical Chemistry in Archaeology. Bradford: Cambridge University Press. 2007. 419 p. DOI: 10.1017/CBO9780511607431

PRICE, D., Y BURTON, J. Madison.: Springer Science + Business Media. 2012. 340 p.

RATHOSSI, C., PONTIKES, Y. Effect of firing temperature and atmosphere on ceramics made of NW Peloponnese clay sediments: Part II. Chemistry of pyrometamorphic minerals and comparison with ancient ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*. 2010, nro. 30. p. 1853–1866. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2010.02.003

RAVISANKAR,S., KIRUBA, C., NASEERUTHEEN, P., BALAJI, M., SERAN, M. Spectroscopic techniques applied to the characterization of recently excavated ancient potteries from Thiruverkadu Tamilnadu, India, *Microchem. Journal*. 2011, nro. 99. p. 370–375.

RAZO, C. Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis. Ciudad de México.: Pearson, Segunda edición. 2011. 323 p.

RIEDERER, J. Thin section microscopy applied to the study of archaeological ceramics.*HyperfineInteractions*. 2004, nro. 154. p. 143–158.

RINCÓN, J., ROMERO, M. Characterization Techniques of Glasses and Ceramics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999. España. DOI: 10.1007/978-3-662-03871-0

SAYRE, E, V. Determination of Provenance. New York.: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000. 27 p. DOI: 10.1007/978-1-4615-4145-5_7

SHACKLEY, M. An Introduction to X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis in Archaeology. *In X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, edited by M. S. Shackley. 2011. p. 7–44. Springer, New York. DOI: 10.1007/978-1-4419-6886-9

SHELBY, A. A Clay source provenance survey in Northwest Alaska: Late Holocene ceramic production in the Arctic. *Journal of Field Archaeology*. 2016, nro. 41(3). p. 238-254. DOI: 10.1080/00934690.2016.1167488

SHOVAL, S., BECK, P., KIRSH, Y., LEVY, D., GAFT, M. YADIN, E. Rehydroxyation of clay minerals and hydration in ancient pottery from the 'Land of Geshur'. *Journal of Thermal Analysis*. 1991, nro. 37. p. 1579-1592. DOI: 10.1007/BF01913490

SHOVAL, S. *Thermochim. Acta*. 1998, 135.

TAYLOR, S. and MCLENNAN, S. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, 1985. DOI: 10.1002/gj.3350210116

TEOH, M., MCCLURE, S., PODRUG, E. Macroscopic , petrographic and XRD analysis of Middle Neolithic fi gulina pottery from central Dalmatia. *Journal of Archaeological Science*. 2014, nro. 50. p. 350– 358. DOI: 10.1016/j.jas.2014.07.007

VELDE, BRUCE y DRUC. *Archaeological Ceramic Materials*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1999. 311 p. DOI: 10.1007/978-3-642-59905-7

VELRAJ, G., TAMILARASU, S., RAMYA, R. FTIR, XRD and SEM-EDS Studies of Archaeological Pottery Samples from Recently Excavated Site in Tamil Nadu, India. *Materials Today: Proceedings*. 2015, nro. 2(3). p. 934-942. DOI: 10.1016/j.matpr.2015.06.012

WALLIS, Neill J., GILMORE, Zackary I., Cordell, Ann S., PLUCKHAHN, Thomas J., ASHLEY, Keith H. AND GLASCOCK, Michael D. The ceramic ecology of Florida: Compositional baselines for pottery provenance studies. *STAR: Science & Technology of Archaeological Research*. 2015, nro. 1(2). p. 30-49. DOI: 10.1080/20548923.2015.1133119

WHITNEY, D., EVANS, B. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral*. 2010, nro. 95. p. 185–187. DOI: 10.2138/am.2010.3371

WILLIAMS, D. *The study of ancient ceramics: The contribution of the petrographic method*. 1990.

WILSON L. and POLLARD, A. The provenance hypothesis. In: Brothwell DR and Pollard AM (eds.) *Handbook of Archaeological Sciences*, 2001, 507–519. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.

WINTER, J. An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. New Jersey: Prentice. 2001.

SUAZA DA SILVA, Glayce, J. Mineralogia, química e avaliação da fertilidade potencial de fragmentos cerâmicos de sítio de terra preta: Caxiuana, Juruti, Carcarena e Quebrada Tacana. Dissertação de Mestrado. Belém.: Universidade Federal do Pará, 2010. 109 p.

SUTHERLAND, D, R. Preliminary investigations into the prehistory of Santander, Colombia. Microfilm. Doctoral dissertation series. Ann Arbor, University Microfilms Library Services, 1972, Nro. 72-3909.

SZILÁGYI, V., GYARMATI, J., TÓTH, M., TAUBALD, H., BALLA, M., KASZTOVSZKY, ZS., SZAKMÁNY, G. Petro-mineralogy and geochemistry as tools of provenance analysis on archaeological pottery: Study of Inka Period ceramics from Paria, Bolivia. *Journal of South American Earth Sciences*. 2012, nro. 36. p. 1-17. DOI: 10.1016/j.jsames.2011

ANEXOS

Anexo A. Composición química (%) de los fragmentos analizados comparados con la media de la corteza terrestre superior (CTS) y con las arcillas australianas post arqueanas (PAAS). CTS¹ Datos tomados de Wedepohl, (1995) vistos en: Santos, (2010). PAAS² Datos de Taylor and McLennan, (1985).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
A2-1 (1)	52,3	25,31	8,15	1,96	3,01	0,83	6,55	1,19	0,11	0,16
F2-2 (9)	54,82	22,9	8,89	3,06	1,93	1,21	5,49	1,04	0,18	0,13
A3-4(17)	52,81	22,84	8,04	2,79	5,31	1,05	5,31	1,01	0,25	0,13
D2-11 (25)	61,95	19,8	8,81	1,19	1,5	0,96	3,59	1,51	0,32	0,05
B2-2(33)	61,49	20,02	8,48	1,72	2,32	1,26	3,26	0,85	0,09	0,11
D4-4(49)	58,75	21,94	7,1	2,39	1,4	1,75	5,13	0,83	0,22	0,11
B5-6(57)	58,93	19,85	8,33	2,74	3,71	1,82	2,98	0,87	0,29	0,12
F3-3 (65)	51,14	26,3	7,71	2,61	1,67	1,02	7,72	0,97	0,31	0,08
E5-4(73)	63,03	19,04	6,6	1,96	2,81	1,43	3,85	0,7	0,23	0,07
B4-6 (81)	50,46	21,2	8,36	4	4,69	1,41	7,6	0,73	0,65	0,2
A2-4 (89)	60,51	16,81	9,29	0,67	5,92	0,25	4,53	0,86	0,29	0
C3-3 (97)	51,59	21,23	7,64	3,69	6,29	0,76	7,08	0,75	0,4	0,1
D2-6(113)	52,06	21,84	8,92	2,78	3,3	0,81	7,28	1,19	1,29	0,09
Media	56,14	21,47	8,18	2,43	3,37	1,12	5,41	0,96	0,36	0,10
DATOS DE FRX OBTENIDOS CON TRATAMIENTO MUESTRAL EN 7 FRAGMENTOS CERAMICOS										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
A2-1 (1)	55,88	22,52	8,13	2,00	2,76	0,75	6,00	1,11	0,14	0,16
F2-2 (9)	54,33	22,04	8,74	3,21	1,81	1,21	5,49	1,00	0,20	0,13
D2-11 (25)	57,94	18,67	8,18	1,20	1,32	1,14	3,31	1,36	0,11	0,05
D4-4(49)	59,43	20,60	6,32	1,57	1,34	1,66	5,42	0,80	0,28	0,09
B5-6 (57)	56,77	18,38	8,62	2,82	3,32	1,85	2,70	0,83	0,15	0,12
D2-6(113)	49,97	21,15	9,41	2,85	1,15	0,98	6,39	1,02	0,31	0,15
A4-4 (105)	27,18	5,58	4,11	0,40	34,19	0,05	1,27	0,58	0,12	0,00
Media	51,64	18,42	7,64	2,01	6,56	1,09	4,37	0,96	0,19	0,10
CTS ¹	64,90	14,60	4,40	2,24	4,12	3,46	3,45	0,52	0,15	0,07
PAAS ²	62,80	18,90	6,50	2,20	1,30	1,20	3,70	1,00	0,16	0,11

Anexo B. Sistema Alfarero de los Teres, en azul se señalan las piezas analizadas, sin resaltar se encuentran las demás muestras contempladas.

N/tura	Grupo	Subgrupo	Unidad	Subunidad	Serial	Muestras			
1	Rojo								
1.1		Naranja							
1.1.1			Naranja (AC)		1	STII A1-1	STII F1-1		STII A2-1
1.2		Intenso							
1.2.1			Intenso (AC)		9	STII B1-2	STII T2	STII D3-11	STII F2-2
1.3		Mate							
1.3.1			Mate (AC)		17	STII B5-4	STII D2-4	STII E5-1	STII A3-4
1.3.2			Mate (CE)		17	STII E2-2			
1.3.2.3				Gris Claro (CI)	20	STII C3-2	STII C3-5		
1.4		Naranja sin mica							
1.4.1			Naranja (AC)		25	STII F1-1	STII B3-1		STII D2-11
1.5		Intenso sin mica							
1.5.1			Intenso (AC)		33				STII B2-2
2	Gris								
2.1		Gris Oscuro							
2.1.1			Gris Oscuro (AC)		49	STII D2-5	STII D3-1	STII D5-3	STII D4-4
2.1.2			Gris Claro (CE)						
2.1.2.5				Negro	54	STII D2-5			
2.1.2.7				Marrón Rojizo	56	STII C3-5			
2.2		Gr Osc sin mica							
2.2.2			Gris claro (CE)		57				STII B5-6
2.2.2.4				Gris Claro	61	STII B2-5			
2.3		Gris Claro							
2.3.1			Gris claro (AC)		65	STII C2-4			STII F3-3
2.4		Gris claro sin mica							
2.4.1			Gris Claro (AC)		73				STII E5-4
3	Negro								
3.1		Negro							
3.1.1			Negro (AC)		81	STII D4-7			STII B4-6
3.2		Negro sin mica							
3.2.1			Negro (AC)		89	STII D4-4			STII A2-4
4	Café o Crema								
4.1		Café							
4.1.1			Café (AC)		97	STII C4-4	STII D2-2	STII F4-3	STII C3-3
4.2		Café sin mica							
4.2.1			Café (AC)		105	STII T2	STII A4-4		
5	Marrón Rojizo								
5.1		Marrón Rojizo							
5.1.1			Marrón Rojizo (AC)		113	STII A6-3	STII E5-7	STII A3-6	STII D2-6

Anexo C. Formato de análisis macroscópico de las fábricas.

CATÁLOGO: ANÁLISIS MACROSCÓPICAS DE LAS FÁBRICAS						
Registro:	Fecha:		Muestra:			
Nombre del lugar:			Foto:			
Peso (gm):			Familia:			
Textura						
Tamaño:	<input type="checkbox"/> Grueso	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Fino			
	<input type="checkbox"/> Angulares	<input type="checkbox"/> Sub-redondeadas	<input type="checkbox"/> Redondeadas			
Forma y redondez:						
Estado de la superficie:	<input type="checkbox"/> Quemada	<input type="checkbox"/> Muy conservada	<input type="checkbox"/> Parcialmente conservada	<input type="checkbox"/> No conservada		
Tratamiento de la CE:	<input type="checkbox"/> Alisada	<input type="checkbox"/> Pulida	<input type="checkbox"/> Pintada	<input type="checkbox"/> Foliada	<input type="checkbox"/> Vitrificada	
	<input type="checkbox"/> Moldeada	<input type="checkbox"/> Suave	<input type="checkbox"/> Arenosa			
Tratamiento de la CI:	<input type="checkbox"/> Alisada	<input type="checkbox"/> Pulida	<input type="checkbox"/> Pintada	<input type="checkbox"/> Foliada	<input type="checkbox"/> Vitrificada	
	<input type="checkbox"/> Moldeada	<input type="checkbox"/> Suave	<input type="checkbox"/> Arenosa			
Dureza Superficial:	<input type="checkbox"/> Muy dura	<input type="checkbox"/> Dura	<input type="checkbox"/> Suave			
Color CE:	_____		<input type="checkbox"/> Con mica <input type="checkbox"/> Sin mica			
Color Munsell CE:	_____					
Color CI:	_____		<input type="checkbox"/> Con mica <input type="checkbox"/> Sin mica			
Color Munsell:	_____					
Color Núcleo:	_____		<input type="checkbox"/> Con mica <input type="checkbox"/> Sin mica			
Color Munsell Núcleo:	_____					
Inclusiones:	<input type="checkbox"/> Mica negra	<input type="checkbox"/> Mica blanca	<input type="checkbox"/> Mica dorada	<input type="checkbox"/> Fld	<input type="checkbox"/> Qz	<input type="checkbox"/> Arcilla
	<input type="checkbox"/> Negro Ferroso	<input type="checkbox"/> Rojo claro	<input type="checkbox"/> Filita-esquistos	<input type="checkbox"/> Filita	<input type="checkbox"/> Limolita	
	<input type="checkbox"/> Shale	<input type="checkbox"/> Ígnea	<input type="checkbox"/> Vítreo Negro	<input type="checkbox"/> Arenisca	<input type="checkbox"/> Rojo Ferroso	
Textura de la inclusión						
Forma:	<input type="checkbox"/> Angulares	<input type="checkbox"/> Sub-redondeadas	<input type="checkbox"/> Redondeadas			
Tamaño:	<input type="checkbox"/> Grueso	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Fino			
	<input type="checkbox"/> 0,1 mm	<input type="checkbox"/> 0,25	<input type="checkbox"/> 0,5	<input type="checkbox"/> 0,75	<input type="checkbox"/> 1,0	<input type="checkbox"/> 1, <input type="checkbox"/> 2,0
Densidad de la inclusión:	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 5 %	<input type="checkbox"/> 10 %	<input type="checkbox"/> 15 %	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> 30 <input type="checkbox"/> 40 %
	<input type="checkbox"/> 50 %	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> 70 %	<input type="checkbox"/> 80 %	<input type="checkbox"/> 90 %	

(Ver anexos en la carpeta adjunta)